

Гарольд Макги

О ЗАПАХАХ *и* АРОМАТАХ *в кулинарии и не только*

ОТКУДА ВОЗНИКАЮТ
СТРАННЫЕ, УЖАСНЫЕ
И ПРЕКРАСНЫЕ ЗАПАХИ



ОТ АВТОРА
БЕСТСЕЛЛЕРА
О ЕДЕ
и
КУЛИНАРИИ

хлеб*соль

**ЛЕГЕНДАРНЫЕ
КУЛИНАРНЫЕ КНИГИ**

Гарольд Макги

О ЗАПАХАХ
и
АРОМАТАХ
в кулинарии и не только

ОТКУДА ВОЗНИКАЮТ
СТРАННЫЕ, УЖАСНЫЕ
И ПРЕКРАСНЫЕ ЗАПАХИ

хлеб*соль

КНИГИ, КОТОРЫЕ ДЕЛАЮТ ЖИЗНЬ ВКУСНЕЕ

Москва

УДК 641.1
ББК 36.99
М15

Nose Dive
A Field Guide to the World's Smells
HAROLD McGEE

Copyright © 2020 by Harold McGee

Перевод с английского *Екатерины Александровны Лыковой*

Дизайн оформления *М. Клава-Янат*

Макги, Гарольд.
М15 О запахах и ароматах в кулинарии и не только. Откуда возникают странные, ужасные и прекрасные запахи / Гарольд Макги ; [перевод с английского Е. А. Лыковой]. — Москва : Эксмо, 2025. — 544 с. — (Легендарные кулинарные книги).

ISBN 978-5-04-195033-0

Не важно, где или как вы читаете эти слова, в этот момент вокруг вас, а также внутри вас кружится целый мир, способный вызвать у вас восторг, отвращение, понимание и изумление. Это невидимый нимб летающих молекул — бесконечных частичек веществ, выпускаемых в воздух, которым мы дышим, носящихся на бешеных скоростях, чье присутствие мы ощущаем как запахи. Эта книга повествует об этих самых частичках и запахах, а также о том, как нам лучше всего ими насладиться.

УДК 641.1
ББК 36.99

ISBN 978-5-04-195033-0

© ИП Макеева Е., перевод, 2024
© ООО «Издательство «Эксмо», 2025

*Посвящается всем химикам настоящего и прошлого,
благодаря чьим исследованиям летающих молекул
и появилась эта книга*



Содержание

Предисловие. Моя первая куропатка.....	9
Введение. Чутье на самую суть.....	15
ЧАСТЬ 1. ПРОСТЕЙШИЕ ЗАПАХИ.....	25
Глава 1. Среди звезд	26
Глава 2. Планета Земля, ранняя жизнь, вонючая сера.....	40
Глава 3. Стартовый набор жизни	52
ЧАСТЬ 2. ЖИВОТНЫЕ: ЗАВИСИМОСТЬ, ПОДВИЖНОСТЬ, МИКРОБИОМЫ.....	63
Глава 4. Животные тела	64
Глава 5. Животные сигналы.....	80
Глава 6. Человеческое животное	90
ЧАСТЬ 3. НАЗЕМНЫЕ РАСТЕНИЯ: НЕЗАВИСИМОСТЬ, НЕПОДВИЖНОСТЬ, ВИРТУОЗНОСТЬ	119
Глава 7. Сладкие запахи успеха.....	120
Глава 8. Семейства растительных летучих молекул: зеленые, фруктовые, цветочные, пряные.....	133
Глава 9. Мхи, деревья, травы, сорняки.....	162
Глава 10. Цветы	180
Глава 11. Съедобные зелень и душистые травы	203
Глава 12. Съедобные корни и семена: основные продукты и пряности	221
Глава 13. Плоды.....	243

ЧАСТЬ 4. СУША, ВОДЫ, ЖИЗНЬ ПОСЛЕ СМЕРТИ	275
Глава 14. Суша: почва, грибы, камень.....	276
Глава 15. Воды: планктон, водоросли, моллюски, ракообразные, иглокожие, рыбы.....	301
Глава 16. Жизнь после смерти: дым, асфальт, промышленность	324
 ЧАСТЬ 5. ИЗБРАННЫЕ ЗАПАХИ.....	351
Глава 17. Душистые вещества	352
Глава 18. Приготовленные продукты.....	384
Глава 19. Соленые и ферментированные продукты	422
 Заключение. Моя вторая куропатка.....	469
Благодарности	472
Избранные источники	474
Алфавитный указатель	527

ПРЕДИСЛОВИЕ. МОЯ ПЕРВАЯ КУРОПАТКА

Неважно, где или как вы читаете эти слова, но в этот момент вокруг, а также внутри вас кружится целый мир, способный вызвать у вас восторг, отвращение, понимание и изумление. Это невидимый нимб летающих молекул, бесконечных частичек веществ, выпускаемых в воздух, которым мы дышим, носящихся на бешеных скоростях, чье присутствие мы ощущаем как запахи. Эта книга повествует об этих самых частичках и запахах, а также о том, как нам лучше всего ими насладиться.

Было написано много хороших книг о нашем обонянии, о приятных запахах еды, напитков и ароматах парфюма, о природе отвращения. Я же в своей книге собрал нечто иное: путеводитель по широкому миру запахов, приятных и нет, и переносимых по воздуху молекулярных частичках, их вызывающих. Поскольку частички — это репрезентативные кусочки со всего материального космоса, мне нравится называть этот широкий мир словом осмокосм, от *osme*, что по-древнегречески значит «запах» или «аромат», с его внутренним резонансом и намеком на волшебство. В осмокосм входят целые множества или как минимум тысячи различных молекул, возможно тысячи тысяч. В нем гораздо больше, чем могут учуять даже самые чувствительные из нас. И большинство из них (или вообще все) недоступно для многих людей, чье обоняние было как-либо ослаблено. Неважно, сколько всего из этого нам удастся учуять, но мы всегда погружены в осмокосм. Это фундаментальная черта мира, в котором мы живем. И этот мир стоит изучить, пусть даже лишь в воображении и мыслях.

Общий термин для любой переносимой по воздуху молекулы — это летучая (*volatile*,

от латинского слова «летать»), и он был впервые применен несколько веков назад по отношению к птицам, бабочкам и другим крылатым существам. Именно одно из этих первоначальных летучих существ, ароматная дикая птичка, и привлекло меня к изучению мира летучих молекул. Позвольте мне объяснить, как это произошло и как, я надеюсь, вы будете использовать этот путеводитель, чтобы самим стать исследователем запахов.

Моя давняя тема — это кулинарная отрасль. В 2005 году, когда экспериментальная кулинария была предметом разговоров ресторанной индустрии, я путешествовал по Испании и Англии, чтобы попробовать плоды этих инноваций на вкус. Главные передовые шеф-повара — Адриас, Рокас и Хестон Блюменталь — стремились преподнести посетителям незабываемый обед с длинным меню из необычных блюд, которые были поразительно разнообразными, забавными, ошеломляющими и порой изысканными. Эти несколько дней были очень стимулирующими. Но самое запоминающееся блюдо я вкусил ближе к концу поездки в ходе традиционного британского ланча с Фергусом Хендерсоном и Тревором Гулливером в их лондонском ресторане «Сент-Джон».

Стояла ранняя осень, поэтому я заказал куропатку, промысловую птицу, на которую был самый сезон и которую мне никогда раньше не доводилось пробовать. Ее принесли жаренной целиком, с кровью и без изысков, на тосте, с пучком свежего водяного кресса. Я ожидал, что она мне понравится, но никак не того, что первый кусочек лишит меня дара речи. Именно это и произошло. Я был полностью поглощен сперва насыщенным вкусом — мясистой, которая была почти что

чересчур плотной, чтобы быть приятной, с горьковатой ноткой, — а затем запутанными эмоциями. Я был на мгновение парализован, не в состоянии сказать своим сотрапезникам ни слова. Они посмотрели на меня несколько обеспокоенно, но затем Фергус улыбнулся, кивнул и сказал:

— Ах, разумеется. Ваша первая куропатка.

Мне всегда было интересно понять: что же делает еду вкусной? Но тот опыт впечатлил меня, как никакой иной, силой вкуса, способной вызвать острые ощущения, причем продолжительные. Вкус куропатки все еще стоял у меня во рту и много часов спустя, когда я пытался сосредоточиться на постановке шекспировской пьесы «Буря».

Несколько лет спустя еще один момент впечатлил меня силой одного только аромата. Я умудрился отрастить на кончике языка нечто, похожее на огромный вкусовой сосочек, шириной где-то одну восьмую дюйма (0,3 см), — хорошая шутка для писателя на тему кулинарии! В конце концов я проконсультировался у специалиста, который посоветовал удалить нарост. Он ввел мне местную анестезию, быстро отрезал нарост, а затем прижег ранку электрическим прибором, прижигающим и перекрывающим кровеносные сосуды. Появился клуб дыма, и я почувал типичный запах говядины на очень жарком гриле, подгоревшей и слегка разлагающейся. Вот так сюрприз, но все было абсолютно логично: это был запах поджаренного на гриле Макги! Еще одна хорошая шутка. И когда у меня промелькнула эта легкомысленная идея, я почувствовал головокружение, мои конечности налились свинцом и меня прошиб холодный пот. Врач быстро откинул кресло, и через пару минут я снова был в полном порядке, просто немного смущен. Я-то думал, что легко переносу операцию, даже наслаждаюсь иронией, но мое тело подкинуло мне подлянку. Еще один незабываемый момент и запах.

Обычный культурный краугольный камень для соединения вкуса с эмоцией — это кусочек печени мадлен, который герой Мар-

селя Пруста окунает в чашку липового чая в первом томе своего романа «В поисках утраченного времени». Этот кусочек изумляет безымянного рассказчика трепетом от «изысканного удовольствия», и в конце концов он вспоминает, как пробовал ту же самую комбинацию в своем прекрасном детстве. Мой же трепет не принес мне удовольствия: он больше походил на инстинктивное предупреждение. Куропатка была такой насыщенной и тошнотворной, что, возможно, она успела испортиться; прижженный язык, вероятно, пробудил горестные воспоминания о тонзиллэктомии, которую мне сделали за двадцать лет до этого. Но действительно ли только это и означал мой трепет? Я чувствовал, что было что-то еще.

Мои размышления в конце концов привели меня к менее знаменитому пассажиру Пруста, который нашел куда более сильный отклик в моем сердце. В четвертом томе романа «Содом и Гоморра» рассказчик наслаждается любимым напитком и изумляется вызываемым им ощущениям:

«Апельсин, выжатый в воду, казалось, раскрывал мне, когда я пил, тайную жизнь его созревания и роста, его полезное действие на определенные состояния того человеческого тела, что принадлежит к столь отличному царству, его неспособность оживить это тело, но, с другой стороны, процесс орошения, благодаря которому он оказывает на тело полезный эффект, сотни тайн открыл фрукт моим чувствам, но отнюдь не моему разуму».

Опять-таки вкус еды привлекает внимание рассказчика и вызывает ощущение трудноуловимой значимости. Но на этот раз речь не о его прошлом, а о еде. Апельсин каким-то образом вызывает загадку его создания и его пользы для чужеродных существ вроде нас. Рассказчик не раздумывает об этом ощущении так, как об удовольствии от печени мадлен. Но если бы он это сделал, то его поиски сместились бы от утраченного времени к установленному факту, естественной истории и внутреннему устройству фрукта и животного.

Апельсин Пруста побудил меня рассмотреть мое восприятие вкуса куропатки как приглашение поразмыслить о его загадках. Это был призыв остановиться, задуматься и изучить, задать вопрос: почему у этой птицы был такой сильный и насыщенный вкус?

Так что я задал вопрос, и я его изучил. В отличие от домашних уток и голубей, британские куропатки — это настоящие промысловые птицы, живущие в природе на открытых вересковых пустошах, постоянно рыскающие в поисках пищи и удирающие от хищников, часто зараженные кишечными паразитами, благодаря чему лисам и собакам легче их учуять. Их вспугивают и стреляют в них на лету, их тела, включая внутренности, подвешивают для созревания на несколько дней, чтобы мясо стало нежнее, а вкус — насыщенней. В 2007 году я совершил паломничество в западную Шотландию и провел незабываемые выходные в компании поставщика дичи для «Сент-Джона» Бена Уэзеролла и его семьи. Я провел часы в пустоши Оверфингленд-Хит, наблюдая за птицами, восхищаясь их резким шумным взлетом, когда их вспугивают из низкорослых кустарников, и их головокружительной скоростью и способностью прижиматься к покатым холмам до тех пор, пока они не скроются из виду. Неудивительно, что их грудные мышцы такие темные от вкусообразующей метаболической структуры! Я жевал «вяжущие, горькие пустоши», на которых они живут, и чувал запах спертости прохладной кладовой, в которой они созревали.

Грубая дикая пища, сильные и натренированные грудные мышцы, поврежденный кишечник, из которого в тело на грани разложения вытекают пища и пищеварительные соки, — вот элементы, сочетание которых придает традиционной куропатке ее отвлекающий от всего остального насыщенный вкус. В каком-то смысле первый раз в жизни я вкусил плоть, на каком-то уровне распознавая у себя во рту мерзкое зловоние — химическое и эмоциональное — животной жизни, борьбы и смерти. Да, может, и преду-

жеждение об опасности для здоровья, но в то же время куда как больше! Я почувствовал, что моя жажда понимания была удовлетворена, мой опыт был ретроспективно обогащен.

И я задумался: намеки на какие значения я могу обнаружить в более стандартном опыте приема пищи? Конечно, большинство продуктов имеют вкус самих себя, как мы от них и ожидаем, основываясь на предыдущем опыте. Как раз таки необычные и несоответствующие вкусы привлекают внимание. Я частенько был поражен тем, как не связанные друг с другом продукты могут, казалось бы, походить друг на друга. У сыра пармезан может быть вкус ананаса. Какая связь вообще могла бы быть между старым коровьим молоком и свежим тропическим фруктом? У сырых устриц может быть вкус огурца. У вина шерри может быть вкус соевого соуса, у кукурузных лепешек тортилья — вкус меда, если конкретнее, каштанового меда. Еще более странные продукты, похожие по вкусу на несъедобные вещи: вкус морского побережья в зеленом чае, конских конюшен в вине, потных ног в некоторых швейцарских сырах.

Мысли о море, конюшне и ногах, а также о поджаренном на гриле Макги, подчеркнули тот факт, что те ароматы вкусов, которые я ощутил, — это сходство непосредственно по запахам. Наше обоняние — это мост между нашим опытом касательно продуктов и нашим опытом касательно большого мира. Обычно оно сопровождает каждый наш вдох через нос. Мы ощущаем запахи в мире, когда вдыхаем, и вкусы во рту, когда мы выдыхаем. И запах предоставляет нам детальную информацию о том, что вокруг нас, или о том, что мы вот-вот проглотим. Если зажать нос, мы можем почувствовать сладость и кислоту на языке, но мы не можем отличить цитрусовую газировку от колы; мы не можем понять, что хлеб в тостере из коричневого становится угольно-черным.

Мне показалось, что для понимания вкусов чая, вина и сыра необходимо погрузиться в запахи океана, животных и ног, выяснить,

почему у них такой запах. Это была пугающая перспектива, но в то же время все более захватывающая. По факту зачем останавливаться на запахах, которые очевидно угадываются в продуктах? Почему бы не вкусить объекты большого мира таким же образом, как мы вкушаем пищу и питье, с любопытством активно обнюхать их, разузнать об их летучих молекулах и их происхождении и использовать эти знания, чтобы ощутить их в куда большем объеме?

Меня зацепило. Это был такой кайф: обнюхать все, что пришло мне в голову, затем немедленно соединить эти личные ощущения с точными лабораторными идентификациями вызывающих их летучих молекул, и посредством молекул — с более обширным научным представлением о структуре мира. Я часто испытывал изумление по поводу этой структуры и коллективного достижения человечества по ее пониманию. Несмотря на устоявшуюся репутацию одной из самых низших человеческих способностей, обоняние определенно обладает силой привлечь наше внимание к окружающему нас миру, раскрыть невидимые, неосознаваемые детали этого мира, стимулировать интенсивные чувства и мысли и подтолкнуть нас к тому, чтобы мы были настолько в полной мере и по-человечески живы, насколько это для нас возможно.

Так что я стал любителем-исследователем запахов и погрузился в осмокосм. Я отправился в десятилетнюю нюхательную экспедицию по миру и по научной литературе. Я написал эту книгу, чтобы поделиться тем, что я узнал, и указать, как погрузиться в запахи, которые можно заметить, и поведать о том, что эти запахи могут сообщить о своем происхождении, о структуре мира, которую невозможно почуять никаким иным образом. Не только пища, питье и розы, но также компост и мокрые цветочные горшки, асфальт и ноутбуки, старые книги и собачьи лапы, несметное множество бытовых, но разоблачающих объектов, наполняющих нашу жизнь. Вокруг нас богатый мир ощущений и значимости, неосознаемый, невидимый и мимолежный, но насы-

щенный и реальный.

Теперь, когда я объяснил эксцентричный путь, которым я дошел до того, чтобы написать эту книгу, мне следует объяснить эксцентричность последующих страниц: почему они заполнены чем-то, похожим на сборные солянки наименований ингредиентов и вкусовых ноток, и почему первая глава начинается с Большого взрыва, который нельзя понюхать.

Обоняние — это такое сильное и обличающее чувство, потому что оно улавливает настоящие крошечные кусочки объектов мира. Эти крошечные кусочки — летучие молекулы, такие маленькие, что способны оторваться от своего источника и невидимо лететь по воздуху, пока не достигнут нашего носа. Так что начать понимать запах объекта — это идентифицировать множество летучих молекул, испускаемых им. Его совокупный запах — это композиция, созданная компонентными запахами, или «нотками», его наиболее ярко выраженных летучих молекул. Когда разные объекты, казалось бы, напоминают друг друга своими общими компонентными запахами, это знак того, что у этих объектов есть несколько общих летучих молекул. И химические особенности этих молекул — это ключ к тому, почему они здесь. Это маркеры создавших их процессов.

Итак, в этой книге речь по большей части идет про химию летучих молекул. А химия любого рода редко бывает интересной темой для кого-либо, кроме химиков! Но я не химик, и химия в этой книге — это не цель сама по себе. Это средство достижения глубокого понимания собственного личного опыта в физическом мире, средство учуять больше и понять, что значат эти запахи. По факту многие из этих молекул — давние друзья, которые радовали или раздражали вас всю жизнь, а вы даже не осознавали, что они существуют. Мы знаем, распознаем и оцениваем эти значительные частички мира по запаху, но они не были толком — индивидуально и поименно — нам представлены. Названия, данные им химиками, могут сперва сбивать с толку, но у них

действительно есть своя собственная логика. И когда мы достаточно часто сталкиваемся с запахами и названными молекулами, то эти названия начинают запоминаться. В наши дни многие любители пива могут рассказать вам об эфирах и летучих фенолах в их любимых сортах эля; ценители каннабиса разбираются в своих терпенах; мастера-парфюмеры — в своих альдегидах.

Поскольку в каждой главе описываются десятки различных объектов, каждый из которых испускает множество летучих молекул и компонентных запахов, я выделил релевантную информацию в таблицах запахов, которые вы увидите по всей книге. Они предназначены для того, чтобы вам было легче контролировать свое погружение в мир химии. В большинстве таблиц три колонки. В первой колонке перечислено несколько интересных нас родственных объектов: определенные части тела, или цветы, или сыры. Во второй колонке перечислены некоторые из компонентных запахов, вносящих вклад в совокупный запах каждого объекта. Они могут быть похожи на вкусовые нотки из реклам и отзывов, но это не просто субъективные впечатления. Это запахи специфических молекул, которые были реально идентифицированы как значимые летучие молекулы в этом объекте. Эти молекулы перечислены в третьей колонке.

Если вас в основном интересуют компонентные запахи, вы можете понюхать их на своей коже или в тертом пармезане, и если вы не хотите отвлекаться на химию, то тогда придерживайтесь левой и средней колонок таблиц. Даже если просто обращать внимание на эти нюансы запаха, это может принести результат. В стихотворении 1948 года шотландец Хью Макдиармид отпустил шуточку по поводу химического подхода современной осмологии, в то же время восхваляя обыкновенную внимательность: «...аромат цветка своей особенностью обостряет / Оценку других».

Но если вам интересно, почему маргаритка пахнет совсем не так, как роза, почему у вашей кожи порой бывает резкий металлический

запах или почему аромат пармезана может казаться одновременно фруктовым и слегка тошнотворным, то тогда смотрите в правую колонку, чтобы узнать, какие конкретные молекулы задействованы в процессе, а также в сопутствующий текст, чтобы узнать, откуда они взялись. Эти детали еще больше углубят ваше понимание.

Вот и все о навигации в таблицах; теперь о навигации по всей книге.

Я написал этот путеводитель как для поверхностного просмотра, так и для изучения великого осмокосма. Он организован не по запахам, а по знакомым объектам нашего мира, которые их испускают. Так что вы найдете информацию о человеческом теле в главе 6, цветы — в главе 10, сыры — в главе 19. Вы можете направиться сразу к любимым или ненавистным либо недавно открытым пахнущим объектам. Или же пролистать страницы и таблицы, чтобы посмотреть, за что зацепится ваш взгляд.

Для читателей, которые хотят изучить мир запахов более систематично и освежить свое понимание того, что конкретно представляет собой молекула, я организовал главы в последовательности, которая помогла мне, не имея должных химических знаний, сориентироваться в летучих молекулах, и, я надеюсь, вам она тоже поможет. Она возникла из раздумий о сходстве запахов: если у устриц может быть запах огурцов, тогда что (или кто) первым приобрело эту конкретную молекулу? И было ли что-то еще, что приобрело ее раньше их обоих? Я пришел к осознанию того, что, как и у всего в физическом мире, у молекул запаха есть история, являющаяся частью продолжающейся истории самого сотворения, эволюции космоса в целом. Эта эволюция началась миллиарды лет назад в загадке Большого взрыва, прежде чем возникла какая-либо одна-единственная молекула, и с тех пор продвинулась в направлении большого молекулярного разнообразия и сложности.

Когда я заглянул в раннюю историю космоса, я с удивлением обнаружил, что некоторые из молекул, которые мы чуем каждый день,

существовали задолго до того, как появилось какое-либо существо, способное их унюхать, даже до того, как возникла планета Земля, на которой эти существа могли бы обитать. Это одни из самых простейших молекул, просто горстка атомов, которые так же легко понять, как молекулу воды (H_2O). Некоторые из них также являются источниками запахов, производимых большинством форм жизни. С течением времени жизнь становилась все более разнообразной, как и летучие молекулы, которые она выделяет.

Простое легче понять, чем сложное, и это промежуточный шаг к пониманию запутанных вещей. Поэтому я поделил эту книгу на пять частей, в которых вводится по несколько молекул запаха за раз, примерно в том порядке, в каком они появились. Я предоставляю новичку-исследователю запахов возможность представить себя рядом с Шеф-поваром космоса, сверхчеловеком, но с человеческим носом — понюхайте рагу из материи и энергии, пока оно варится за миллиарды лет, обратите внимание, как развиваются его запахи, и по-

знакомьтесь со все более сложными — и приятными — молекулами, которые их источают.

Часть 1 начинается с редчайших первобытных молекул открытого космоса, сернистости Земли и ее ранней одноклеточной жизни, а также базового стартового комплекта летучих молекул и запахов, присущих всем живым существам. Часть 2 рассматривает тот факт, что запахи большинства животных тел, включая наши, возникают благодаря их подвижности и сообществам микробов, которые они в себе содержат. Часть 3 восхваляет креативность царства растений и его потрясающе разнообразные летучие молекулы и запахи: свежие, и деревянистые, и цветочные, и фруктовые. Часть 4 описывает запахи, которые источают воды и почвы планеты, а также останки живых организмов, когда они преобразуются в дым и смолу, топливо и пластик. А часть 5 завершает тему запахами, которые человечество любит и к которым стремится ради них самих, в парфюмерии, продуктах и напитках.

Итак, добро пожаловать в осмокосм, мир, вертящийся прямо у нас под носом.

ВВЕДЕНИЕ. ЧУТЬЕ НА САМУЮ СУТЬ

Запах человеческого тела — это само тело, которое мы вдыхаем через наши нос и рот, которым мы внезапно овладеваем, словно бы это было самой тайной сущностью тела и, короче говоря, его природой. Запах, что во мне, — это слияние тела другого человека с моим телом. Но это чужое тело с удаленной плотью, обратившееся в пар тела, целиком и полностью оставшееся собой, но ставшее летучим духом.

Жан-Поль Сартр, «Бодлер», 1947 год

Обратившиеся в пар тела, тайные сущности — это и есть запахи? Что ж, примерно в этом духе, да! Запахи могут быть бытовыми, обычными ощущениями, но чем внимательней к ним присматриваешься, тем более экстраординарными они становятся. Жан-Поль Сартр, как и Пруст, — французский знаток чувственного, запечатлевший их странную, призрачную сущность в этом пассаже про женщин и парфюмерию в поэзии Шарля Бодлера. Когда мы чувствуем запах чужого человеческого тела, мы буквально вбираем порцию этого тела в наше собственное тело, в ткани в нашей голове, которые затем сигнализируют об их присутствии нашему разуму. Это всегда соответствует истине, неважно, чужим ли мы любовника или чужака, канализацию или розу. Мы чужим что-то потому, что частицы этого объекта — его обратившиеся в пар, переносимые по воздуху летучие молекулы — входят в нас и моментально становятся частью нас.

Эта мысль не дает покоя. Неудивительно, что мы инстинктивно задерживаем дыхание, когда чужим что-то омерзительное. Но это также открывает нам глаза, расширяет наши ноздри. Это значит, что обоняние позволяет нам вступить в прямой и интимный контакт с веществом мира, в котором мы живем. Это значит, хотя обоняние повсеместно считается наименее важным из человеческих чувств, таким, которым наши домашние животные пользуются с куда большим талантом, оно может принести в нашу жизнь больше, чем мы привыкли полагать.

Прежде чем погрузиться в мир запахов, давайте начнем с дома, с собственной головы, и лучше узнаем, как работает обоняние и что оно может нам предложить.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЧУВСТВА ДЛЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО МИРА

Когда Сартр описал запах женщины как «обратившееся в пар тело» или «летучий дух» ее тела, что он на самом деле имел в виду, так это ее летучие молекулы. Молекулы — это невидимые частицы вещества, разнообразные структурные элементы, составляющие объекты в физическом мире и придающие им их сущность и специфические характеристики. Вкус и запах — это молекулярные чувства, которые выявляют и сообщают о присутствии конкретных молекул в воздухе вокруг нас и у нас во рту. Несмотря на их большой престиж, наши зрение и слух не вступают в столь прямой контакт с объектами мира, они регистрируют только световые волны или волны воздушного давления, на движение которых повлияло их присутствие. Осознание позволяет нам вступить в прямой контакт с физическими объектами и материалами, но только в объемном виде: оно не может различать конкретные молекулы так, как это делают обоняние и вкус. Запахи и вкусы — это наши наиболее прямые, интимные и специфические столкновения с молекулами, составляющими мир.

Как и все остальное в физическом мире, наши тела тоже состоят из молекул, а наши вкус и обоняние работают за счет их собственных специализированных молекул — вкусовых и обонятельных рецепторов. Вкусовые рецепторы в основном расположены на вкусовых сосочках языка. Они всегда на чеку, ожидая горстку определенных молекул или их частичек, которые растворяются в жидкой слюне рта от продуктов, которые мы кладем в рот, или других материалов, которые мы решаем пожевать, пососать или лизнуть. У нас около пятидесяти различных видов вкусовых рецепторов, и они вызывают несколько вкусовых ощущений: знакомые сладкое, кислое, соленое или горькое, и менее знакомое умами, или же пресное. Все они указывают на предположительную пригодность продуктов и напитков для употребления.

Обоняние возникает из двух участков чувствительной кожи, расположенных не на виду, в передней части нашей головы, позади и чуть ниже глаз. Их совокупная площадь составляет меньше одной десятой площади верхней поверхности языка, около одного квадратного дюйма (2,5 см²). Обонятельных рецепторов примерно четыреста различных видов, и они распознают молекулы, содержащиеся в воздухе, который мы вдыхаем и выдыхаем. Обоняние на чеку, ожидая не горстку определенных молекул, а абсолютно любые молекулы, которым случилось оказаться в воздухе и которые могут быть важны для нашего здоровья, будь это аромат свежей клубники в миске или задымление от лесного пожара в километрах от нас. Обоняние не обращает никакого внимания на большую часть молекул воздуха — на молекулы азота, кислорода, углекислого газа и воды, — поскольку их присутствие не имеет важного значения: они и так всегда есть. Но оно очень восприимчиво по отношению к молекулам, которые приходят и уходят, которые дают подсказку о том, что происходит вокруг нас. Поскольку его несколько сотен рецепторов могут взаимодействовать друг с другом во всевозможных многочисленных комбинациях, обоняние теоретически может

различать множество миллионов различных молекул и их смесей.

Обоняние более многофункциональное, чем вкус. Оно более бдительное, широкое, специфическое и чувствительное. И оно куда более информативное, поскольку объекты в мире состоят из множества различных видов молекул, и гораздо больше, чем та горстка, которую может распознать вкус.

ЗАПАХИ ВОЗНИКАЮТ ИЗ СМЕСЕЙ ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ

Как Сартр выразился о телах, ставших запахами, молекулы, которые мы вдыхаем и чуем, являются летучими. Этот термин в химии обозначает «склонный к испарению», к тому, чтобы отделиться в качестве газообразного пара от твердых или жидких материалов. Молекулы запаха должны отделиться от своего источника — тела человека, пищи, питья, дерева, огня — и пролететь по воздуху, чтобы достичь обонятельных рецепторов в носовой полости. Большинство молекул в объектах вокруг нас слишком большие и тяжелые, чтобы летать, или они слишком крепко «приклеены» к другим молекулам, так что то, что мы в действительности можем почуять, так это смесь молекул в объектах, тех, которые испаряются с поверхности и отделяются. Эти летучие молекулы — представители тел, испускающих их, но они оставляют тела позади.

И большинство объектов испускают смеси летучих молекул. Нет такой вещи, как одна-единственная молекула яблока, одна-единственная молекула картофеля. Яблоки и картофель состоят из множества различных видов молекул: молекул воды, крахмала, сахаров, белков, жиров, минералов, кислот, ДНК, пигментов, фитохимических веществ, отгоняющих насекомых, и т.д. и т.п. И яблоко, и картофеля испускают десятки летучих молекул. Их характерные запахи возникают из их различных смесей.

Поскольку даже простейшие запахи возникают из смеси летучих молекул, запахи часто сравнивают с музыкальным аккордом, комби-

нацией нескольких разных нот, которые мы слышим как единый узнаваемый звук. Другая аналогия, ближе к дому, — это что-то приготовленное: вы смешиваете томаты, оливковое масло, чеснок и базилик, и эти вкусы сливаются вместе, создавая вкус томатного соуса. Вы можете уловить, а можете и не уловить аромат каждого из ингредиентов, но каждый из них вносит свой вклад в характерный вкус соуса. Что ж, каждый из этих ингредиентов, в свою очередь, представляет собой смесь молекулярных компонентов, которые сливаются вместе, создавая их собственный характерный вкус: вкус томатов, оливкового масла, чеснока, базилика. Именно эти молекулярные ингредиенты мы и будем исследовать в этой книге.

В действительности мы не можем увидеть эти стаи смешанных летучих молекул, но их достаточно легко вообразить и связать с нашим бытовым опытом. Я живу в холмистой местности Сан-Франциско и часто вижу, как воздух и его потоки становятся видимыми, когда над холмами Твин-Пикс расстилается туман и скользит вниз по направлению к бухте. Это заставило меня задуматься: если бы единичные молекулы запаха были видимыми так же, как состоящие из триллионов молекул воды капли тумана, и как-то различались бы по цветам, чтобы отразить их грандиозное разнообразие, тогда из своего окна я мог бы увидеть радужные шлейфы запахов, постоянно формирующиеся и распадающиеся, клубы, завитки и массы, движущиеся, исчезающие, вновь появляющиеся, смешивающиеся, от лозы жасмина, и лимонного дерева, и пихты, и эвкалипта в соседних дворах, от дранки на крыше, открытых окон, пешеходных дорожек, собак и их хозяев, машин и автобусов, велосипедистов, с трудом поднимающихся на холм... И если я в действительности чую находящиеся рядом цветы и деревья или дым из трубы, так это потому, что следы этих молекулярных шлейфов принесло прямо по воздуху прямо ко мне, где я могу втянуть их своим носом.

Когда я устраиваю перерыв от сенсорной депривации за своим столом и отправляюсь

на пробежку, я многое вижу, слышу и ощущаю, а также многое чую. Запахи встречаются с большими перебоями, чем гладко перетекающая визуальная картина, и звуки, и топот по тротуару, и ветер, но они всегда многочисленные и различные, появляющиеся и исчезающие за несколько вдохов, пока я движусь сквозь шлейфы смешанных летучих молекул.

Некоторые запахи испускают источники, которые я вижу, пробегая мимо них. Тайский ресторан. Пекарня. Свежий асфальт на перемощенной улице. Как сырая, так и недавно распиленная древесина в старом доме, в котором затеяли капитальный ремонт. Смесь резины и моторного масла от автомобильной мастерской. Мусорные баки. Зловонная канализационная труба. Недавно покошенный луг. Продуктовая тележка, забитая грязной подстилкой.

Другие запахи я узнаю даже несмотря на то, что их источники невидимы. Дымок марихуаны. Закоротивший электрический трансформатор. Коровий навоз в чьем-то саду. Цветы с дурманящим, тяжелым запахом. Выхлопы из сушилки для белья. Пары из кухонь и дворовых грилей: подгоревшие тосты, жареная рыба, жареный лук, томатный соус, угли, только что зажженные жидкостью для розжига, жаренная на гриле курица, говядина. Когда я бегу навстречу ветру по сухой пешеходной дорожке, я ощущаю запах дождя на тротуаре, предвестник мокрой финишной черты.

Каждый из нас переживает подобный опыт изо дня в день — мимолетные столкновения со шлейфами летучих молекул.

ЗАПАХИ И ВКУСЫ СУЩЕСТВУЮТ В НАШЕЙ ГОЛОВЕ

Даже если мы готовы думать о запахах как о смесях молекул, а об обонянии — как о самом специфическом и дискриминирующем из наших молекулярных чувств, совсем не просто чутя запахи как смеси. В быту мы чует предметы, объекты и материалы, существующие в мире, обладающие простыми, мгновенно

узнаваемыми запахами: запахами навоза и цветов, запахами: говядины и курятины, качеств, которые, как сказал Сартр, кажутся индивидуальными духами тела, от которого они испаряются.

Впечатление проистекает из того факта, что столкновение вкусовых и обонятельных рецепторов с молекулами — это всего лишь первый шаг в нашем восприятии запаха или вкуса. Хотя мы обычно говорим, что продукты «обладают» вкусами, а цветы имеют запахи, но по факту, то, чем они обладают, так это летучими молекулами. Ощущения и восприятия, запахи, и вкусы, и ароматы — это продукты нашего мозга. Мозг не просто регистрирует прямые отчеты от рецепторов, но активно создает запахи, вкусы и ароматы, заполняя эти отчеты многими другими видами доступной информации, и в особенности информацией из базы данных прошлого опыта.

Так что мы обычно не воспринимаем аромат кофе как смесь многочисленных различных летучих молекул, его создающих. Мы воспринимаем его как... кофе.

Почему же мозг обращается с отчетами рецепторов именно таким образом, привнося другие отчеты от глаз, ушей и банков памяти и предоставляя нашему сознательному разуму краткое резюме? Потому что он образовался как орган, координирующий все наши биологические функции, чтобы помочь нам выжить в сложном, постоянно меняющемся мире. Несмотря на все его замечательные способности, человеческий мозг неспособен уследить за всем, что происходит в каждый момент. Поэтому ему приходится упрощать и фокусироваться. Чувства составляют систему для постоянного сбора данных об окружении на данный момент, уделяя особое внимание изменениям (отсюда и отсутствие интереса обоняния к азоту, кислороду и воде), быстро собирая в единое целое, редактируя и сравнивая их с базой данных прошлого опыта, а также быстро принимая решение о том, как действовать. Вкус и обоняние прежде всего позволяют животным узнавать питательную пищу и поглощать ее, узнавать ядовитую или

испорченную пищу и избегать или извергать ее, чувствовать потенциальную опасность со стороны находящихся поблизости хищников или пожаров и избегать ее, отличать своих от чужих, здоровых от больных. Их целью не было разложение запаха кофе на его летучие ингредиенты или раздумья о нюансах апельсина или куропатки.

Но точно так же первоначальной целью слуха не было создание разговорного языка или музыки! Люди, любящие кофе, парфюмерию и многие другие ароматические материалы, по факту действительно разлагают и раздумывают. Это дается нелегко, но это достижимо и приносит плоды.

ЗАСТАТЬ МОЗГ ЗА РАБОТОЙ — ЗАМЕТИТЬ СМЕСИ И ОТТЕНКИ

Запахи вызываются смесями летучих молекул, затем формируются и предоставляются как упрощенные сознательные восприятия активно редактирующим, синтезирующим мозгом. Мы улавливаем намеки на все это в те моменты, когда в запахе есть что-то необычное, какое-то разночтение, или разногласие, или сюрприз, когда мозгу приходится больше работать над тем, чтобы составить должное представление о запахе.

Как-то пару лет назад я вернулся домой после долгой пробежки на свежем и разнообразном воздухе, зашел на кухню и вскоре заметил, что что-то было не так. Сперва воздух казался просто спертый. Когда я принюхался, он показался еще более неприятным, словно бы у кухни плохо пахло изо рта. Я подумал: возможно, что-то гниет в кладовке. Может быть, один из свежих помидоров или луковица: оба эти продукта порой сгнивают омерзительным образом. Я проверил, но продукты были в порядке. Запах все больше и больше напрягал меня. Сливное отверстие в раковине? Нет. Я задался вопросом: не забыл ли кто-нибудь смыть за собой в туалете за углом? Нет. Может, мышь забралась в стену и там сдохла? Это то, с чем я сталкивался

десятилетия назад. Проверить было совсем не просто.

Наконец, оглядывая кухню и принимаясь, я обнаружил источник запаха. У всех на виду, на столе, на тарелке под стеклянным колпаком, лежал мягкий сыр из Вермонта, обхваченный узким ободком еловой древесины. Я купил его день назад, распаковал и поставил на стол, чтобы он пробудился после спячки в сырной витрине магазина, а затем умудрился забыть о нем. Я приблизил нос к тарелке и принялся... так и есть, это и был тот самый запах. Принялся сильнее, и теперь он пах сыром — или аспектом сыра. Я поднял колпак, глубоко вдохнул и почуял этот сильный вонючий запах, но также и другие, включая аммиак, который по какой-то причине не заполнил помещение так, как вонь. Актуальная загадка была разгадана.

Я наблюдал за работой активного и подверженного ошибкам мозга. Забыв, что на столе был сыр, мой мозг изо всех сил пытался постичь необычный запах, заполнивший помещение, подсказывая возможные сценарии с подобными запахами из моего прошлого опыта.

Поскольку я раздумывал о молекулах и мозге, я захотел посмотреть, каким будет на вкус сам сыр после этого необычного знакомства. Я проделал дырочку сверху и попробовал на вкус ложечку склизкого сыра. Хотя источник сейчас находился прямо у меня во рту, вонючая нотка казалась более приглушенной, а центральную сцену заняли молочный, мясистый, хвойный и фруктовый ароматы, а также соленый и кислый вкусы и кремовая текстура. Запах сыра у меня во рту разительно отличался от его запаха в воздухе на кухне.

Довольно-таки обыденный опыт, но сколько пищи для раздумий! Запахи вызывают смешанные летучие молекулы, и мозг старается изо всех сил, чтобы постичь всю доступную ему поступающую информацию. У этого сыра было много различных аспектов, и моему мозгу не понравился один из них. Должно быть, у него были какие-то об-

щие летучие молекулы с несвежим дыханием, гниющими овощами, засорившимися раковинами, экскрементами и мертвыми животными. Не шибко приятно. С другой стороны, похоже, у него также были общие летучие молекулы с мясом и спелыми фруктами. Почему же я заметил только не шибко приятный запах до того, как увидел сыр? Когда я положил ложечку прямо в рот, почему эта нотка стала слабее, а не сильнее? И как же в процессе приготовления сыра удастся извлечь из пресного молока, с одной стороны, вонючие и аммиачные запахи и, с другой стороны, мясистые и фруктовые запахи?

Кратковременная кухонная загадка была редким опытом, но я все время заинтригован продуктами, чьи запахи предполагают, или напоминают, или созвучны с совершенно другими объектами мира, поскольку мой мозг замечает некоторые черты, которые у них, похоже, общие. Сыр и мертвые животные, сыр и спелые фрукты, а порой, на удивление специфично, ананас! Кофе и вина, пахнущие конюшнями. Свежий зеленый чай, пахнущий курятиной, а спустя час гуща, пахнущая морским побережьем. Голубые цветы огуречника из сада, у которых вкус как у устриц. Черная соль, добываемая в Гималаях, которая пахнет как варенные яйца. Любопытно!

Вам необязательно знать что-либо о молекулярной природе запаха, чтобы заметить эти сходства. Но если вы немного знаете, тогда вы начинаете исследовать, что они могут означать. Молекулы создаются, а не рождаются; они свидетельство сформировавшихся их процессов. Это очевидно, когда речь идет о запахах жареной рыбы и томатного соуса, которые я улавливаю во время своих пробежек, о запахах, созданных поварами путем смешивания ингредиентов и применения жара. Это менее очевидно, но столь же верно, когда дело касается запаха кофе и конской конюшни, горного камня и яйца. Какие же летучие молекулы у них общие и как же они образовались в столь разных объектах? Сходства запахов — это ключи к невидимой динамике мира.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ МИРА

К счастью для любопытного нюхача, химики упорно работали, каталогизируя молекулы, испускаемые продуктами, конюшнями и камнями. Начиная с поздних сороковых годов они разработали и усовершенствовали машины, которые поступают с запахами так же, как призма — со светом: разлагают то, что кажется единым простым ощущением, на его составляющие подошущения. Нейтральный белый свет — это смесь всех различных цветов спектра, и призма делает этот спектр видимым, разделяя смесь на ее различные длины волн. Приборы с названием «газовые хроматографы» делают то же самое с летучими молекулами.

Газовый хроматограф начинает с образца летучих молекул, собранных от еды, или объекта, или места, и отделяет виды молекул друг от друга по тому, насколько они летучие, по тому, как много энергии им необходимо, чтобы отделиться от твердых и жидких тел и стать газом. Летучесть вещества примерно соответствует его точке кипения: чем выше летучесть, тем меньше энергии необходимо молекулам для отделения от его поверхности и тем ниже его точка кипения. Спирт более летучий, чем вода, и закипает при куда более низкой температуре: 78°C вместо 100°C. Так что, если вы медленно нагреете смесь алкоголя и воды, когда ее температура достигнет 78°C, пар, поднимающийся с ее поверхности, будет содержать больше алкоголя, чем воды. К тому времени, когда она достигнет 100°C, большая часть алкоголя уже выкипит, а пар будет в основном состоять из воды. Именно так перегонщики, используя аппарат под названием дистиллятор, начинают с пива, в котором всего 5% алкоголя, и делают виски, в котором 40%: они нагревают пиво и собирают богатые алкоголем пары, выделяемые при температурах гораздо ниже 100°C.

Газовый хроматограф — это нечто вроде дистиллятора, но он предназначен для работы со смесями молекул, содержащими мно-

жество различных летучих молекул. Вы вводите образец в вводное отверстие — образец может быть крохотным, доля грамма, — и в конце концов летучие молекулы по одной выходят из выпускного отверстия. В это время образец пропускается в потоке водорода или гелия по длинной спиральной трубке, стенки которой облицованы сложным абсорбирующим материалом. Трубка расположена в печи, температура которой медленно повышается. Летучие молекулы в образце изначально прилипают к облицовке трубки, а затем отделяются от нее и проходят до конца трубки за различное время, зависящее от их летучести. Когда выбросы различных летучих молекул выходят из выпускного отверстия, их можно затем поместить в другой прибор — масс-спектрометр, который анализирует их химический состав, позволяя химику соотнести «время удержания» в трубке со специфическими молекулами.

Выбросы летучих молекул из хроматографа также можно поместить в трубку, которая ведет к носу очень терпеливого человеческого детектора, нюхающего и называющего вид запаха, воспринятого за заданное время удержания. Эта комбинация машинного и сенсорного анализа называется «газовая хроматография-ольфактометрия, или ГХ-О». (Предпочитаемый научный термин для обоняния и процесса нюхания — ольфакция (olfaction).) Это позволяет химикам и сенсорным ученым анализировать запах образца — цветка, или стейка, или воздуха в округе промышленной свинофермы — и составлять список специфических летучих молекул в образце, а также того, чем пахнет каждая из этих молекул. Таким образом, мы узнаем две вещи: какие молекулы составляют эти запахи и какой набор запахов единичных молекул каким-то образом собирается в одно целое в головном мозге, формируя запах цветка, или стейка, или воню.

ГХ-О — это блестящее изобретение. Были опубликованы сотни научных работ со списками летучих молекул и ассоциируемых с ними запахов. Именно на этой постоянно

нарастающей научной переписи летучих молекул мира я и буду основываться, пока мы изучаем обонятельный мир.

ГОВОРЯ О ЗАПАХАХ, ЧТО ПОЯВИЛОСЬ РАНЬШЕ: ЛЕМОНГРАСС ИЛИ МУРАВЕЙ?

В основном нюханьем в ходе ГХ-О занимаются люди, натренированные быстро реагировать на изолированные летучие молекулы, проходящие через нюхательное отверстие, абсолютно лишённые любого контекста реальной жизни, и описывать их запах за секунду-другую, пока не появится следующая. Я несколько раз испробовал на этой технике свой нос, и для нетренированного это сплошная нервотрепка, напомнившая мне, как Люсиль Болл не могла поспеть на кондитерской линии сборки. Вновь и вновь я узнавал запах как знакомый, но — как сыр на моей кухне — не мог его распознать или придумать точное определение. Во время получасового прогона образца жареного говяжьего фарша я ткнул детекторную кнопку где-то раз восемьдесят и был уверен в своем описании, может, раз десять или двадцать. И что за смесь! Отдельные пики на хроматографе пахли различно, как жареные овощи, мелки, стирольный пластик, жидкость для снятия лака, тост, сера, сырые зеленые листья, суп, кленовый сироп, хлеб, пот, навоз, орехи и — самое очевидное для меня — клубника. Клубника!

ГХ-О очень крутой прибор, который ставит перед нами сложнейшую задачу: исследовать запахи и их значения. Мы можем придумать описание только для смесей молекул, которые мы узнаем из прошлого опыта, или для отдельных молекул, которые мы узнаем как наиболее ярко выраженные составляющие знакомых смесей. В то время как мы можем узнать настоящего слона в первый раз, если мы ранее видели его фото или рисунок, мы не можем узнать и определить вкус или запах, если только мы ранее не чувствовали его или нечто подобное. Так что мы по необходимости описываем их, ссылаясь на то, что мы

уже пробовали на вкус и нюхали, как я делал для своего прогона жареной говядины.

Конкретные летучие молекулы зачастую описываются как обладающие травянистым, или цветочным, или фруктовым, или мясным, или фекальным запахом, поскольку они вносят свой вклад в характерные и часто ощущаемые запахи травы, цветов, фруктов, мяса или экскрементов, или они каким-то образом запускают в мозгу те же процессы, что и эти материалы. И поскольку многие конкретные летучие молекулы являются частью смесей различных материалов, то различные нюхачи ГХ-О могут давать и различные описания одних и тех же летучих молекул, и один нюхач может дать несколько различных наименований одной-единственной молекуле. Существует несколько летучих молекул, которые могут иметь как кошачий, так и фруктовый запах, поскольку их можно обнаружить как в кошачьих лотках, так и в манго. (Да, с ума сойти! Мы еще доберемся до этого.) Другие запахи описывают как мыльные, но в то же время зелено-листовые, похожие на свежий кориандр: это главные летучие молекулы как в мыле, так и в кориандре.

Наша зависимость от собственного опыта означает, что то, что мы чуем и как говорим об этом, зависит от обстоятельств нашей жизни. Несколько лет назад мне выпал шанс послушать, как бразильский шеф-повар Алекс Атала рассказывает о малоизвестных ингредиентах Амазонии. В одной из частей своей презентации он раздал образцы амазонских муравьев. Как и большая часть аудитории, я ожидал «интересный» вкус, но не очень вкусный. Но мы были приятно удивлены, обнаружив, что у них был вкус как у комбинации лимонника и имбиря: первоначально азиатские вкусы распространились до космополитичных областей запада. Но, как сказал Атала, нам необходимо было осознать: жители Амазонии считают муравьев вкусными, потому что у них вкус муравьев. Как он позже написал о женщине, приготовившей ему муравьиную похлебку: «Когда я уговорил Дону Брази попробовать продукты, которых нет в Амазонии, такие как

лимонник и имбирь, она рассмеялась и сказала, что они на вкус совсем как муравьи».

То, как мы отмечаем, называем и думаем о запахах, зависит от того, где мы впервые с ними столкнулись. Это значительное ограничение нашего мышления — и нашего потенциала наслаждения! Не только потому, что нереально попробовать все в мире, но также потому, что сам опыт ограничен. В то время как многие люди любят кориандр, применяемый в азиатской и мексиканской кухнях, многие другие находят его отвратительным, возможно потому, что они впервые учуяли наиболее ярко выраженные летучие молекулы кориандра в мыле и не могут отделаться от его идентификации с чем-то, что не следует совать в рот.

Как только мы осознаем эту субъективность и относительность обонятельного опыта, мы сможем принять ее во внимание и постараемся сфокусироваться на объективных аспектах опыта. ГХ-О утверждает, что в жареной говядине есть летучие молекулы клубники, и мой нос говорит мне, что муравьи Аталы вырабатывают некоторые из тех же самых молекул, что имбирь и лемонграсс. Так что я постараюсь осознанно заметить фруктовый аромат в своем гамбургере и попытаюсь разгадать: как вообще возможно, что фрукты и мясо, муравьи и растения испускают одни и те же летучие молекулы от разных тел, принадлежащих к совершенно разным царствам живых организмов.

ОБШИРНОСТЬ ВТОРИЧНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Раньше повсеместно считалось, что у людей паршивое обоняние. Собаки демонстрируют потрясающие трюки, следуя за людьми по лесам после того, как они всего лишь понюхают брошенную одежду. Генетические исследования демонстрируют, что у нас вполнину меньше обонятельных рецепторов, чем у наших питомцев. И, как мы видели, какую бы информацию наша обедненная команда рецепторов ни смогла бы собрать, эта инфор-

мация настолько искажается нашим мозгом, что наш сознательный разум редко получает ее напрямую из нашего собственного рта или носа. Какие молекулы в действительности существуют? Невозможно ничего сказать наверняка. Так что нет смысла спорить про вкус или обоняние. Ну и черт с ними.

В 2004 году именитый йельский нейробиолог Гордон М. Шеперд опубликовал работу под названием «Человеческое обоняние: мы лучше, чем мы думаем?». Шеперд заявил, что количество рецепторов вовсе не показатель того, что мы можем делать при помощи обоняния. У нас меньше рецепторов, посвященных слуху, чем у большинства других животных, но именно наш вид создал речь и музыку. Вместо этого наша настоящая сила заключается в том, что наш мозг может делать с чувствами. Вкусы и запахи — это просто изолированные сигналы до тех пор, пока мозг не превращает эти сигналы в комплексные восприятия, и Шеперд указывает на то, что ни одно другое животное не затрачивает столько мыслительных способностей на обоняние и вкус, как люди. Может, мы и не способны учуять след запаха в лесу, но мы действительно способны почувствовать тончайшие различия в степенях обжарки семян кофейного дерева, качество ферментированных сортов винограда с различных участков земли и дорогостоящих составах растительных и животных масел, наносимых на кожу. В тех областях, где люди стали достаточно заинтересованы в запахах — в парфюмерии и гурманстве, в вине и пище, — они на удивление чувствительны к нюансам.

Публикация Шеперда и последующая книга «Нейрогастрономия» утверждают, что мы можем больше извлечь из своего обоняния и более полно реализовать его врожденный потенциал к глубоким знаниям и специфике, потому что мы мыслим. У нас нет врожденных знаний о том, как использовать наши чувства, как видеть, слышать или обонять. Мы учимся использовать способности нашего тела с младенческих лет по большей части неосознанно. Как мыслящие существа, мы можем сделать

выбор и продолжить это обучение осознанно. Такое же вмешательство в работу мозга, которое негативно влияет на точность и объективность нашего непосредственного сенсорного опыта, также может обогатить этот опыт.

Разумеется, люди тысячелетиями были заинтригованы запахами и строили предположения на эту тему. Прежде всего они пытались найти какой-либо порядок в грандиозном разнообразии запахов, какие-то категории или общие характеристики, по которым их можно было бы объединить. Ранние философы Греции, Китая и Индии придумали лишь несколько категорий, начиная с категорий «приятный» и «неприятный». С семнадцатого века категории множились, когда к процессу присоединились ученые и врачи, а затем парфюмеры и производители еды и напитков, причем каждая группа фокусировалась на качествах, релевантных для их профессий. За последние десятилетия химиками и парфюмерами были предприняты новые попытки с целью найти «истинные» базовые категории, а в последнее время и с помощью специалистов по обработке данных, загружающих в компьютеры все системы запахов, которые они могут найти, чтобы выявить возможные скрытые закономерности. В мире пищи и вина были предприняты значительные усилия по созданию «кругов вкуса»*, на которых сложные ароматы графически подразделяются на их составляющие, чтобы служить путеводителем для энтузиастов, желающих насладиться нюансами. Первые современные круги вкусов были посвящены виски, а затем — винам, но теперь вы можете найти их среди прочего для пива, сыра, кофе, чая, оливкового масла, шоколада, кленового сиропа, устриц и воды из-под крана. И круги ароматов в парфюмерии.

Сенсорный психолог-первопроходец Джеймс Дж. Гибсон назвал этот обмен информацией «вторичным восприятием», «процессом, в ходе которого человеческую особь заставляют ощутить что-либо» при

помощи других людей, в отличие от того, как если бы человек ощутил это посредством своего собственного непосредственного восприятия. Это позволяет нам преодолеть ограничения наших жизней и воспользоваться накопленным опытом и пониманием поколений других.

ПРИБРЕСТИ НОВЫЙ НОС И МИР

Изучение запаха посредством кругов вкуса и молекулярных перечней может сбивать с толку и ставить ваш нос в тупик. Только если вы не сенсорный ученый, или химик, или какой-то профессионал в области пищи или аромата, или заядлый любитель, поскольку в таком случае эти схемы могут целиком и полностью поглощать ваше внимание. И даже трансформировать вас. Французский социолог Бруно Латур доказал, что, посвящая себя изучению нескольких компонентов в сложной смеси, вы развиваете не только свой разум, но также свое тело и мир, с которым вы взаимодействуете. Это не только интеллектуальное занятие.

В эссе 2004 года под названием «Как говорить о теле» Латур проанализировал, что происходит, когда делающий первые шаги парфюмер тренируется, чтобы научиться лучше распознавать и работать с базовыми ароматами. Бывалые парфюмеры собирают запахи в коллекции обучающих материалов, состоящие из десятков простых ароматических ноток, чтобы новички могли постепенно учиться распознавать все более тонкие различия между ними. Это может звучать как простой процесс зубрежки наизусть в ходе профессионального обучения. Но поскольку оно включает в себя работу наивного чувства, которому еще не доводилось ощущать эти запахи и их различия, Латур утверждает, что этот процесс преднамеренного, управляемого обоняния приводит к появлению ранее неизвестной способности различать запахи и,

* В публикациях на русском языке для обозначения этой системы встречаются и «круги», и «колеса». — Здесь и далее прим. науч. ред.

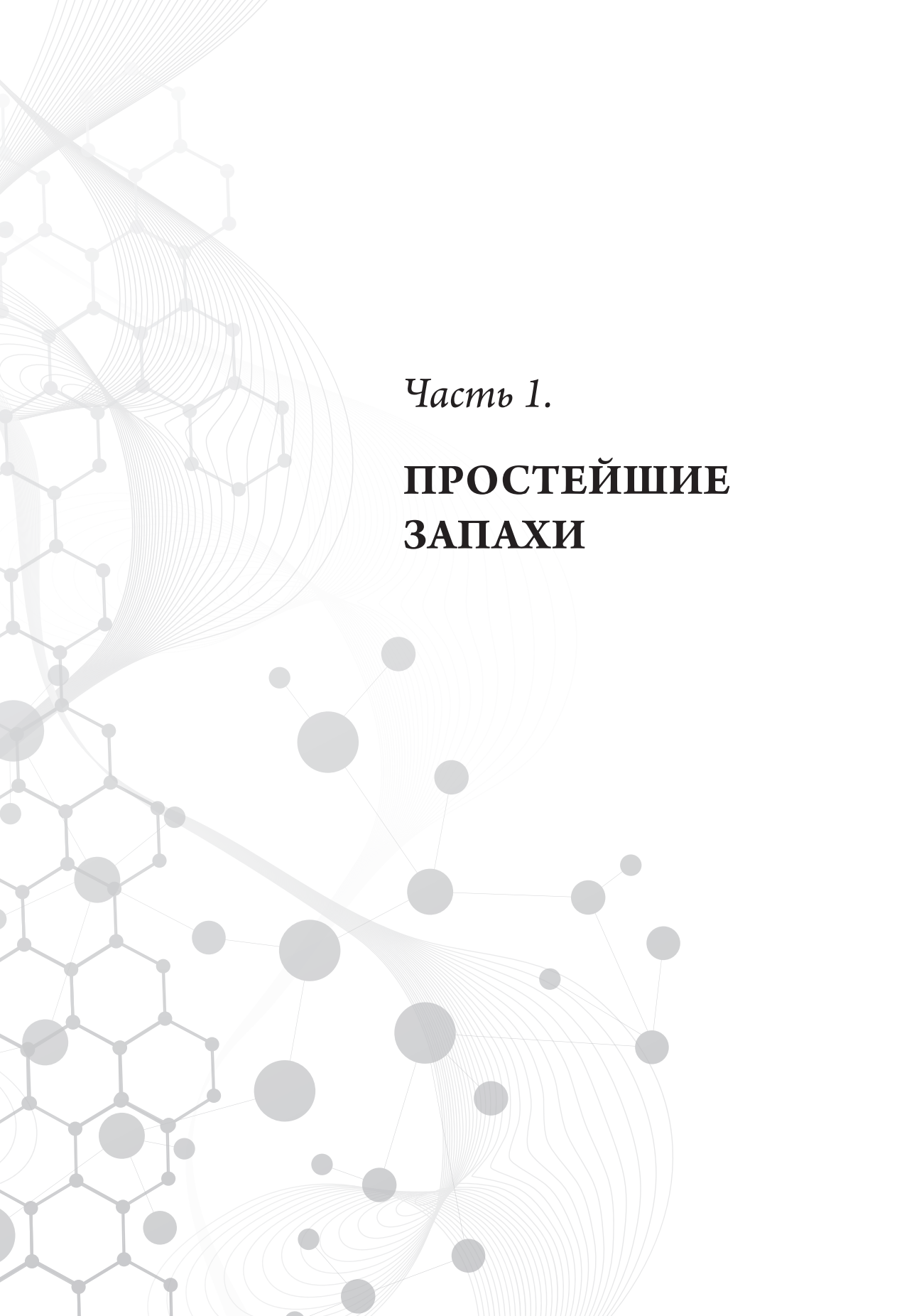
таким образом, к новой доступной части реального мира:

«Начав с “глупого” носа, неспособного различать больше, чем “приятные” и “неприятные” запахи, в итоге индивид очень быстро становится “носом” (un nez), то есть кем-то, кто способен выявлять все более и более тонкие различия и отличать их друг от друга, даже когда они замаскированы или смешаны с другими. Непосредственно такого человека называют “носом”, словно бы посредством практики он приобрел орган, определивший его способность выявлять химические и другие отличия. Пособием тренировочных сессий он получил нос, позволивший ему распознавать богатство разнообразного благоуханного мира. Таким образом, части тела прогрессивно приобретаются в то же время, как “мировые двойники” регистрируются новым образом.

Следовательно, приобретение тела — это прогрессивное предприятие, создающее одновременно сенсорное приспособление и чувственный мир».

Приобретение нового носа может звучать как болезненная хирургическая процедура, но это происходит уже в то время, когда вы читаете это вступление, и, я надеюсь, безболезненно! Разумеется, это метафора для работки соответствующих участков мозга. И в самом деле, многочисленные исследования обнаружили существенные отличия в структуре и активности мозга тренированных парфюмеров и экспертов по винам. Физический нос — это просто видимое неэластичное входное отверстие для скрытой динамичной сенсорной системы, чьи оперативные правила, банки памяти, базы данных и связи обновляются с каждым вдохом, чтобы не отстать от невидимого вращающегося осмоса, данные о котором она сообщает. Чем больше у нее опыта и информации для работы, тем больше в мире она может заметить и привлечь к этому наше внимание.

Теперь, когда у нас есть общее представление о том, что и как мы чуем, а также как мы говорим о запахах и изучаем их, давайте посмотрим, что нам может дать вторичное обнюхивание.

The background features a complex, abstract design. On the left side, there are several overlapping hexagonal molecular structures, some with small circles at the vertices and others with larger circles at specific positions. These structures are rendered in a light gray color. Sweeping across the entire background are numerous thin, wavy, concentric lines that create a sense of depth and movement, resembling topographical maps or sound waves. The overall color palette is a range of grays, from very light to medium gray.

Часть 1.

**ПРОСТЕЙШИЕ
ЗАПАХИ**

ГЛАВА 1. СРЕДИ ЗВЕЗД

Интеллект пуст, если тело никогда не странствовало, если нос никогда не вздрагивал над дорожкой из специй. И то и другое должно измениться и стать гибким, забыть о своем мнении и расширить спектр своего вкуса до самых звезд.

Мишель Серр, «Пять чувств», 1985 год

ДА, ЗВЕЗДЫ!

Сенсорная трапеза, раскладываемая для нас каждый день нашей жизни, отправилась в огонь примерно четырнадцать миллиардов лет назад и с тех самых пор кипела вокруг звезд. Наша Вселенная — смесь из материи и энергии, и некоторые из молекул, запах и вкус которых мы чувствуем в наши дни, бурлили в нем с ранних времен, задолго до появления простейших форм жизни.

Это может прозвучать безумно — нюхать и глотать в безвоздушном межзвездном пространстве, но поколения астрономов открыли для нас небеса в достаточной мере, чтобы именно это и вообразить. Итак, вы стоите ясной ночью где-то под открытым небом, подальше от городских огней. После того как ваши глаза приспособились к темноте, вы можете разглядеть тут и там мглистые участки, возможно, под поясом Ориона зимой или полоску Млечного Пути в Стрельце летом. Сфокусируйте свое воображаемое зрение на этих неясных участках и позаимствуйте виденные вами телескопические изображения туманностей в далеком космосе: полоски и завитки света в усеянной звездами тьме, порой подсвечивающие более темные завитки. Это огромные облака звездной пыли, диффузной материи, отделившейся от звезд, когда они сгорели, выгорели, сжались и взорвались. Яркие облака светятся энергией, а темные холодно поглощают ее.

Теперь высвободите сверхлетучий источник самих себя. Вы — путешественник сквозь время и пространство, помощник Шеф-повара космоса, лишенный тела, за исключением химических чувств, достаточно чувствительных, чтобы попробовать, и достаточно жизнестойких, чтобы выдержать его первобытные ароматы. Пролетите сквозь звездные годы прямо в смесь, погрузитесь в эти пыльные облака.

Вы чувствуете минеральную соленость, и горечь, и едкие кислоты, и даже сладость. Вы чувствуете и чуете раздражающую жгучесть аммиачного очистителя и ту вонь, которую он развеивает. Вы чувствуете пьянящие запахи растворителей, алкоголя, печного топлива. Укус. Яйца. Намек на фрукты!

По земным стандартам это отнюдь не тянет на особо душистую композицию. Но это интригующе. Что эти знакомые молекулы тут делают? И почему именно эти? Перспектива начать настолько издалека и с прошедших времен помогает расширить как наше понимание, так и наше изумление. Это демонстрирует, что появившиеся затем запахи и вкусы, разнообразные земные существа, производящие свои собственные, и парфюмеры, и повара, изменяющие и размножающие их, — это все участники первоначального, продолжающегося проекта космоса: раскрытия возможностей материи.

Эта глава посвящена первоначальным стадиям этого раскрытия, огням звезд и их ароматному пеплу.

РЕЦЕПТ ВСЕЛЕННОЙ: СМЕШАЙ МАТЕРИЮ И ЭНЕРГИЮ И ВАРИ

Как же летучие молекулы, которые мы чуем каждый день, возникли как здесь, так и в открытом космосе? Это довольно-таки захватывающая история, возникшая из коллективных наблюдений и размышлений тысяч ученых из многих стран за многие десятилетия. В ней идет речь о зарождении космоса как единого целого, о возникновении и эволюции жизни на Земле. И в центре этой внецерковной, транскультурной истории сотворения мира — космическая версия готовки.

Подумайте о приготовлении карамели на своей кухонной плите. Вы начинаете с одного-единственного ингредиента — белых кристаллов столового сахара, у которых просто сладкий вкус и никакого аромата. Положите сахар в кастрюлю, поставьте на огонь и помешивайте. Через несколько минут твердые кристаллы превратятся в бесцветную жидкость. Все еще нет аромата. Продолжайте нагревать, и эта жидкость станет бледно-желтой — и начнет пахнуть. Она становится светло-коричневой, затем постепенно все темнее и с более сильным запахом. В конце концов у вас получится темный сладкий сироп, но также кислый и горький, а еще с богатым ароматом. Из одной субстанции вы создали несколько — от простого к сложному.

Подобный процесс создал всю Вселенную такой, какой мы ее знаем. Оригинальный рецепт от Шеф-повара Вселенной звучит примерно так. Смешайте десятки видов элементарных частиц вместе с четырьмя фундаментальными силами и отставьте в сторону. Спустя несколько сотен миллионов лет частицы соединятся и сформируют атомы, сотню различных видов. По истечении еще одного долгого промежутка времени многие из этих атомов соединятся и сформируют молекулы — и смесь начнет пахнуть. Некоторые из молекул соединятся и сформируют частички пыли, а пыль собьется в комки и сформирует планеты. По крайней мере одна планета, наша собственная, вырабатывает все более

сложные молекулы, затем сообщества молекул, которые каким-то образом оживают — и генерируют пышный букет новых летучих молекул, которые Шеф-повар может вкушать, включая карамель. Итак, из пригоршни элементарных частиц Шеф-повар создал бесчисленные виды молекул, обладающих разными качествами.

Первобытная готовка подчеркивает весь наш опыт, бытовой и чудесный. Чтобы понять, почему вообще существуют летучие молекулы, которые мы можем почуять, и почему они существуют там, где существуют, давайте начнем в первозданной космической кухне, когда Шеф-повар запускает процесс. Пока еще нет запахов, но подождите.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЗВЕЗД

Как бы ни возникла известная нам Вселенная, большинство астрофизиков соглашаются, что это произошло где-то четырнадцать миллиардов лет назад во взрывной вспышке при невообразимо высокой температуре. С момента Большого взрыва Вселенная расширилась изнутри наружу. Когда она расширялась, она остывала, и начали появляться виды материи и энергии, которые мы знаем на Земле. В первую долю секунды возникли группы электромагнитной энергии под названием фотоны, известные нам как световые, тепловые и радиоволны. Вместе с фотонами появились три вида сырой материи, частицы ядра, которые объединяются и формируют атомы: протоны и нейтроны, формирующие ядро атома, и электроны, вращающиеся по орбитам вокруг ядра. Именно различные количества частиц в ядрах атомов и дают более сотни химических элементов с их различными характеристиками: водорода, углерода, кислорода и прочие. Один одиночный протон формирует простое ядро атома водорода, поэтому водород был первым возникшим элементом, за ним последовали ядра гелия и, очевидно, лития.

Спустя всего лишь несколько минут продолжающееся расширение Вселенной остудило и замедлило все до такой степени, что

у протонов и нейтронов больше не осталось энергии, чтобы объединяться вместе и создавать более тяжелые ядра атомов. Эволюция материи временно остановилась где-то на сотни миллионов лет.

Но во время этого долгого перерыва одна из фундаментальных сил Вселенной неуклонно работала над тем, чтобы вновь зарядить материю энергией. Гравитация — это сила, действующая между любыми двумя телами материи, крохотными или огромными, и притягивающая их друг к другу. В новорожденной трехэлементной Вселенной соседние атомы постепенно почувствовали гравитационное притяжение друг друга. Они собрались в кластеры, кластеры — в еще более нагроможденные кластеры, все это время двигаясь все быстрее и быстрее, отталкиваясь друг от друга со все большей и большей силой, в процессе выпуская все больше и больше тепловой энергии.

Пока Вселенная как единое целое продолжала расширяться и охлаждаться, гравитация создала горячие карманы плотно нагроможденных атомов, некоторые из них настолько плотные и горячие, что они начали испускать достаточно энергии, чтобы начать светиться. Это было первое поколение звезд.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗВЕЗДАХ

Материальное богатство нашего мира — это отражение его химической сложности, бесчисленных комбинаций более сотни химических элементов. У первых звезд было для работы всего лишь три элемента. Они работали почти все остальные, став фантастическими саморегулирующимися и самоуничтожающимися печами в миллиард градусов.

Вообразите члена этого первого поколения звезд. В ходе того, как гравитация заставляет его материю собираться вместе и сталкиваться со все более увеличивающейся силой, его температура и энергия возрастают. При температуре в несколько миллионов градусов

условия как раз подходящие для того, чтобы два ядра водорода слились в единое ядро гелия. Эта реакция высвобождает энергию, которая толчком побуждает ядра двигаться достаточно быстро, чтобы сопротивляться гравитационной силе. Слияние и гравитация уравнивают друг друга, и звезда может гореть таким ровным пламенем миллиарды лет, используя ядра водорода в качестве топлива и вырабатывая ядра гелия в качестве остатков. Когда она поглощает большую часть водородного топлива, реакция слияния замедляется, гравитация снова начинает доминировать, состоящее по большей части из гелия ядро звезды начинает сжиматься, температура повышается, но до тех пор, пока ядра гелия не смогут стать новым топливом, слиться и сформировать еще более крупные ядра, за счет чего снова уравновесить гравитацию, чтобы постоянное горение могло продолжаться. Теперь есть кислород и углерод: два основных химических игрока в саге жизни и осмоскопа.

Затем цикл сжатия, повышения температуры и нового слияния повторяется снова и снова при все более высоких температурах. Звезда приобретает лукообразную форму, в которой порции недавно сформировавшихся элементов выживают во внешних, более прохладных слоях. После того как сварились двадцать пять новых элементов, гравитация наконец-то берет верх над слиянием и побуждает звезду к последней вспышке созидания — и щедрости. Она сжимает ядро звезды до такой чрезмерной плотности и температуры, что ядро взрывается и становится тем, что называется сверхновой. Высвобожденная энергия так велика, что она запускает формирование еще где-то девяноста элементов. А взрыв забрасывает их и первые двадцать шесть в межзвездное пространство, космические глубины среди звезд.

Таким образом, сверхновая предоставляет свои творения более спокойному космосу в полном объеме. И именно здесь эти элементы могут проявить свои индивидуальные характеристики, исследовать свою близость друг

к другу, объединиться и положить начало следующей стадии раскрытия возможностей материи — стадии, в которой появляются первые молекулы запаха.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ МОЛЕКУЛ МЕЖДУ ЗВЕЗДАМИ

Молекулы — это материал нашего мира, субстанция почти всего, что мы видим и чего касаемся, вкус и запах чего мы можем ощутить. Они просто комбинация элементов, два или больше атомов*, объединившихся друг с другом в определенном порядке. Принимая во внимание, что для этой цели имеется более сотни элементов, количество возможных порядков составляет, что ж, астрономическое число. Именно с рождением молекул космос приобрел совершенно новые уровни сложности.

Молекулы — продукты электромагнитной силы притяжения между частицами противоположных электрических зарядов. Ядро атома несет положительный электрический заряд благодаря заряду протонов. Электроны, вращающиеся по орбите вокруг ядра, несут отрицательный электрический заряд, и именно сила притяжения между положительно заряженными протонами и отрицательно заряженными электронами и удерживает электроны на орбите. Молекулы — это структуры, которые в итоге возникают, когда ядра различных атомов обобществляются вращающимися друг с другом по орбите электронами. Обобщение электронов — это связь, удерживающая их вместе как стабильную структуру. Некоторые молекулы состоят всего лишь из двух-трех атомов — например, молекула оксида углерода (II), также называемая угарным газом (CO), и молекула воды (H₂O), — в то время как молекулы ДНК включают в себя множество тысяч атомов. В большинстве летучих молекул их содержится от нескольких до нескольких десятков.

Электромагнитная сила недостаточна, чтобы противостоять энергии, действующей в звезде. Она с готовностью формирует моле-

кулы при умеренных температурах, которые мы испытываем каждый день в жизни, между огнем и льдом, где атомы движутся достаточно медленно для того, чтобы могли сталкиваться друг с другом и образовывать связи без того, чтобы их снова немедленно оттолкнуло друг от друга. В почти неподвижном холоде глубокого космоса, где атомов мало и они расположены далеко друг от друга, этим атомам может потребоваться много лет на то, чтобы встретиться и отреагировать друг на друга. Более благоприятные межзвездные регионы — это «гигантские молекулярные облака», размытые участки контрастной игры света и тени, знакомые по телескопическим изображениям созвездий Ориона и Стрельца. Это остатки сверхновых и старых звезд, которые медленно стянула гравитация, вместе с новыми звездами, начинающими гореть неподалеку. В них скрываются регионы, плотнее заполненные атомами, и с температурами примерно как у наших очагов и печей. Как и указывает их название, именно в этих облаках астрохимикам больше всего повезло обнаружить космические молекулы.

Молекулы в открытом космосе существуют потому, что их атомам посчастливилось столкнуться друг с другом и соединиться. К наиболее распространенным атомам в космосе относятся водород (H), кислород (O) и углерод (C), индивидуальные стремления к обобщению электронов которых естественным образом приводят к формированию малых молекул, таких как газообразный кислород (O₂), вода (H₂O) и оксид углерода (II) и оксид углерода (IV), CO и CO₂ соответственно. Атомы углерода также с готовностью соединяются с другими, образуя длинные, похожие на цепочки молекулы, как и шестиугольные кольцевые молекулы. Цепочки и кольца с готовностью пристраиваются рядом с другими представителями своего рода и могут собраться в единое целое для формирования еще больших масс: космической пыли. Темные завитки в молекулярных облаках — это смесь углеродной пыли и подобных

* Молекулы также могут состоять всего из одного атома, как, например, инертные газы.

совокупностей первобытных минералов. Эти различные частицы составляют то, что называется межзвездной пылью.

Индивидуальные крупинки межзвездной пыли микроскопически крошечные, но их влияние на развитие космоса огромно. Они предоставляют твердую поверхность, к которой могут приклеиться свободно парящие атомы и молекулы. Таким образом, они действуют как места сбора, тем самым способствуют химической активности, новым реакциям, появлению более крупных молекул. На них материальный мир становится все более разнообразным, сложным, способным к дальнейшему развитию. А для носа космического Шеф-повара он становится ароматическим за миллиарды лет до того, как наше Солнце начало светить.

В 2020 году перечень известных межзвездных молекул составлял более двухсот видов. Здесь я отмечу только несколько десятков молекул, которые мы также можем ощущать в повседневной жизни, вместе с бытовыми материалами, в которых они доминируют и чей запах они нам напоминают.

ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАПАХОВ КОСМОСА

Наконец-то запахи! Но как мы вообще можем знать (не вообразить, а знать), что за молекулы находятся так далеко в космосе?

По обличительным чертам, которые они оставляют в энергии, которую космос постоянно обрушивает на нашу планету. Астрохимики* — знатоки электромагнитной радиации и, в частности, видимого света, инфракрасного света и радиоволн, возникших в звездах и галактиках и дошедших до нас через просторы космоса. За год эти формы радиации преодолевают ошеломляющие расстояния, так что, когда мы видим звезды и галактики, мы заглядываем вглубь как пространства, так и времени, в прошлую историю космоса.

Астрохимики собирают слабые излучения световых и радиоволн при помощи телескопов, созданных куда более эффектив-

ными и чувствительными, чем наши глаза или радиоприемники. Затем проводят их через электронный эквивалент призмы, разделяющий их на составляющие цвета или частоты. Закономерность частот — спектр — нечто вроде отпечатка пальца, позволяющего опознать вид материи, излучившей его, и вид материи, которая, возможно, поглотила часть его на долгом пути к Земле.

Звезды, как мы знаем по слепящему видимому свету Солнца и ультрафиолету, обжигающему нас, испускают в основном высокоэнергетическую электромагнитную радиацию. В пространстве между звездами холодно, поэтому у большинства тамошних атомов и молекул недостаточно энергии, чтобы излучать радиацию. Вместо этого они стремятся поглотить радиацию от звезд. Когда они это делают, возникает темная линия поглощения в спектре, приближающемся к нам со звезд позади них. Холодная материя может затем снова излучить часть поглощенной энергии в низкоэнергетической форме, часто в инфракрасных и радиоволновых частях электромагнитного спектра.

Поскольку излучающие и поглощающие свойства материи можно изучить в лаборатории, ученые могут сравнить спектры в звездном свете с лабораторными спектрами и опознать материалы в звездах и космосе вокруг них. Сила этого подхода так велика, что 150 лет назад французские и английские астрономы открыли существование ранее неизвестного элемента за сто миллионов километров от Солнца за десятки лет до того, как он был обнаружен на Земле. Этим элементом был гелий, названный в честь греческого слова *helios* (солнце), которого много в звездах, но мало на нашей планете.

МЕЛЬЧАЙШИЕ ПАХНУЩИЕ ЧАСТИЧКИ: СЕРНЫЕ, АММИАЧНЫЕ, ОЗОНОВЫЕ

Давайте начнем с простейших космических молекул, улавливаемых нашими обонятельны-

* Они же молекулярные астрофизики.

ми рецепторами и состоящих всего из трех-четырёх атомов. (Двухатомный хлорид натрия имеет солёный вкус, хлорид водорода — кислый, но никакие двухатомные молекулы не обладают ароматами)^{**}. Наши рецепторы не улавливают воду (H₂O), оксид углерода (IV) (CO₂) или оксид азота (I) (N₂O)^{***}, хотя все они входят в состав воздуха, которым мы дышим. Но две другие простейшие летучие молекулы обладают очень знакомыми запахами, и с ними мы будем часто встречаться в наших исследованиях осмокосма.

Яичный, сернистый водород, сульфид водорода, H₂S сочетает элементы водорода и серы в молеку-

ле, чей запах мы можем определить в очень малых следах, возможно потому, что более высокие концентрации могут быть раздражающими и даже смертельными. Мы типично опознаём этот запах как «яичный», поскольку это характерная нота свежеприготовленных яиц, или, когда он зловонно силен, то «тухло-яичный», поскольку его испускают все виды разлагающейся органической материи. Но вулканы и горячие источники Земли испускали эту молекулу задолго до того, как появились самые ранние организмы или яйца. Лучше назвать этот первобытный запах «серным» или «сульфидным». Сульфид водорода — простейший пример общего правила в нашем осмокосме: присутствие атома серы в летучей молекуле придает отличительную характери-

стику ее запаху, который может быть неприятным, когда она преобладает, и приятным, когда смешивается с другими. Серные летучие молекулы — это то, что придает чесноку, луку и капусте их сильные характеристики, но они также вносят свой вклад в приятность аромата жареного мяса и кофе, а также «экзотические» нотки в некоторые фрукты и вина.

Вторая трехатомная серная летучая молекула, обнаруженная в космосе, — оксид серы (IV) (SO₂). Он не так часто встречается в повседневной жизни, как сульфид водорода, и его запах скорее раздражающий, чем ароматизирующий, но это безошибочно сернистый газ.

Аммиак (NH₃) с атомом элемента азота в центре был одной из первых молекул, обнаруженных в межзвездном пространстве. Он также находится в атмосферах газовых гигантских планет — Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна — и в бытовых очистителях, перезревших сырах и саями, незрелом животном навозе и моче. Его запах как у простого бытового очистителя без отдушек, который на 30% состоит из аммиака. Нюхательные соли тоже изготавливают из аммиака^{****}, поскольку он действует раздражающе и вызывает сильные физические рефлексы; длительное воздействие может быть смертельным. Так же как летучие молекулы с атомом серы склонны разделять общую серную характеристику, так и многие

Некоторые пахучие трех- и четырехатомные межзвездные молекулы

Запахи	Молекулы
варенные яйца, серный	сульфид водорода, H ₂ S
раздражающий, серный	оксид серы (IV), SO ₂
аммиак	аммиак, NH ₃
свежий, резкий	озон, O ₃

^{**} Здесь автор допускает неточность, так как двухатомные молекулы способны обладать запахом. Галогеноводороды обладают запахами, например HBr, HCl, да и сами молекулы галогенов — Cl₂, Br₂ и так далее — имеют запах.

^{***} N₂O, он же веселящий газ, обладает характерным сладковатым запахом. Вероятно, здесь автор имеет в виду газы NO и N₂, которые действительно не имеют запаха.

^{****} Соединений аммония.

азотные летучие молекулы более-менее сильно напоминают резкий запах аммиака или мочи. В химических названиях большинства из них есть слово амин — внимательно следить за различными метиламинами.

Резкий, свежий озон (O_3) был назван немецким химиком от греческого корня слова «запах». Это химически активная молекула, поэтому мы редко можем почуять ее непосредственно, разве только после близких ударов молнии, или искрения линии электросети, или длительного использования высоконапряженных лазерных принтеров, электрическая энергия которых может заставить соединиться три атома кислорода вместо обычных двух. Запах чувствуется из-за его сильного окисляющего эффекта на другие молекулы в воздухе или даже в носу.

ЦЕПОЧКИ И КОЛЬЦА УГЛЕРОДА: ОСНОВА ЖИЗНИ И ЕЕ ЗАПАХОВ

Большинство первозданных молекул, состоящих из более чем четырех атомов, содержат углерод, четвертый наиболее многочисленный элемент в космосе после водорода, гелия и кислорода. Углерод — основа жизни на Земле, и именно потому, что это самый многофункциональный из элементов, посредством которого с наибольшей готовностью выражается созидательность материи, ее потенциал для новых форм. Его многофункциональность уже полностью очевидна в межзвездном пространстве, где в течение миллиардов лет он вырабатывал пробник того, как будет пахнуть жизнь на Земле.

Благодаря характерному набору электронов каждый атом углерода может формировать аж четыре связи с другими атомами. Атомы углерода с готовностью формируют длинные открытые цепочки и сложные замкнутые кольцевые структуры, поскольку каждый атом может соединяться с двумя другими, становясь частью сети, и у него все еще остаются две связи для других элементов. Даже когда атомы углерода соединяются

только друг с другом, они могут делать это всевозможными способами. Вот почему чистый твердый углерод может быть как аморфным, так и образовывать различные аллотропные модификации: частицы черной сажи, или мягкий гладкий графит в карандаше, или ослепительно прозрачные твердые бриллианты.

Атомы углерода находятся в большинстве из миллионов естественно возникающих молекул, каталогизированных учеными. Наиболее важные из них — молекулы жизни. Физические структуры и химические строения всех живых существ на нашей планете состоят из молекул, по большей части углерода. Ископаемое топливо происходит от некогда живых микробов и растений, которые умерли сотни миллионов лет назад, поэтому уголь, нефть и природный газ, большинство пластмасс и многие другие промышленные вещества, включая растворители и смазочные материалы, состоят в основном из углерода.

Благодаря углероду в воздухе есть много запахов, которыми мы можем наслаждаться. Связи между атомами углерода в углеродных цепочках электронно-симметричны, и примерно так же дело обстоит с обычными боковыми связями с водородом. Это значит, что большинство молекул углеродных цепочек обычно обладают слабой электронной асимметрией и, таким образом, слабым притяжением к молекулам воды и другим молекулам, которые асимметричны и обладают положительными и отрицательными зарядами. Когда углеродные цепочки и вода смешиваются, сильное электрическое притяжение молекул воды друг к другу выдавливает углеродные цепочки в отдельные кластеры. Знакомый пример: облако отдельных капель масла в заправке для салата из масла и уксуса или слой масла сверху, в который капли медленно собираются. Молекулы масла — длинные тяжелые углеродные цепочки, остающиеся неподвижными в водянистом уксусе, но более короткие и более легкие цепочки достаточно подвижны, чтобы испариться в воздух, где мы можем вдохнуть и ощутить их. Таким образом, именно электрическое отличие углеродных цепочек

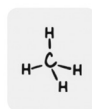
чек от воды и помогает коротким углеродным цепочкам в природных материалах стать летучими, или же склонными парить в воздухе и становиться ощутимыми через запах.

Как мы увидим в главе 3, забытые углеродными цепочками летучие молекулы Земли подразделяются на несколько больших семейств*. Первые из них возникли давным-давно из базовых свойств углерода и четырех других элементов. Так познакомимся с этими существовавшими до появления Земли «первопроходцами» с на удивление земными запахами и с простым условным обозначением для визуализации невидимых углеродных структур. Посмотрите на рисунки на титульном листе. Вместо того чтобы пометать каждый атом в молекуле, химики зачастую просто делают набросок изломанной цепочки или кольца, сформированного связями «углерод-углерод», где двойные связи обозначены двойными линиями. Кончики и углы линии обозначают атомы углерода, а атомы водорода по большей части опускаются. Я добавляю по всему тексту наброски избранных летучих молекул, чтобы вы могли ясней представить их семейные взаимоотношения и то, как всего лишь атом-другой может изменить запах молекулы.

УГЛЕРОДНО-ВОДОРОДНЫЕ МОЛЕКУЛЫ: ТОПЛИВО И РАСТВОРИТЕЛИ

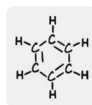
Углеводороды — молекулы, состоящие только из атомов углерода и водорода. Атомы углерода соединяются друг с другом, формируя либо прямые цепочки различной длины, либо кольца, обычно из шести членов, а затем заполняют оставшиеся боковые связи с водородом. Они — простейшее семейство

углеродных цепочек и, вероятно, одни из самых ранних молекул, сформировавшихся в межзвездном пространстве. В человеческой истории они в основном постиндустриальные. Мы знакомы с углеводородами, потому что они хорошо горят (отличное топливо) и хорошо смешиваются с маслами и смазками (прекрасные растворители).



Метан, известный как природный газ, состоит из одного атома углерода и четырех атомов водорода (CH_4). Метан сам по себе не имеет запаха, но версия со свободной связью $-\text{CH}_3$ важна как компонент многих пахучих молекул; эта одноуглеродная группа обозначается в химических наименованиях префиксом метил- (часто написанным как отдельное слово). Как и высокотемпературное факельное топливо ацетилен (C_2H_2), метан легко воспламеняется, но не имеет запаха. Потенциально опасная комбинация, поэтому производители добавляют в них обоих следы вонючих серных летучих молекул**, чтобы их можно было обнаружить.

Слабо сладко пахнущий этилен — это двухуглеродная молекула, обнаруженная в космосе; ее формула C_2H_4 . Его сжигали в газовых лампах XIX века***; это важный гормон в растениях: он стимулирует созревание плодов и является ответственным за старение вегетативных тканей растений.



Тошнотворно сладко пахнущий растворитель бензол**** — это шестиуглеродная кольцевая молекула. На Земле он производится из горючих ископаемых и используется во многих промышленных целях. Сейчас мы редко ощущаем его, поскольку известно, что он канцерогенный и его использование ограничено.

* Все вещества, согласно российской классификации, делятся на группы соединений, в то время как автор книги указывает на семейства веществ. — *Прим. ред.*

** Для обнаружения утечки газа используются меркаптаны, они же тиолы.

*** Этилен не использовался повсеместно в газовых лампах. Здесь, вероятно, автор путает этилен с упомянутым выше ацетиленом, на котором работали популярные в XIX веке карбидные лампы. Карбид кальция смешивался с водой, и образовывался ацетилен, горящий ярким пламенем.

**** Бензол является классическим растворителем в органической химии.

Некоторые пахучие углеродно-водородные межзвездные молекулы

Запахи	Молекулы и их структуры
== слабо сладкий	этилен, C_2H_4
 сладкий, газولين	бензол, C_6H_6
нафталин, горючее для зажигалок	нафталин, $C_{10}H_8$

Некоторые пахучие углеродно-серные и углеродно-азотные межзвездные молекулы

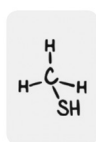
Запахи	Молекулы
гниющая капуста, серный	метантиол, CH_3SH
приготовленная капуста, лук, серный	этантиол, C_2H_5SH
рыбный, аммиак	метиламин, CH_3NH_2



Нафталин — это двойнокольцевая десятиуглеродная молекула. Помимо использования его для уничтожения платяной моли и в качестве топлива для сигаретных зажигалок и походных печек, любители вина знают модифицированную версию нафталина как высоко ценную «керосиновую» нотку хорошо выдержанного рислинга! Нафталин — простейший полициклический ароматический углеводород (ПАУ) или многокольцевой углеводород. ПАУ с четырьмя или больше кольцами — нелетучие компоненты сажи, образуемой неполным сгоранием таких материалов, как древесина, уголь и табак. Они токсичны, как и нафталин (в некоторых странах его запрещено использовать в шариках от моли).

УГЛЕРОДНО-СЕРНЫЕ И УГЛЕРОДНО-АЗОТНЫЕ МОЛЕКУЛЫ: СЕРНИСТЫЕ И РЫБНЫЕ

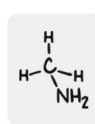
Простые молекулы углеродных цепочек, включающие серу или азот, легко опознаваемы: они обладают хотя бы некоторым сходством с сульфидом водорода и аммиаком.



Похожий на гниющую капусту метантиол — одноуглеродная молекула, содержащая один атом серы CH_3SH , появляющаяся, когда сульфид водорода (H_2S) вступает в

реакцию с метаном (CH_4). Трудно представить что-либо более органическое, чем разлагающиеся овощи, и все же эта характерная молекула присутствует среди звезд. Как сульфид водорода, метантиол — летучая молекула, с которой мы часто сталкиваемся на земле, в море и в воздухе вокруг нас, даже испускаемая нами, это обычный побочный продукт самой жизни. Мы более чувствительны к нему, чем к сульфиду водорода, и, как и сульфид водорода, он токсичен.

Этантиол, двухуглеродный сородич метантиола, чуть менее агрессивно серный, и на Земле он вносит свой вклад в запахи сырых фруктов и приготовленных овощей. В других химических названиях «тио» означает присутствие пары серы с водородом ($-SH$) и часто имеет серный или еще какой-то необычный запах.



Пахнущий рыбой метиламин — комбинация метана и аммиака, в которой атомы углерода и азота соединяются друг с другом. Это простейший из аминов, группы содержащих азот молекул, являющихся характерными для животного метаболизма и животных запахов. Хотя не все амины происходят напрямую от аммиака, но вот их название — да. Само слово «аммиак» происходит от имени египетского бога Амона; римский храм, когда-то связанный с Амоном, располагавшийся

в современной Ливии, находился рядом с богатыми минеральными залежами содержащих азот солей.

УГЛЕРОДНО-КИСЛОРОДНЫЕ МОЛЕКУЛЫ: СЕМЕЙСТВА

Пока что запахи межзвездного пространства по большей части неприятные. Они либо «химические», поскольку в них содержатся те же молекулы, как и в веществах, которые мы на Земле используем для сжигания, очистки или дезинфекции, или они отвратительные, потому что здесь они ярко выражены в разлагающихся останках растений и животных. У всех этих первозданных летучих молекул есть кое-что общее: отсутствие атомов кислорода. Добавьте кислород, третий самый многочисленный элемент во Вселенной, в структуры углеродных цепочек, и регистр запаха начнет смещаться.

Как мы увидим, кислород был критически важен для развития жизни на Земле, и редка та молекула в растениях и животных, что не включает атомы кислорода вместе с углеродом и водородом. Молекулы, содержащие все эти три элемента, относительно редки в космосе, но они действительно существуют и указывают путь химическим темам, которые живые организмы исследуют в их огромном и зачастую приятном разнообразии.

Кислород предпочитает формировать две связи с другими атомами. Так что, если один атом кислорода формирует две связи с одним и тем же конечным углеродным атомом в цепочке, в результате получается член семейства альдегидов; если кислород делает то же самое с любым другим углеродным атомом, кроме концевого, в результате получается кетон. Если один атом кислорода формирует только одну связь с конечным углеродом и использует свою вторую связь, чтобы соединиться с

атомом водорода, то в результате получается спирт. Если два кислорода присоединяются к конечному углероду, один — двойной связью, а другой — единичной, присоединяя при этом водорода, в результате получается карбоновая кислота*, называемая так потому, что это семейство предоставляет структурные элементы для молекул жиров и масел. И если карбоновая кислота и спирт вступают в реакцию друг с другом и формируют единую смешанную молекулу, в которой один кислород соединяет две углеродные цепочки, то в результате получается сложный эфир.

Каждое из этих семейств вносит значительный вклад в запахи нашего мира, и каждое зародилось много миллиардов лет назад.

УГЛЕРОДНО-КИСЛОРОДНЫЕ МОЛЕКУЛЫ: РАЗДРАЖИТЕЛИ, РАСТВОРИТЕЛИ, УКСУС... ФРУКТЫ!

Вот первозданные основатели углеродно-кислородных кланов летучих молекул. Сперва межзвездные альдегиды:



Химический, раздражающий формальдегид — одноуглеродный альдегид, консервант, применяемый в биологических лабораториях, бальзамировании** и промышленности; это также известный канцероген.



Свежий, похожий на зеленое яблоко ацетальдегид — двухуглеродный альдегид, содержащийся во многих ферментированных продуктах, включая йогурт и выдержанные вина.

Землистый, похожий на какао, ореховый, винный пропаналь — трехуглеродный альдегид, знакомый нам, поскольку содержится во множестве ферментированных продуктов. (В химических названиях суффикс альдегид часто сокращается до -аль, так что пропаналь-

* Это класс органических соединений, содержащих в составе концевую группу -COOH. В оригинале автор называет весь класс данных соединений жирными кислотами, что неверно. Жирные кислоты — частный случай карбоновых кислот с длинными углеродными цепочками. В данном переводе будет использоваться корректное наименование — карбоновые кислоты.

** Имеется в виду формалин — 37–40% раствор формальдегида в воде.

Некоторые пахучие межзвездные альдегиды и один кетон

Запахи	Молекулы
консервант в биологических лабораториях	формальдегид, иначе метаналь, CH_2O
свежий, зеленое яблоко	ацетальдегид, иначе этаналь, CH_3CHO
землистый, какао, винный	пропаналь, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$
раздражающий	пропеналь, иначе акролеин, $\text{CH}_2=\text{CHCHO}$
растворитель	ацетон, CH_3COCH_3

дегид и пропаналь — названия одной и той же молекулы.)

Удушающий, едкий пропеналь тоже трехуглеродный альдегид, но его два первых углерода формируют между собой две связи вместо одной. Он вырабатывается, когда мы перегреваем масло на плите, и он токсичен. Пропеналь также называется акролеином.



Самый первый из представителей класса кетонов и молекула, давшая кетоновому семейству его название, — растворитель ацетон. Ацетон — это трехуглеродная цепочка, он широко применяется в жидкости для снятия лака. Его также можно обнаружить в нашем дыхании, когда мы не ели несколько часов; наше тело вырабатывает его, когда ему не хватает углеводного топлива, и оно начинает сжигать жиры для выработки энергии.

Теперь межзвездные спирты, их два.

Водка и растворители, подобные метанолу и этанолу (одно- и двухуглеродные спирты, оба пьянящие, оба токсичные). Водка без вкусовых добавок и медицинский спирт дают нам чистейшее представление об их запахе. Метанол известен как метиловый или древесный спирт и чрезвычайно токсичен; его следы находятся в продуктах алкогольной ферментации: вине, пиве, дистиллированных напитках*. Этанол и этиловый спирт — химические названия для того, что мы обычно называем алкоголем. После воды это главный компонент всех сортов вин, пива и дистиллятов.

Межзвездные жирные кислоты, тоже две на данный момент, кислые на вкус, как и другие кислоты, но еще и летучие.

Резкая, слегка кислая муравьиная кислота — одноуглеродная летучая молекула, химическое оружие, обнаруженное у муравьев и других насекомых, но обращенное против них муравьедом, полагающимся на нее для их переваривания.



Резкая уксусная кислота — двухуглеродная летучая кислота, очень знакомая: это определяющая молекула в уксусе, вырабатываемая из молекул этанола определенными бактериями, развивающимися в пиве и вине.

Наконец, самые удивительные из всех — межзвездные эфиры, спиртово-кислотные соединения, их три на данный момент.



Растворителеподобный, но с фруктовым запахом, метилформиат с двумя углеродами, а также этилформиат и метилацетат с тремя углеродами, которые обладают похожими запахами, несмотря на их различные составляющие спирты (метиловый, этиловый) и кислоты (муравьиная, уксусная). Метилацетат содержится в некоторых жидкостях для снятия лака и эпоксидных клеях. Растворяющее действие этих молекул превращается в некую общую фруктовость для таких спиртов, характерную для алкоголя типа вина, бренди и рома, и намекает на непревзойденное наслаждение от самих фруктов. Эфирное семейство — летучая специализация спелых фруктов и дрожжевой ферментации.

* Следы метанола действительно могут присутствовать в алкогольных напитках, особенно домашнего производства. Качественный алкоголь на контролируемых производствах не содержит сколько-нибудь значимых количеств опасного метанола.

Некоторые пахучие межзвездные спирты, кислоты и эфиры

Запахи	Молекулы
медицинский спирт	метанол, CH_3OH
водка, медицинский спирт	этанол, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
резкий, уксус	муравьиная кислота, COOH
уксус	уксусная кислота, CH_3COOH
фруктовый	метилформиат, CH_3OCHO
фруктовый, винный, ром	этилформиат, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCHO}$
растворитель, фруктовый	метилацетат, $\text{CH}_3\text{OCOCH}_3$

НОВЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АРОМАТЫ В АСТЕРОИДАХ

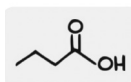
Пока что мы обнюхивали первозданные молекулы, собравшиеся из атомов, парящих в космосе, или скопившиеся на крупинках пыли. Но там есть и другие, укрывшиеся от взора астрохимика. После того как гравитация стянула молекулы вместе в крупинки пыли, она стягивает крупинки вместе во все более крупные тела, внутри которых может иметь место еще большее разнообразие и сложность реакций и комбинаций — частично потому, что они защищены от разрушающей молекулы радиации. Мы знаем, что внутри них, потому что мы действительно можем положить руки на обломки из ближайшего окружения Земли.

Солнечная система включает в себя Солнце и материи, которые были слишком далеко или двигались слишком криволинейно, чтобы их в нее затащило. Эти беглые газы и пыль сгруппировались на орбите вокруг Солнца, сталкиваясь, соединяясь в единое целое и в конце концов формируя планеты. Остатки этого процесса включают в себя метеороиды, каменные объекты, различающиеся по размеру от размера крупинки пыли до нескольких футов или метров в диаметре; астероиды диаметром до нескольких сотен миль или тысяч километров; и кометы размером с астероид (грязные снежки) с большой пропорцией льда и других замерзших газов. И столкновения продолжают. Прошлые встречи с астероидами вызвали крупномасштабное вымирание жизни на

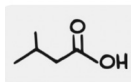
Земле, и каждый день на нас обрушиваются тысячи маленьких метеороидов, доставляя множество тонн космической материи. Хотя большинство из них обращаются в пыль или сгорают при прохождении через атмосферу Земли, некоторые их куски — метеориты — неповрежденными падают на землю, где астрохимики могут проанализировать их внутреннее содержимое.

Во многих научных музеях демонстрируются фрагменты метеоритов. Какой же это будоражающий опыт: прикоснуться к ним и вообразить их медленный рост, когда формировалась солнечная система, реакции молекул, происходившие внутри них, когда они росли, и их раскаленный прилет в наш мир. Наиболее удивительны углеродистые хондриты, фрагменты астероидных пережитков очень ранней Солнечной системы, смесь похожих на глину минералов, маленькие сферы оксида кремния (IV) и включающие в себя углерод молекулы. Среди первых и наиболее значимых, подвергнутых тщательному изучению, был Мурчисонский метеорит, упавший 28 сентября 1969 года в провинции Виктория в Австралии. Более сотни тонн фрагментов были извлечены и отправлены в лаборатории НАСА для анализа. Эти каменные куски соляных обломков, как оказалось, содержали множество углеродных цепочек и колец, которые живые организмы на Земле используют в качестве структурных элементов для формирования ДНК и РНК, чертежей жизни, а также белков, химических рабочих лошадей всего живого.

Изумительно: возможно, некоторые ингредиенты жизни на Земле могли прибыть из открытого космоса! Чуть менее изумительно, но все равно удивительно: компанию этим строительным блокам составили многие дополнительные летучие молекулы, не обнаруженные в космосе, запахи которых сейчас нередко встречаются в нашей повседневной жизни. Среди них — базовые углеродные цепочки и кольца, «украшенные» дополнительными атомами или метиловыми группами, которые могут очень сильно влиять на их запах. Эти «украшения» часто обозначены в названиях молекул, иногда отделенные пробелом, а иногда написанные в одно слово — например, слово «метилмасляная кислота»^{*}. У химиков есть правила на этот счет; мое правило в этой книге — сделать названия как можно более ясными для не химиков.



Сырные жирные кислоты с короткой цепью — продолжения одноуглеродной муравьиной и двухуглеродной уксусной кислот, обнаруженных в межзвездном пространстве. **Пропионовая, масляная и гексановая кислоты** длиной в три, четыре и шесть углеродов соответственно часто встречаются в выдержанных сырах и других ферментированных продуктах.



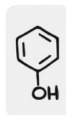
Потные, сырные разветвленные карбоновые кислоты типа метилмасляной кислоты — вариации кислот с короткой цепью, у которых от края цепочки ответвляется дополнительная одноуглеродная метиловая ветвь. Как и кислоты с прямой цепью, их запах напоминает сыр, но еще могут пахнуть как человеческий пот: именно здесь велика вероятность повстречать их.



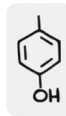
Экстракт миндаля бензальдегид — шестиуглеродное бензольное кольцо с одноуглеродным, похожим на формальдегид «украшением» на углу. У него приятный запах, знакомый по экстракту из подручных кухонных средств и по вишням.

* 2-метилмасляная кислота.

** Гидроксильной.



Антисептический фенол такое же бензольное кольцо, но с кислородно-водородной** группой на углу и «химическим» запахом; это частый ингредиент в очистителях и дезинфицирующих средствах.



Смолистые, пахнущие скотным дворов крезолы — молекулы фенола с метиловой группой на одном из других кольцевых углеродов; они часто встречаются в горючих ископаемых и животных отходах.

Медовая фенилуксусная кислота — бензольное кольцо с «украшением» из уксусной кислоты на углу; она приятно сладкая и цветочная.



Рыбные или похожие на аммиак амины и пиридин — углеводородные соединения, содержащие азот, в особо больших количествах встречающиеся в метеоритах. Существует с десяток или больше аминов, сконденсированных из аммиака и различных углеродных цепочек, в то время как пиридин сформирован из азота, включенного в шестиугольное углеродное кольцо.

Разумеется, все эти молекулы присутствуют в следовых количествах, вероятно, в таких малых, что их невозможно учуять. Их было бы извлечено из метеорита размером с мячик для гольфа не больше, чем астроном-винодел из Чили добавил в бочку своего вина тремонт 2010 года каберне-совиньон «Метеорито». Однако, если бы мы могли обнаружить их, мы бы почуяли куда больше ароматов, чем от летучих молекул, обнаруженных при помощи телескопа, от химических и неприятно пахнущих животных до цветочных.

ДРЕВНИЕ ЗАПАХИ, ЗНАКОМЫЕ И НЕИЗВЕСТНЫЕ

Это был долгий путь через первые стадии сотворения, через физические крайности, совершенно чуждые нашему собственному опыту. Мы повстречали некоторые из самых

Некоторые пахучие молекулы, обнаруженные в метеоритах

Запахи	Молекулы
кислый, сырный, рвотный	пропионовая, масляная, гексановая кислоты
потный, сырный	метилпропионовая, метилмасляная кислоты
экстракт миндаля	бензальдегид, иначе бензоалпропаналь
лейкопластырь, антисептик	фенол, иначе гидроксibenзол
скотный двор, смола	креолы, иначе метилфенолы, иначе метилгидроксibenзолы
сладкий, медовый, цветочный	фенилуксусная кислота, иначе бензолуксусная кислота
аммиак, рыбный	диметиламин, пиридин

первых молекул, когда они возникли в открытом космосе миллиарды лет назад. Но эти молекулы нам вовсе не чужды. Верно, это не очень-то приятная группа. Многие из них терпкие и резкие, и эти характеристики кажутся подходящим отражением их первоначального места рождения. Аммиак, сероводород, метантиол и пропеналь — удушающие и токсичные вещества. Наши тела рефлекторно отторгают их, чтобы выжить. Они предлагают не удовольствие, а точку отсчета. В яйцах, капусте и сыре серные летучие молекулы — нечто вроде приправы, первобытный перец, интересный в виде слабых акцентов. Но есть более приятные молекулы. Растворители и топливо токсичные, обладают дурманящими свойствами. Знакомы и приятны уксус, намеки на сыр, фрукты, мед: их летучие молекулы образовались в месте, где никогда не было ни растения, ни животного, ни микроба.

Тот факт, что все эти летучие молекулы сформированы в облаках межзвездного пространства, означает, что это элементарные, универсальные молекулы, которые могут собраться вместе там, где есть подходящие условия. Как мы увидим, на Земле они зачастую представляют собой упрощенные остатки более сложных структур жизни. Если бы мы помогали Шеф-повару космоса с начала Большого взрыва, и запахи нашего дома были бы

последним, а не первым, что мы испытали, то приготовленные яйца, гниющая зелень, уксус и спирты напоминали бы нам облака пыли; атомы, впервые встречающие другие атомы на достаточно долгий срок, чтобы вступить во взаимоотношения, их простого новорожденного отпрыска, указавшего путь большому молекулярному разнообразию нашего мира.

Запахи Земли всегда будут для нас точкой отсчета. Все это воображаемое обнюхивание в космосе, безусловно, вторичное восприятие. Но порой, при подходящих обстоятельствах, это может привести дополнительное измерение в знакомые ощущения. Вероятней всего, это может быть на пикнике или при готовке на заднем дворе, затянувшейся до заката, или в походе вечером, когда эти далекие пылающие inferно возникают из сумерек, чтобы напомнить нам о давнем. Жидкость для растопки, топливо для печки, паленое масло, уксусная заправка, фаршированное яйцо, только что развернутый сыр, глоток вина или рома — у всего есть далекие отголоски раннего космоса, чувственные следы заложенного, неустанного созидания, при помощи которого материя исследует свои собственные возможности; созидания, продуктом и одновременно агентом которого являемся мы сами.

ГЛАВА 2.

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ, РАННЯЯ ЖИЗНЬ, ВОНЮЧАЯ СЕРА

Теперь слушай, и я объясню природу
 Авернских регионов и соседних озер.
 Во-первых, они называются «Авернскими», т.е. «лишенными птиц»,
 Поскольку они смертоносны для всех птиц.
 Ибо, когда бы над ними ни пролетали птицы,
 Они забывают свои пернатые весла, позволяют парусам повиснуть
 И мягко падают на землю, как капли дождя,
 Если под ними суша, или в воду,
 Если внизу поджидает Авернское озеро.
 Одно близ Кум, где сернисто-зловонные горы
 Дымят и кипят всюду горячими источниками...
 И кроме того, разве ты не видишь, что сама земля
 Испускает серу и зловонье асфальта?
 И когда искатели жил золота и серебра
 Вкапываются железными кирками в глубокие секреты земли,
 Что за запахи испускает Скаптенсультская Шахта!
 Что за зло выдыхает эти залежи золота!..
 Все эти приливы смерти, что земля исторгает,
 Выдыхая их под открытое небо.
 Лукреций, «О природе вещей», примерно 50-й год до нашей эры

Земля, камни, ружейный кремль, водород: ужасающие, основополагающие,
 коренные, простые, первозданные — я собирался сказать, атомные — минеральные запахи.
 В этом и заложен наш ужас химии, причина, почему наши предки сжигали
 алхимиков и колдунов на кострах, испуганные точкой соприкосновения,
 разделенной знаниями и смертью.

Мишель Серр, «Пять чувств»

Физические глубины Земли. Легендарный загробный мир, где мертвые обитают после смерти. Запахи серы. Эта группа ассоциаций является древней в западной культуре, возможно, уходящая корнями в ранние египетские династии. И сера тут появляется не просто так. Элемент кристаллизуется в лимонно-желтые наплывы вокруг жерл вулканов — этих отверстий, из которых его извер-

гают недра Земли. При нагревании твердая сера сперва расплавляется в желтую жидкость, затем становится красной, цвета огня и крови. Поднесите искру — и жидкость вспыхивает и горит голубым пламенем, поэтому серу называют brimstone, изначально burnstone (горючий камень). И, когда она горит, она испускает удушающие, сильно пахнущие пары. Тысячи лет назад, вместе с загадками

смерти, они помогали вдохновить видения подземных и загробных миров, где мертвые грешники караются в озерах огня и серы.

Лукреций был римским поэтом, взявшим на себя задачу продемонстрировать, что все в мире и нашем опыте можно объяснить как выражение чисто физической реальности. Согласно популярному поверью его времени, серный убивающий птиц воздух региона к западу от Неаполя был признаком того, что рядом располагались врата в царство мертвых Аида (Гадеса). Лукреций развенчал этот миф, указав на то, что обычные шахты и горячие источники испускают зловонные и токсичные пары. Сегодня мы знаем, что Аверн и Кумы расположены среди погруженных остатков массивного вулкана, шириной около 1,6 км кальдеры Флегрейских (т.е. «горящих») полей, и что вулканы и горячие источники по всей планете испускают те же газы.

Однако же, как сказал Мишель Серр, даже если мы больше не соглашаемся с суевериями, все равно в запахах минерального мира есть что-то зловещее и тревожащее. «Минеральность» в современном жаргоне экспертов по винам может означать запахи и приятные ассоциации с влажными камнями, но минералами изначально называли материалы, извлеченные из шахт. Мы распознаем простые серные молекулы, испускаемые из земли, и определяем даже малые количества как вонючие, потому что они в самом деле опасны и могут быть смертельны для дышащих воздухом животных, как для птиц, так и для нас, и от этих испарений лучше убраться подальше. И они могут быть неутешительным напоминанием о том, что, хотя мы считаем нашу планету большим гостеприимным оазисом, матерью-землей или Геей, чьи луга, леса и океаны изобилуют жизнью, по факту жизнь населяет очень тонкий наружный слой на суровом конгломерате астероидов.

Но за оксидом серы (IV) и сульфидом водорода стоит нечто большее, чем смертоносность. Мы повстречали эти простые трехатомные молекулы в межзвездном про-

странстве, где первые из них, вероятно, сформировались до того, как появились астероиды или даже крупинки пыли. И похоже, что они, возможно, были ключевыми ингредиентами для появления жизни на молодой обнаженной Земле и, таким образом, внесли свой вклад в итоговое сотворение нас. Первые живые существа — первые скопления молекул, способных поддерживать себя и размножаться, — вынуждены были обходиться тем немногим, что мог предложить суровый мир. Многие молекулы, которые сейчас могут быть смертоносны для нас, для некоторых первых организмов означали жизнь. И те же самые молекулы — невидимые, но пахучие — все еще служат признаком жизни для бесчисленных живых существ, процветающих вокруг и внутри нас. В наши дни мы можем унюхать их не только рядом с горячими источниками и вулканами, но еще в болотах, канализации, а также сидя за завтраком.

ЦАРСТВО АИДА НА ЗЕМЛЕ: ГОРШОК И ВОДА ДЛЯ ПЕРВОБЫТНОГО СУПА

Наша планета возникла после почти десяти миллиардов лет с тех пор, как молекулы образовались на крупинках пыли и в астероидах. Так была ли новорожденная Земля такой же ароматной, как Мурчисонский метеорит? Вероятно, нет, и по простой причине: это было место, где молекулы расщеплялись. Ученые заимствуют из греческой мифологии названия и именуют первые несколько сотен миллионов лет в земной истории катархеем, адски жарким, враждебным по отношению к химической сложности.

Считается, что Земля сформировалась по большей части из-за столкновений массивных астероидов, событий, высвобождавших огромное количество тепловой энергии. Когда ей было примерно сто миллионов лет, ее ударило другое тело размером примерно с Марс, и в результате из испарений от этого объекта и Земли сформировалась Луна*. За

* Одна из теорий о происхождении Луны.

счет жара от столкновений и дополнительной энергии, высвобожденной распадом радиоактивных элементов, новорожденная Земля пылала температурой в несколько тысяч градусов и представляла собой расплавленную смесь шести элементов и мельчайших, наиболее жизнестойких молекул, в основном воды, оксида углерода (II), оксида углерода (IV) и оксида серы (IV).

Период тяжелой бомбардировки сошел на нет примерно 3,8 миллиарда лет назад по причине сокращения численности местных астероидов в регионе Солнца. Когда Земля остывала, ее различные элементы и молекулы разделились на разные регионы и ниши, продолжающие существовать и по сей день. Ранняя атмосфера, слой газов достаточно тяжелых, чтобы их удерживала гравитация Земли, очень отличалась от нынешней. В ней не было свободного кислорода, от которого зависит наша жизнь. Она состояла в основном из оксида углерода (IV), оксида углерода (II), азота и паров воды.

Воде суждено было сыграть главную роль в ароматизации Земли. Ее было много на горячей молодой планете, большую часть, вероятно, доставили входящие метеориты и кометы. Но в течение некоторого времени поверхность Земли представляла собой нечто среднее между парилкой и скороваркой, и вода на поверхности была вся либо паром, либо жидкостью с температурой выше, чем ее точка кипения. Пока остывание продолжалось, пар в конце концов сконденсировался и потоком, возможно длившимся много лет, сформировал океаны Земли.

Это было эпохальное событие в изучении возможностей материи. Жидкая вода несравненна в своей способности смешиваться с другими молекулами и растворять их и, таким образом, позволять им двигаться, находить друг друга и вступать в реакции. И в жидкой воде содержится в миллиарды раз больше молекул, чем в межзвездном пространстве. Таким образом, в относительно умеренный архейский (начальный) период воды Земли обеспечили новую благоприятную среду для

химической эволюции. Океаны растворили минералы из твердой коры планеты, газы из атмосферы и те, что извергались из горячих недр. Возможно, они приняли в себя более активные молекулы из затихающего дождя метеоритов.

Таким образом, воды Земли приютили множества различных атомов и молекул, собранных вместе, свободно передвигающихся, сталкивающихся и вступающих в реакции. Они были исходной заготовкой для последующего первобытного супа.

АРОМАТЫ РАННЕЙ ЗЕМЛИ: СЕРНЫЕ ВУЛКАНЫ И ГОРЯЧИЕ ИСТОЧНИКИ

Научному описанию формации ранней Земли, возможно, недостает простоты истории сотворения мира в Книге Бытия, но она по-своему тоже внушает благоговение, раскрывая чисто физические силы и события, которые мы узнаем из повседневной жизни, но в куда более зрелищно масштабной и сильной степени. В отличие от библейского Творца, который, похоже, удалился в сторону от своего творения, эти силы продолжают проявлять себя и по сей день. Вот почему спустя более чем четыре миллиарда лет после рождения планеты все еще возможно уловить запашок практически не замечаемого составляющего 99% нашей планеты и ее адского прошлого. Просто направляйтесь в регион действующего вулкана или, что более удобно, к природному горячему источнику.

Вулканы — самые зрелищные проявления энергии, заключенной в нашей планете, полной минералов. Они получили свое название от Вулкана, римского бога огня и кузни. Вулканы — разломы в верхней коре Земли, позволяющие материалам из горячей, подверженной повышенному давлению мантии вырваться в извержения горячего газа, пепла и порой расплавленной горной породы. Взрывная сила создается сжатыми газами, расширяющимися, когда поднимается расплавленная горная порода. Газы в основном представля-

ют собой чрезмерно нагретую воду — пар — с добавками оксида углерода (IV), оксида серы (IV) и следов других веществ. Вулканы играли главную роль в формировании поверхности Земли начиная с ее самых ранних стадий, и они также повлияли на эволюцию живых организмов. Из нескольких массовых вымираний, сопровождавших эволюцию, некоторые, похоже, были вызваны вулканическими извержениями, которые, возможно, продолжались миллионы лет, наполняя атмосферу заслоняющими солнечный свет, охлаждающими планету частицами пыли и каплями серной кислоты.

В наши дни каждый год происходит примерно пятьдесят значительных извержений вулканов. В несколько раз больше вулканов постоянно выпускают дым и дают нам почувствовать, как пахла планета до того, как ее преобразила жизнь. Я поднялся близко к вершине горы Этна в Сицилии, десять тысяч футов (3000 м) над уровнем моря, и подобрался на достаточно близкое расстояние, чтобы унюхать запах вулкана Килауэа на Гавайях. Вулканический запах ни с чем не перепутаешь, он тяжелый и удушающий, едкий и серный благодаря оксиду серы (IV), удушающему компоненту дыхания вулкана, и сульфиду водорода, серному и столь же токсичному. Выбросы оксида серы (IV) из Килауэа такие частые и раздражающие, что у департамента здравоохранения штата есть стандартная шкала для отчета об их насыщенности. Крохотные доли грамма в кубическом метре воздуха могут быть токсичны, и Килауэа может выбрасывать до десяти тонн оксида серы (IV) каждый час. В сентябре 2014 года люди на западном побережье Норвегии почувствовали запах серы в воздухе, и оказалось, что причина этому — извержение вулкана Баурдарбунга в Исландии, в восьмистах милях (1300 км) к западу.

В Исландии так много вулканов и геотермальных областей, что слово «гейзер» происходит оттуда, как и менее знакомое слово *hveralykt*, обозначающее то, что учуяли норвежцы: запах горячего источника, в котором

обычно преобладает сульфид водорода. Подземные температуры, вызывающие горячие источники, не столь высоки, как вулканические, и вода способствует преобразованию части оксида серы (IV) в сульфид водорода. Во многих горячих источниках планеты течет вода, вступившая в контакт с горячими участками коры или даже расплавленной магмой и несущая разнообразные газы и минералы, полученные в результате этого контакта.

В Калифорнии есть множество горячих и серных источников. Мое любимое место — область Бампасс-Хелл у горы Лассен. Она увековечивает память шахтера с невероятным именем Кендалл Ванхук Бампасс, открывшего ее, но потерявшего ногу в 1865 году, когда он провалился ногой через тонкую корку в почти что кипящую грязь под ней. Ее можно почувствовать по дороге задолго до того, как вы туда доберетесь, и услышать нечто, похожее на шипящий рев парового двигателя или завода. С ее окраины вы смотрите вниз на пустую, практически лишенную деревьев топь, выбеленную постоянным дождем из серной кислоты, формирующейся, когда оксид серы (IV) из шумной скважины растворяется во влаге в воздухе, и заменяющей разнообразие минералов в обнаженных скалах сульфатами. Компаньон Бампасса, редактор газеты *Red Bluff Independent*, сообщил, что «перед нами внезапно предстали все чудеса ада». Это калифорнийская версия древнего Аверна, не смертельная для птиц или туристов, бродящих по мосткам, но достаточно серная, чтобы вы могли почувствовать каустическую раннюю Землю.

ЗАПАХИ РАННЕЙ ЖИЗНИ: ДОННЫЕ ГОРЯЧИЕ ИСТОЧНИКИ

Если ранняя Земля была такой токсичной, такой негостеприимной к усложнению химического состава и возникновению жизни, тогда как же жизнь вообще смогла начаться? Это бесконечно интригующий вопрос со множеством теорий, но пока что без чет-

кого ответа. Но за последние десятилетия исследований микробиологии окружающей среды, изучения того, какие микробы занимают какие ниши в мире, появились важные подсказки. Оказывается, что, в то время как Авернские вулканы, горячие источники и шахты, может, и негостеприимны для нас, некоторые микробы процветают вокруг и внутри них и сходятся с ними по запахам; это свидетельство того, что их предки, вероятно, делали миллиарды лет назад.

В северо-западном углу Вайоминга Йеллоустонский национальный парк занимает широкую протяженность супервулкана, последний раз извергавшегося 3300 лет назад. Он усеян горячими источниками, многие из которых окрашены в яркие и разнообразные цвета: зеленые, оранжевые, розовые, красные, синие. В середине 1960-х годов микробиолог из Индианского университета Томас Д. Брок обнаружил, что в некоторых из них обитают живые бактерии при температурах, достигающих точки кипения, куда горячее, чем, как думали, возможно для любого живого организма. С тех пор Йеллоустонские источники стали знамениты среди биологов за их наглядные демонстрации жизни разнообразных микробов в адских условиях, пребывающих «в варке на медленном огне», порой поглощающих пахучий сульфид водорода, порой его вырабатывающих.

В 1974 году биолог Роберт Д. Макэлрой дал этим и столь же устойчивым микробам общее название «экстремофилы», означающее «любители экстремальных условий», где экстрем значит за пределами (или у пределов) того, что мы и большинство известных живых организмов можем вынести. Затем ученые отправились на охоту за экстремофилами и обнаружили микробов, способных переносить экстремальные температуры, кислотность и щелочность, засушливость, радиацию и давление, от вакуума открытого космоса до расплющивающего веса на дне Марианской впадины в Тихом океане.

С разработкой глубоководного аппарата «Алвин», позже исследовавшего обломки

«Титаника» и нацистского боевого корабля «Бисмарк», в 1977 году экспедиция впервые достигла и взяла образцы из области гидротермального источника, донного горячего источника (около двух с половиной километров) в Тихом океане неподалеку от Галапагосских островов. Как сообщил месяцы спустя исследователь Роберт Баллард, они с изумлением обнаружили, что на остальном пустынном дне океана источник поддерживал «тесное биологическое сообщество», включая двусторчатых моллюсков шириной в тридцать сантиметров. Этот оазис незамедлительно поставил перед учеными главный вопрос: чем питались организмы? Они жили на твердой каменной породе в полной темноте.

Ответ на этот вопрос возник позже, когда для анализа были предложены образцы воды, собранные «Алвином» внутри источника... Когда химики достали первый образец воды, лабораторию наполнил запах тухлых яиц. Быстро были распахнуты люки. Присутствие сульфида водорода было ключом.

Эта первобытная вонь в конце концов привела ученых к предположению, что богатая серой вода источника подпитывает рост устойчивых, легко переносящих давление микробов, а те иницируют жизнестойкую пищевую цепочку, способную поддерживать этих впечатляющих моллюсков. Последующие глубоководные экспедиции задокументировали десятки подводных источников, детально изучили многие из них и предположили возможность того, что жизнь началась с одиночных клеток, эволюционировавших в подобных физических и химических экстремальных условиях на ранней Земле.

За исключением серных источников Йеллоустона и Бампасс-Хелл, какое все это имеет отношение к запахам нашего повседневного мира? Биохимические системы, созданные ранней жизнью для выживания на ранней Земле, существуют и по сей день, и не только в экстремофилах. Микробы, живущие вокруг нас, даже внутри нас, насыщают запахами наш мир при помощи набора молекул, определенного как кипящее начало жизни.

КЛЮЧ К ПОСТРОЕНИЮ МОЛЕКУЛ: ЭНЕРГИЯ

Где бы и как бы ни возникла жизнь, есть одна фундаментальная система, от которой зависят все другие: система получения энергии. Довольно очевидно, что необходима энергия для построения больших, сложных, упорядоченных структур из маленьких, простых, беспорядочных строительных элементов. На ранней Земле основным источником углерода для построения углеродных цепочек был оксид углерода (IV) (CO_2). Чтобы начать цепочку посредством соединения двух молекул CO_2 , любая система построения цепочек должна разбить связи между каждым углеродом и по крайней мере одним из двух его атомов кислорода, а затем заставить сформироваться новую связь между двумя углеродами. Химические связи состоят из электронов, обобщенных двумя атомами, так что разрушение и формирование связей означает отрывание электронов от одних атомов и притягивание их к другим. Вся эта работа по отрыванию и притягиванию требует энергии.

Из какого же источника черпала энергию первая жизнь? Из того же, из которого до сих пор черпает жизнь: из естественного потока электронов.

Вспомним, что атомы разных элементов содержат разное количество субатомных частиц — протонов и нейтронов в ядре и электронов, вращающихся по орбите вокруг ядра. Только несколько из электронов каждого атома доступны для обобщения с другими атомами. И элементы различаются по тому, насколько сильно их ядра притягивают эти связующие электроны. Многие металлы с радостью готовы отдать все свои связующие электроны. Вот почему медь и железо хорошо проводят электричество и тепло: их электроны способны свободно перемещаться, куда бы их ни тянули или толкали. В качестве другой крайности: кислород не только крепко цепляется за свои связующие электроны, он сильно притягивает связующие электроны других элементов. Металлы — естественные

доноры электронов, а кислород — естественный акцептор электронов.

Это и есть потенциально мощный источник энергии, который ранняя жизнь смогла задействовать и контролировать его: естественная тенденция электронов перемещаться от элементов — доноров электронов к элементам — акцепторам электронов. Это тот же источник, который мы применяем в батарейках, заряжающих наши фонарики и мобильные телефоны.

У живых существ нет твердых батареек, предоставляющих постоянный поток электронов, но они действительно организуют местное окружение своих молекул, чтобы то способствовало потоку электронов от атомов-доноров к атомам-акцепторам, и они координируют этот поток электронов за счет формирования связей углеродных цепочек. Как наши современные электростанции и их дымовые выбросы, эта генерация энергии в микроскопических клетках создает свои собственные химические побочные продукты переработанных доноров и акцепторов электронов. И некоторые из них мы можем учуять.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ РАЗНОСТОРОННОСТЬ СЕРЫ

Чтобы собрать свои химические электростанции, ранние живые клетки должны были работать с доступными для использования элементами в их окружении, организовать их для способствования потоку электронов от доноров к рецепторам и контролировать этот поток. Железо — изобилующий и щедрый донор электронов, и оно, вероятно, катализировало большую часть ранней углеродной химии. Контроль над этой химией требует участия элементов-посредников, чтобы электроны не просто совершали быстрый прыжок и застревали в молекуле-акцепторе. И изобилующая сера стала замечательным элементом-посредником. Она с готовностью принимает пару электронов от водорода или железа, формируя с этими элементами суль-

фиды, но она также может отдать до шести электронов атомам кислорода в оксиде серы (IV) и соединениях под названием сульфаты*. Так что она может сменять роль и быть то акцептором, то донором. В первобытных водах она, вероятно, присутствовала в различных формах, включавших газ оксида серы (IV), выпускаемый вулканами, серную кислоту, формирующуюся, когда этот газ вступает в реакцию с водой, как твердые, так и растворенные металлические сульфаты и металло-сульфидные соли, частицы твердой элементной серы и газообразного и растворенного сульфида водорода. Всякий раз, когда одна из этих молекул превращается в другую, электроны движутся, и в подходящей химической среде можно получить энергию.

Сера всего лишь один из нескольких элементов, играющих важную роль в ранней добыче энергии жизнью на молодой Земле, но она была достаточно значительна, чтобы оставить метку на старейших камнях, которые, как полагается, содержат следы биологического метаболизма. В регионе Пилбара на северо-западе Австралии расположены бывшие океанические осадки, датированные возрастом 3,5 миллиарда лет, богатые железом и сульфатами от вулканической активности и содержащие крупинки золота дураков, или пирита, сульфида железа (II) (FeS_2).

На данный момент считается, что первые живые клетки, вероятно, выработали химические системы, чтобы извлекать энергию из каких бы то ни было доноров/акцепторов элементами промежуточного типа, доступных в их местном окружении. И они, вероятно, вместе образовали кооперативные сообщества, в которых определенные виды клеток поглощали часть ресурсов, но также вырабатывали молекулы, которые могли быть ресурсами для других видов. Сообщества разных клеток могли процветать в условиях, в которых индивидуальные клетки умерли бы от голода. Одним из первых опознанных было сообщество серных бактерий, в котором некоторые из них используют сульфиды в качестве доноров элект-

тронов, таким образом вырабатывая серу или сульфаты в качестве акцепторов электронов, таким образом снова вырабатывая сульфиды. Разные группы эффективно подзаряжают батарейки друг друга, в то же время вырабатывая свою собственную энергию. Порой эти сообщества микроорганизмов можно увидеть невооруженным глазом: в Йеллоустонском национальном парке термальный источник Октопус-Спринг — дом для слоистых ковров микроорганизмов, где каждый слой использует различные молекулы, вскормленные и защищенные слоями сверху и снизу. Слоеное пирожное из микробов!

Итак, в дополнение к тому, что он является первобытным продуктом межзвездного пространства и геологии нашей планеты, сульфид водорода — это одновременно и компонент, и побочный продукт жизни экстремофилов, который, вероятно, существовал с тех пор, как возникла жизнь. Но, разумеется, нам не нужно ехать к горячему источнику, чтобы уловить этот серный аромат. В ходе следующего великого скачка эволюции жизнь придумала куда более эффективную электростанцию, преобразовала планету и изменила определение понятия «экстремальный». Наследие экстремофилов и сульфид водорода встречаются и в повседневном опыте. Мы часто сталкиваемся с ними в природе, в продуктах и в нас самих.

ЖИЗНЬ УЧИТСЯ РАЗВИВАТЬСЯ ЗА СЧЕТ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА И ВОДЫ

Первые формы жизни, возможно, использовали железо и серные минералы, чтобы генерировать поток электронов, как в низковольтной батарейке. Эти ранние клетки, вероятно, развивались медленно, потому что доступная им энергия была незначительной, и они зависели от энергии подходящих минералов местных запасов. Жизнь преодолела эти ограничения, взяв в оборот два ресурса, которые были изобилующими и почти вездесущими на поверхности Земли, и они так и остаются ос-

* Соли серной кислоты с кислотным остатком SO_4^{2-} .

новными источниками энергии и веществ для всех живых организмов на Земле: солнечный свет и вода.

Свет — это чистая электромагнитная энергия, а солнечный свет — это побочный продукт его элементообразующих термоядерных реакций, огромное количество фотонов, льющихся на поверхность Земли. Сегодня признак того, что жизнь использует этот источник энергии, виден повсюду вокруг нас в первозданных солнечных панелях: листьях растений и стеблях травы, зеленых от пигментной молекулы хлорофилла. Хлорофилл кажется зеленым, потому что он поглощает часть спектра, кажущуюся красной, таким образом захватывая порцию энергии солнечного света, которую он передает электронам в некоторых из его атомов. Примитивные версии хлорофилла были организованы в фотосистемы, направлявшие эти заряженные энергией электроны в поток, который мог зарядить биохимические механизмы клетки. В процессе фотосинтеза они передаются непосредственно в систему для синтеза длинных углеводных цепочек из простого оксида углерода (IV) в воздухе и в воде. Фотосинтез был большим приобретением для реализации созидания живых клеток. С ним они могли строить углеводные цепочки, расти и размножаться во много раз быстрее, чем большинство клеток до них.

После солнечного света вторым изобилующим источником энергии, который научилась использовать ранняя жизнь, был кислород, заключенный в воде. Кислород несравним среди элементов в его тяге электронов и силе перемещать их^{**}, но у ранней жизни не было к нему прямого доступа. В какой-то момент ряд микробов, вероятно представленный современными цианобактериями («циано» по-гречески значит «сине-зеленый», цвет их пигментов), сумел преобразовать фотосистему, чтобы извлекать кислород из воды. Эта система использовала заряженные световой энергией электроны, чтобы разрушить связи,

удерживающие вместе атомы водорода и кислорода, затем передавала электроны и атомы водорода партнерской фотосистеме, чтобы выработать больше энергии и построить новые углеводно-водородные цепочки. Она высвобождала оставшиеся атомы кислорода в воздух как отходы, ненужные для последующих шагов фотосинтеза. Свободный кислород затем был доступен для использования в других клеточных системах в качестве мощного акцептора электронов. Прежде всего он позволил клеткам извлекать максимальную энергию, идущую на построение углеводных цепочек, расщепляя их снова до первоначальных стартовых материалов — оксида углерода (IV) и воды.

Итак, эти микробы с ускоренным темпом роста могут создавать многочисленные углеводные цепочки в почти любых поверхностных водах планеты, где у них был доступ к солнечному свету, воде и оксиду углерода (IV), всего лишь с щепоткой минералов, необходимых для их фотосистем. Они могли штамповать углеводные цепочки весь день напролет, запасать их часть как резервы топлива и затем расщеплять — «сжигать» их — ради энергии со свободным кислородом, чтобы оставаться активными во время лишенной солнечного света ночи.

Некоторые ученые сравнивают изобретение микроорганизмами кислородогенерирующего — оксигенного — фотосинтеза с изобретением человеком сельского хозяйства, когда наши предки из охотников-собирателей, рыскавших в поисках любой скудной провизии, которую могла предложить округа, стали фермерами, выращивавшими и запасавшими свои собственные пищевые запасы и использовавшими их, чтобы способствовать развитию густонаселенных городов и цивилизаций. Оксигенный фотосинтез был так эффективен, что он стал доминантным образом жизни как в воде, так и на земле. Эти цианобактерии-первопроходцы дали начало всем современным морским и земным растениям,

^{**} Это не так. Самой большой способностью притягивать электроны других атомов обладает фтор (F).

от микроскопических водорослей до массивных секвой. И они преобразили поверхность планеты, включая ее запахи.

ВЕЛИКАЯ ОКСИГЕНАЦИЯ ОЧИЩАЕТ ВОЗДУХ

Если бы вы и Шеф-повар космоса издалека отслеживали развитие кислородного фотосинтеза, вы бы увидели, как изменяется внешний облик молодой Земли от подернутого дымкой красновато-коричневого до знакомого сверкающего голубого и белого. Если бы вы время от времени наклонялись поближе, чтобы понюхать, вы бы почувствовали, как развевается ее едкое зловоние. Это были бы сверхчувствительные знаки того, что геохимики по-разному нарекли Великим кислородным событием* (делая ударение на введении кислорода в процессы планеты) либо Великим окислительным событием (подчеркивая химические эффекты этого введения). Когда эти микроскопические цианобактерии разрослись и выбросили массивные количества столь жадного до электронов реактивного элемента в воздух, они изменили планету сверху донизу, от ее атмосферы до глубин под ее каменной корой.

Первые выдохи кислорода, высвобожденные цианобактериями, были поглощены металлами и другими элементами на дне океанов и морей и на суше, которые сформировали обличительные ржаво-красные слои оксидов железа, датированные возрастом три с половиной миллиарда лет. Эти спонтанные окислительные реакции удвоили количество различных минеральных соединений на Земле до более чем четырех тысяч, и благодаря им в поверхностных скалах и океанических осадках теперь преобладают оксидные, сульфатные (серно-кислородные) и карбонатные (углеродно-кислородные) соединения. Когда океаны и суша полностью окислились, непрореагировавший газообразный кислород начал скапливаться в океанах, а когда он насытил их

до полного объема, он излился в атмосферу и стал ее значительным составляющим элементом впервые в истории планеты.

Поступление кислорода очистило воздух. Он избавил Землю от красноватой смогообразной дымки за счет того, что окислил метан и разные метановые побочные продукты, вырабатываемые вулканами, разлагающимися микробами и ультрафиолетовым светом Солнца. Он устранил запах паров недр Земли и ранней жизни, вступив в реакцию с сульфидом водорода и аммиаком и образовав лишённые запаха кислоты, выпавшие на поверхность в виде кислотного дождя. Таким образом, он превратил воздух в современную, в основном нейтральную среду для нашего обоняния, через которую летучие молекулы пролетают, чтобы достигнуть наших обонятельных рецепторов и нашего восприятия. И, формируя молекулы озона (O_3), поглощающие ультрафиолет и блокирующие большую часть пагубной солнечной радиации, не давая ей достигнуть поверхности Земли, кислород в воздухе сделал сушу обитаемой для живых существ, чтобы они могли чутать и быть учуянными.

АЭРОБЫ И АНАЭРОБЫ, ТЕМНАЯ СТОРОНА СУЛЬФИДА ВОДОРОДА

То, что геологи называют Великим кислородным событием, для биологов — кислородный кризис или кислородная катастрофа, поскольку это событие вызвало одно из первых массовых вымираний живых организмов. Скапливание кислорода катализировало первый ледниковый период планеты, предупредительно окислило минералы, которые многие микробы использовали в качестве батареек, и атаковало молекулярные системы всех жизненных форм, которые развивались без необходимости иметь дело с его реактивностью. Оказывается, кислород может быть токсичен даже для живых организмов, которые сейчас

* Great Oxidation Event («Великое окисление») — глобальное изменение состава атмосферы Земли, произошедшее в самом начале протерозоя около 2,45 млрд лет назад. — *Прим. ред.*

зависят от него, чтобы поддерживать внутреннюю энергию, включая всех животных, многих микробов и растения: факт, который можно окрестить кислородной иронией. Современные формы жизни унаследовали многое в их биохимической структуре от ранних клеток, развитых до появления кислорода, кислород и его побочные продукты могут повредить эту структуру. Отсюда и важность антиокислительных молекул (антиоксидантов) в наших продуктах, которые помогают ограничить этот урон.

Микробы — крепкие и гибкие формы жизни, и поэтому, несмотря на повышающиеся уровни кислорода, токсичного для них, нефотосинтезирующие виды продолжили свое существование. Как обнаружил французский химик Луи Пастер, когда он впервые доказал, что одни микробы живые, некоторым из них совершенно необходим кислород для роста, в то время как другие могут расти только при отсутствии кислорода. Он назвал эти два вида микробов аэробами и анаэробами, от греческих корней, означающих «воздух» и «жизнь». Анаэробы процветают в геологических подземных царствах и биологических внутренних мирах, нишах, где кислород полностью истощается аэробными микробами и не восполняется. В частности, в океанических осадках, застоявшейся пресной воде и болотах, пищеварительных внутренностях дышащих кислородом животных, включая нас, и извергаемых изнутри пищеварительных отходов. Поскольку анаэробы не могут воспользоваться кислородом, чтобы извлечь максимальную энергию из минералов или отложений других клеток, их вырабатывающая энергию система выделяет не оксид углерода (IV) и воду, а такие летучие молекулы, как сульфид водорода, аммиак и остатки коротких углеводных цепочек типа сырной масляной кислоты: отголоски первобытных запахов минеральной планеты и космоса.

Именно обитающие в них анаэробные микробы придают навозу, болотам и канализациям этот типичный первобытный запах. Мы особенно чувствительны к сульфиду во-

дорода, чей запах ученые на «Алвине» и многие другие стандартно описывают как запах «тухлых яиц». Верно, что эта некогда питательная и доминантная молекула сейчас является одной из летучих молекул, вырабатываемых, когда микробы растут в поврежденных животных и растительных тканях и расщепляют их сложные молекулы на простые, так что в нашем кислородном мире это часто признак смерти и разложения.

Зеркально отражая эффект кислорода на анаэробов, сульфид водорода — сильнодействующий яд для аэробных форм жизни типа нашей. Осознание этого факта началось среди чистильщиков выгребных ям и канализаций Парижа восемнадцатого века, где его запах ассоциировался с удушьем и почернением металлических монет в их карманах. Сульфид водорода вмешивается в наши системы выработки химической энергии, вступая в связь с ее критически необходимыми атомами железа, точно так же, как это делают цианид и оксид углерода (II). Есть свидетельства того, что некоторые посткислородные массовые вымирания усугубили его массовое высвобождение из глубоких бедных кислородом океанических вод или из-за кратковременных разрастаний вырабатывающих сульфиды микробов после вулканических извержений. Мы можем почувствовать сульфид водорода при очень низких концентрациях, примерно одна молекула в миллиарде молекул воздуха. При 10 частях к миллиону он раздражает глаза; концентрация куда больше этого уровня вызывает повреждения и удушье.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ, СВАРЕННЫЕ В МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЕ ЯЙЦА, ЧЕРНАЯ СОЛЬ: СУЛЬФИДНАЯ ПОЛЬЗА

Сульфид водорода и его запах также обладают благотворными сторонами, особенно когда нам удастся подвергнуться их воздействию. В умеренном количестве сульфид водорода — часть притягательности горячих источников мира, которые повсеместно счи-

таются полезными для здоровья. Всего лишь в нескольких милях от смертоносного озера Аверн и баснословных врат в царство Аида расположены минеральные источники, существующие еще с римских времен, их богатые минералами пахучие воды используются как целебное средство. Одна из теорий заключалась в том, что эти сильные серные запахи, управляемые богиней Мефитис, от чьего имени произошел термин мефитический, «зловонный», изгоняли болезнь из тела. Это маловероятно, но ученые установили, что сульфид водорода действительно стандартный незначительный побочный продукт метаболизма большинства живых существ. Его малые количества стимулируют прорастивание и рост семян и замедляют порчу запасов спелых фруктов. Следы, вырабатываемые в человеческом теле, могут расслабить стенки кровеносных сосудов, эффект, который среди прочего способствует успешной эрекции. И в этом нет ничего тухлого.

По факту «тухлые яйца» — это вводящее в заблуждение клише для описания запаха сульфида водорода. На самом деле это запах свежеприготовленных яиц. В 2013 году химики в Седжонском университете в Сеуле отслежили летучие молекулы, высвобожденные яйцами в процессе варки вкрутую, и затем продержали их при комнатной температуре в течение нескольких дней, пока они не испортились. Яичные белки богаты содержащими серу аминокислотами, некоторые из которых выделяют сульфид водорода, когда нагревание денатурирует белки. Чем горячее и дольше варятся яйца, тем больше образуется сульфида водорода и тем сильнее запах. Уровень сульфида водорода высок сразу после варки, затем существенным образом понижается по мере того, как развеивается яичный аромат. Хотя сульфид водорода возникает с новой силой, когда микробы начинают колонизировать и портить яйца, лидирующая летучая молекула на этой стадии — метантиол, еще одна простая серная молекула, с которой мы повстречались в космосе и которая здесь на

Земле обычно описывается как пахнущая гниющей капустой. Сульфид водорода и метантиол часто появляются вместе в нашей жизни, но именно метантиол более надежно сигнализирует о гниении.

Хороший символ разносторонности сульфида водорода — черное яйцо. В Японии сотни серных горячих источников, онсен, и многие онсенские заведения предлагают нежные онсенские яйца, медленно сваренные в водах источника, температура которых обычно составляет 80°C. Куро тамаго, или «черное яйцо», из Овакудани, «Великой кипящей долины», готовится в горячих источниках в десятке миль (около 16 км) к юго-востоку от вулканической горы Фудзи, которые богаты как железом, так и сульфидом водорода. Эти двое вступают в реакцию на карбонатной яичной скорлупе, образуя черный сульфид железа (II) (FeS), сохраняющийся на пористой скорлупе, что придает драматичный визуальный контраст белому нутру яйца. И долгая варка заставляет собственные молекулы железа и серы* яйца вступать в реакцию и наносить пленку темного FeS на поверхность желтка. Сульфиды на сульфидах и на сульфидах!

Есть менее типичный поваренный ингредиент, ценимый как раз за то, что он приправляет продукты водородно-сульфидным ароматом. И он делает это благодаря минералу, отражающему химические процессы как глубоководных источников, так и жадных до энергии микробов. Кала намак, что на хинди значит «черная соль», — это пищевая соль, добываемая в Гималайских регионах Индии и Пакистана. Ее используют в качестве приправы к различным продуктам, в особенности к индийской закуске под названием чаат. Черная соль — это в основном хлорид натрия, обычная поваренная соль, но она включает в себя другие минералы, отложившиеся вместе с ней, когда испарились моря, раньше покрывавшие этот регион. Глыбы черной соли на самом деле гранатового цвета из-за присутствия сульфидов железа (Fe_3S_4) под названием грейгит, который формируется как в гео-

* Имеется в виду молекулы сульфида железа (II), а не элементарных железа и серы.

логических, так и в биологических процессах, в горячих гидротермальных источниках, когда определенные бактерии используют сульфат как рецептор электронов и вырабатывают сульфиды. Когда вы растворяете черную соль в воде, она испускает сильный яичный запах и выбрасывает облако черных частиц: грейгит вступает в реакцию с водой, образуя сульфид водорода и простой сульфид железа.

Думать о сульфиде водорода как о запахе яиц — лишь поверхностно коснуться той роли, что он играет в жизни и ее истории. Он остро присутствует в нашей ежедневной жизни. Это настолько примитивная молекула, насколько возможно, одна из первых, образовавшихся в космосе. Он был доминантной частью характерной суровости ранней Земли и все еще присутствует в местах, где в наши дни недра Земли вырываются на поверхность. Это пища и побочный продукт молекулярных сообществ — ранних форм жизни, первыми обнаруживших способ развиваться в этой суровости. Он, возможно, сыграл роль в массовых вымираниях последующих форм. Он служит

признаком смерти, но также жизни в самых суровых условиях. В целом он гораздо больше, чем случайный продукт пернатых животных, существование которых в геологическом понимании — как мгновение ока! Вместо «яичный» — запах межзвездной молекулы, и ранней Земли, и горячих источников, и болот, и черной соли, и приготовленных яиц заслуживает названия, менее зависящего от случайного обстоятельства, такого, которое вмещало бы в себя все вышеперечисленное. По большей части он сульфидный, начиная с этой страницы.

И все-таки идеально подходяще то, что, принимая во внимание роль сульфида водорода в способствовании вылуptions ранней жизни из твердой минеральной поверхности молодой Земли, мы чаще всего ощущаем его запах, когда раскалываем минеральную скорлупу свежеприготовленного яйца и обнаруживаем пресные сырые ингредиенты новой жизни затвердевшими и ароматизированными для нашего собственного питания и удовольствия.

ГЛАВА 3.

СТАРТОВЫЙ НАБОР ЖИЗНИ

*Углерод сыграет в игру сложности в огромном масштабе.
Он станет величайшим героем химической и биологической революции.*

Хьюберт Ривз, «Атомы молчания», 1981 год

Начиная с Большого взрыва основное вещество нашего космоса изучало свой потенциал приобретения новых форм, выработки новых взаимоотношений и организаций, достижения новых уровней сложности. Атомы — герои, как называет их астрофизик Хьюберт Ривз, в том смысле, что они снова и снова преодолевали или обходили силы актуального — инерцию, стазис, энтропию, чтобы изучить царство возможного. И элементом на передовой этого исследования был углерод. Среди всех элементов, созданных в звездах, его атомы особенно компанейские, они хорошо ладят, играя друг с другом, и реагируют на представившуюся возможность.

Именно постоянные игры углерода на космической пыли, камнях и планетах и привели его к образованию различных цепочек атомов, а некоторые из этих цепочек — к тому, что они организовались в группы, группы — в системы, способные строить новые цепочки, системы — в самодостаточных, саморазмножающихся существ, которых мы называем живыми клетками. Более чем героическое достижение, вызывающее потрясенное благоговение. И за ним последовало другое, почти столь же невообразимое: эти хрупкие совокупности углеродных цепочек сумели переделать саму Землю в место обитания, куда более пригодное для их исследования возможностей материи. В процессе Герой-Углерод очистил воздух от его первых преобладающих запахов, смердящего серного гула, преобладавшего в предыдущей главе,

и начал заменять его различными летучими углеродными молекулами и запахами, которые мы знаем сегодня.

Эта глава — краткое знакомство с простейшими летучими молекулами жизни и удивительным многообразием ощущений, которые они дают. Это химия, но такая, какую вы можете почуять. Будьте вольны изучить, просмотреть или пропустить эту главу или же вернуться позже после прочтения следующих глав. Она не нужна вам для того, чтобы начать исследовать запахи мира. Но немножко химии поможет вам сориентироваться в менее знакомом мире запахов, осмокосме, и узнать некоторые его вехи.

СТАРТОВЫЙ НАБОР ЖИЗНИ ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ УГЛЕРОДНЫХ ЦЕПОЧЕК

В ходе нашего тура на сверхзвуковой скорости от звезд и планет до микробов я использовал термин «углеродные цепочки» для условного обозначения комплексных молекул, из которых строят себя живые клетки. Теперь, когда ранние клетки очистили воздух, а также проторили путь для углерода, чтобы перепрыгнуть на следующие уровни игры по сложности, пришло время сделать паузу и познакомиться с некоторыми из этих цепочек. Мы начнем с молекул, которые все формы жизни, примитивные и продвинутые, могут выбрасывать в воздух в ходе базового метаболизма, обычной работы для поддержания на ходу их

биохимических процессов. Считайте их стартовым набором запахов жизни. Мы обычно встречаем их в группах, и, когда они смешаны вместе, они создают нечто вроде общего летучего присутствия, обонятельного гула жизни. Порой две или три преобладают со своими собственными качествами и создают более конкретное впечатление. Мы обнаружим, что они вносят свой вклад во многие приятные нам запахи — и многие неприятные! Все они признаки работы жизни, и не всякая жизнь работает на благо нашей собственной.

Хотя углеродные цепочки живых организмов могут включать в себя сотни и тысячи атомов, большинство летучих молекул углеродных цепочек относительно маленькие и простые. Базовый метаболизм живых клеток стремится вырабатывать цепочки длиной от двух до четырех углеродов, и наиболее часто встречающиеся включают в себя только атомы углерода, водорода и кислорода. Цепочки длиннее, чем в двенадцать углеродов, слишком тяжелые, чтобы бесп проблемно подниматься в воздух, и они также склонны моститься рядом друг с другом и формировать еще более тяжелые кластеры. Они не слишком-то летучие. Так что наш стартовый набор летучих молекул жизни — кучка легковесных, маленьких, простых углеродных цепочек. Они подразделяются на четыре основных химических семейства — кислоты, спирты, альдегиды и углеводороды, — и между членами семейства есть определенные сходные черты. Разумеется, поскольку углерод — активный игрок, он создает множество других вариаций этих цепочек — с изгибами, ответвлениями и другими видами атомов, — и в свое время мы до них доберемся. Но и в самом стартовом наборе довольно-таки впечатляющее разнообразие запахов.

Как получилось, что базовый метаболизм продуцирует именно эти конкретные летучие молекулы? Дело в том, что они — типичные фрагменты процессов преобразования углеродных цепочек в клетке. Все клетки постоянно расщепляют сложные углеродные цепочки

на более простые строительные элементы, из которых они состоят, как для выработки энергии, так и для того, чтобы перенацелить свои цепочки на починку или создание новых молекул. Есть три основных строительных элемента: сахара, образующие углеводы; аминокислоты, образующие белки; и липиды, среди которых жиры, масла и родственные молекулы, собирающиеся в водонепроницаемую мембрану, покрывающую клетки. Два из этих трех строительных элементов, сахара и аминокислоты, сами по себе нелетучие. Они сильно притягиваются к молекулам воды и друг к другу, так что им непросто отделиться от клеток в воздух, где мы можем их учуять. Но когда они расщепляются ради энергии, некоторые из их фрагментов летучие. Большинство сахаров и аминокислот длиной не более шести углеродов, так что их фрагменты меньше, обычно от двух до четырех углеродов. Липиды менее притягиваются к молекулам воды, так что как они сами, так и их фрагменты имеют тенденцию быть летучими. И липидные цепочки могут быть гораздо длиннее. Жирные кислоты, являющиеся липидными строительными элементами для жиров, масел и клеточных мембран, зачастую бывают длиной от четырнадцати до двадцати четырех атомов углерода. Так что расщепление жирных кислот может продуцировать спектр длин цепочек от двух углеродов до двадцати, достигающих предела летучести.

С этим фоновым кратким введением о природе летающих углеродных цепочек мы готовы к конкретике. Вот стартовый набор запахов жизни.

БЛАГОУХАЮЩИЕ СПИРТЫ, ЕДКИЕ КИСЛОТЫ

Самый простой способ познакомиться с летучими молекулами основных углеродных цепочек и их семействами — через их наиболее знакомых представителей и запахи. Так что давайте начнем с двух таких запахов — спирта и уксуса. Мы можем почуять их наиболее

отчетливо у водки без добавок и дистиллированного уксуса, являющихся довольно-таки чистыми растворами всего лишь одной углеродной цепочки в каждом, не осложненными другими летучими молекулами. Водка без добавок — 40% спирта (почти) и 60% воды. Она пахнет как... крепкий алкоголь, разумеется. А спирт — это двухуглеродная молекула. Теперь возьмем дистиллированный уксус, который этикетка определяет как 5-процентную уксусную кислоту. Уксусная кислота пахнет как... уксус, разумеется. Как и спирт, уксусная кислота тоже двухуглеродная молекула. Но эти две двухуглеродные молекулы пахнут совсем по-разному!



Различие в запахе происходит из-за различия в том, что находится у каждой молекулы на одном конце ее двухуглеродной цепочки. У обеих молекул один углерод связан с тремя атомами водорода. Однако другой углерод связан с атомами кислорода. Углерод **спирта** имеет одну связь с атомом кислорода, в то время как углерод **уксусной кислоты** имеет одну связь с одним атомом кислорода и две связи со вторым кислородом. Именно эти две дополнительные связи с кислородом и создают различие между запахом спирта и запахом уксуса.

И именно они создают различие между семейством спиртов и семейством кислот. У членов каждого семейства варьируется число углеродных атомов в их цепочках, но у них общее количество связей с кислородом, определяющее семейство. Например, медицинский спирт*, часто обозначенный на этикетке своим химическим названием изопропиловый спирт, — трехуглеродная цепочка с одной кислородной связью с его центральным углеродом вместо конечного. Этот один дополнительный углеродный атом в цепочке и связь между центральным углеродом и кислородом достаточно большое различие, чтобы сделать его непригодным для питья

и токсичным, но он все равно пахнет достаточно похоже на питьевой алкоголь. Если у трехуглеродной цепочки два атома кислорода через двойную и одну одинарную связи соединены с ее концевым углеродом, тогда это не уксусная, а пропионовая кислота, имеющая резкий запах, как у уксуса, но отличающийся от него: как у швейцарского сыра того сорта, что с большими дырками.

Давайте остановимся на этих четырех примерах — двух спиртах и двух кислотах — и отметим пару вещей. Для начала, летучие молекулы в семействе имеют общие характеристики: спирты пахнут как спирты, кислоты — как кислоты. Химические семейства — это также семейства запахов, по крайней мере, в какой-то степени. И, когда мы описываем запахи конкретных молекул, мы делаем это по ассоциациям с объектами в нашей повседневной жизни, по которым мы с наибольшей готовностью узнаем их. Мы говорим, что уксусная кислота пахнет как уксус, потому что мы встречаем эту молекулу в уксусе, а трехуглеродная пропионовая кислота пахнет как швейцарский сыр, потому что эта молекула ярко выражена в данном конкретном сыре.

Поскольку эти летучие молекулы — типичные побочные продукты живых клеток, мы часто встречаем их в более чем одном объекте и, таким образом, можем описывать их запахи более чем одной ассоциацией. Поразительный пример таких многочисленных ассоциаций — четырехуглеродная масляная кислота, следующая за трехуглеродной пропионовой. Как и пропионовая кислота, она ярко выражена в сырах, но особенно в сырах, выдержанных в течение долгого времени. Она также ярко выражена в человеческой рвоте. Так что четырехуглеродная кислота может напоминать нам два абсолютно разных материала, один зачистую вкусный, другой всегда омерзительный. Большинство многочисленных ассоциаций не столь экстремальны, как эта!

* В России в качестве медицинского спирта чаще всего используется этиловый спирт. Лишь в последние годы его стали нередко заменять на изопропиловый, не уступающий по антисептическим свойствам.

Теперь давайте познакомимся с другими, менее знакомыми членами семейств спиртов и кислот. Вот таблица, перечисляющая дюжину в каждом семействе, вместе с запахами, которые химики-специалисты по вкусоароматическим добавкам приписывают к разным длинам углеродных цепочек. Просто потратить минутку, чтобы просмотреть и понять эти два семейства. Поскольку есть много разных видов химических кислот, не являющихся летучими молекулами, например соляная и серная кислоты, кислоты углеродных цепочек обычно конкретно указаны как карбоновые кислоты. Те, что короче шести углеродов, — карбоновые кислоты с короткой цепью, а те, что длиной от шести до двенадцати углеродов, — карбоновые кислоты со средней цепью. (Животные жиры и пищевые масла содержат кислоты с длинной цепью, до двадцати углеродов и больше, они и называются жирными кислотами.)

Просто изумительно, не так ли? Такое многообразие разных запахов и ассоциаций! От неприятных, грязных и терпких до эфирных, освежающих, чистых и вкусных, цветочных,

цитрусовых и тропических. Все из маленького набора простых углеродных цепочек. И это лишь малая часть виртуозности Героя-Углерода и наших умеющих различать носа и мозга, которая может пробудить такое богатое разнообразие жизни при помощи одиночных маленьких молекул.

И заметили ли вы семейное сходство? Спирты, особенно более длинные цепочки, обычно имеют общую воспаряющую, «эфирную» характеристику, проявляющуюся в алкогольных напитках, цветах и некоторых фруктах, особенно корке цитрусов. Интересный оригинал — восьмиуглеродный спирт, характерный для грибов, обитателей почвы, — не то, что мы обычно считаем воспаряющим или эфирным. Но, если вы понюхаете грибы, держа в уме эти качества, вы, возможно, заметите сходство и, может быть, начнете думать о грибах как о цветах или плодах почвы: они и в самом деле «плодовые тела», выбрасывающие споры, из которых вылупится следующее поколение.

С другой стороны, кислоты, как правило, полная противоположность эфирному харак-

Запахи семейств спиртов и кислот

Углеродные атомы в цепочке	Спирты (1 конечная кислородная связь)	Карбоновые кислоты (3 конечные кислородные связи)
1	спиртовой	резкий, редкий, фруктовый
2	спиртовой	уксус
3	спиртовой	резкий, сыр эменталь, уксус
4	эфирный, винный, виски	сырный, прогорклый, рвотный
5	едкий, ферментный, виски	резкий, сырный, потный, прогорклый
6	зеленая листва, фруктовый, яблоко	сырный, прогорклый
7	свежий, цветочный, лимон	восковой, сырный, грязный, фруктовый
8	апельсин, гриб, дыня	жирный, прогорклый, сырный
9	свежий, цветочный, апельсин	восковой, грязный, сырный
10	восковой, цветочный, апельсин	прогорклый, кислый, жирный
11	свежий, восковой, цветочный, мыльный, чистое белье	восковой, кремовый, жирный сыр, кокос
12	мыльный, восковой, жирный, земляистый	мягкий, жирный, кокос

теру. Они получили свое английское название от корня, означающего «резкий, едкий», и многие из них обладают этим качеством. У кислот длиннее двух углеродов тоже общие сырные, потные животные запахи, с часто возникающей темой прогорклости. Кислоты напоминают эти разные материалы потому, что они являются компонентами их всех; сыр, тухлое мясо и пот могут напоминать друг друга за счет их общих кислот. Это объясняет тот факт, почему пахучие сыры нравятся далеко не каждому. Может, это и изысканно приготовленное блюдо, но его летучие кислоты могут напомнить нам вещи, которые не следует совать в рот. С тремя кислородными связями кислоты настолько окисленные, насколько возможно без того, чтобы отломить конечный углерод от цепочки и сформировать оксид углерода (IV). Таким образом, сами по себе они представляют незначительную энергетическую ценность и являются индикаторами того, что ценные молекулы уже были использованы, зачастую имеющими мало энергии анаэробными микробами, не расщепившими их полностью до оксида углерода (IV).

Большинство летучих кислот преимущественно неприятные, и спирты тоже не являются особо приятными, пока не достигнут длины по крайней мере в шесть углеродов. Эта закономерность, возможно, отражает тот факт, что более короткие цепочки — это зачастую побочные продукты расщепления строительных элементов микробами или следствие продолжительного воздействия кислорода в воздухе. Некоторые из этих маленьких молекул в действительности химическое оружие, применяемое микробами, чтобы отпугнуть других микробов и не соперничать с ними за одни и те же ресурсы. Так обстоит дело со спиртом, вырабатываемым дрожжами в виноделии и пивоварении например, или с уксусной кислотой, вырабатываемой бактериями из спирта, когда вино и пиво портятся или когда мы намеренно превращаем их в уксус. Углеродные цепочки средней длины, для контраста, зачастую являются летучими молекулами, специально вырабатываемыми растениями, животными и микробами в качестве сигналов: запахи цветов и фруктов должны привлечь внимание насекомых и животных, зачастую — приманить их.

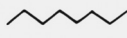
Запахи углеводородных и альдегидных семейств

Углеродные атомы в цепочке	Углеводороды (0 кислородных связей)	Альдегиды (2 конечных кислородных связи)
1	нет	химический, едкий
2	нет	едкий, эфирный, фруктовый, зелень, свежий
3	нет	эфирный, землистый, винный
4	жидкость для заправки зажигалок, газалин	едкий, кокос, солодовый, прокислый
5	нет	ферментный, хлебный, фруктовый
6	газолин	травяной, зеленое яблоко
7	газолин, печное топливо	свежий, жирный, зелень, травянистый
8	газолин	восковой, цитрусовые корки, зелень
9	нет	восковой, роза, цитрусовые корки
10	нет	сладкий, восковой, цитрусовые корки
11	нет или газалин	восковой, мыльный, цветочный, цитрус, свежее белье
12	нет или газалин	мыльный, восковой, цитрус, зелень

ЖИДКОТОПЛИВНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ, МНОГООБРАЗНЫЕ АЛЬДЕГИДЫ

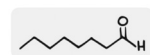
Теперь мы кое-что знаем о базовых углеродных цепочках, увенчанных одной или тремя кислородными связями. Но эти конечные углеводы могли бы также иметь две кислородные связи либо вообще ни одной. Эти две возможности дают нам два других значимых семейства углеродно-цепочных летучих молекул. Углеводороды состоят только из водорода и углерода, без кислорода — отсюда и их название. А семейство с двумя кислородными связями* — это альдегиды, сокращенное название дегидрированных спиртов (спирт минус один водородный атом). Вот таблица, демонстрирующая углеводородные и альдегидные цепочки. Опять-таки, потратьте минутку на исследование характеристик и закономерностей и посмотрите, какое различие может провести кислородная связь.

Углеводороды — семейство, отличное от других: у них либо нет запаха, либо есть специфический «химический» запах, запах различных легковоспламеняющихся жидкостей, которые мы используем в качестве топлива и растворителей. Лишенная запаха одноуглеродная версия, метан, — одна из важных атмосферных молекул на ранней Земле; это то, что мы знаем как природный газ. Запах, который мы ассоциируем с природным газом, берется от вонючих серных соединений, которые производители в него добавляют, чтобы сделать его пахучим и, таким образом, менее опасным. Трехуглеродная версия, пропан, — стандартный печной и факельный газ, а четырехуглеродная версия, бутан, используется в жидкостях для заправки зажигалок.

 **Октан**, восемь углеродов, — исходный углеводород для газа (который на самом деле является смесью нескольких углеводородных цепочек

различных длин). Мы считаем, что углеводороды обладают химическими запахами, потому что мы встречаем их в значительных количествах только в топливе и растворителях. Как бы то ни было, следы некоторых углеводородов присутствуют во многих продуктах и в наших собственных телах и вносят свой вклад в обонятельный гул жизни.

Альдегиды — самое многообразное углеводно-цепочечное семейство по разнообразию напоминаемых ими запахов, включая свежую зеленую листву и зеленые фрукты, а также более изысканные продукты, которые были ферментированы или пророщены, затем испечены или поджарены: хлеб, какао и ячменный солод. Альдегиды с более короткими цепочками ведут нас в этих направлениях, в то время как более длинные цепочки, типа **октаналя**, упорно напоминают воск и мыло без отдушек.



Возможно потому, что пчелиный воск и полученный из нефти парафиновый воск, которые в основном являются длинными цепочками из десятков углеродных атомов, всегда содержат следы окисленных более коротких фрагментов. Как и мыло, сделанное путем расщепления жиров на их компонентные жирные кислоты.

МУРАВЬИ, МАСЛО, КОЗЛЫ — ТЕЗКИ УГЛЕРОДНЫХ ЦЕПОЧЕК

Пока что я вводил летучие молекулы простых углеродных цепочек по их структуре — по тому, сколько в них углеродных атомов, сколько кислородных связей — и по материалам, в которых они наиболее ярко выражены. Когда мы выберемся в наш собственный мир, начиная со следующей главы, и обнаружим некоторые из этих молекул, я хочу сослаться на них конкретно, по названиям. К сожалению, одно из препятствий к тому, чтобы хорошо

* Двумя связями концевой атома углерода с одним атомом кислорода. Межклассовый изомер альдегидов, простой эфир, также имеет две связи с кислородом, но они образуются с двумя ближайшими углеродами.

разбираться в молекулах, — это их названия. За ними может быть непросто уследить потому, что они такие многочисленные и незнанные, и потому, что у многих индивидуальных молекул больше одного названия. Но вам не нужно переживать из-за необходимости выучить и запомнить названия молекул. Важные запомнятся за счет повторения, когда они появятся в следующих главах: уксусная кислота напомним запах уксуса, гексанол — зелень, траву и листву. И я обязательно буду указывать основной запах молекулы вместе с ее названием. Что действительно важно, так это то, чтобы вы усвоили существование этих молекул, их членство в семействах похожих углеводных цепочек и тот факт, что специфические молекулы вызывают специфические ощущения.

Но названия молекул полезно знать, и в них есть некая логика. Или парочка разных разновидностей логики. Многие из первоначальных названий этих молекул углеводных цепочек произошли от запахов*, и это позволяет нам их запомнить. Более поздняя логика основана на количестве углеводных атомов в цепочке, подхода, пригодный для бесконечно-

го числа молекул и помогающий нам различать молекулы с похожим запахом.

Первоначальная система наименования молекул углеводных цепочек датируется восемнадцатым веком, когда самые первые экспериментальные химики, в основном во Франции, впервые признали существование разных видов кислот в разных природных материалах. Химики назвали каждую кислоту по материалу, в котором она была обнаружена или запах которого больше всего напоминала. В то время ученые были без ума от греческого и латыни, поэтому они заимствовали названия из этих древних языков. Именно так одноуглеродная кислота получила название муравьиная (*formica*), двухуглеродная — уксусная (*acetum*), четырехуглеродная цепочка — масляная (*butyrum*) и т.д., как показано в таблице. Сегодня эти корни просто неочевидны в английском языке.

В этих названиях не было ничего систематического, и ничто в них не указывает на действительную химическую структуру молекулы. К двадцатому веку химики признали существование семейств углеводных цепочек, каждое со множеством возможных

Первоначальные названия углеводно-цепочных кислот и спиртов

Углеводные атомы в цепочке	Названия
1	муравьиная кислота (<i>formica</i> , муравей), метиловый спирт или метанол (<i>methys</i> , вино)
2	уксусная кислота (<i>acetum</i> , уксус), этиловый спирт или этанол (<i>ether</i> , верхнее воздушное пространство)
3	пропионовая кислота (<i>pro-</i> , перед; <i>pion</i> , жир)
4	масляная кислота (<i>butyrum</i> , масло)
5	валериановая кислота (<i>Valeriana</i> , ароматический корень)
6	капроновая кислота (<i>capr</i> , козел)
7	энантовая кислота (<i>oenanthe</i> , дикий виноград)
8	каприловая кислота (<i>capr</i> , козел)
9	пеларгоновая кислота (<i>Pelargonium</i> , герань)
10	каприновая кислота (<i>capr</i> , козел)

* От источников, где впервые были выделены эти молекулы.

Названия и запахи стартового набора углеродных цепочек

Количество углеродных атомов в цепочке	Углеводороды $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \dots - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Спирты $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \dots - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Альдегиды $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \dots - \text{C} = \text{O} \end{array}$	Карбоновые кислоты $\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \dots - \text{C} = \text{O} \end{array}$
1	метан: нет запаха	метанол: спиртовой	формальдегид: химический, едкий	муравьиная кислота: резкий, едкий, фруктовый
2	этан: нет запаха	этанол: спиртовой	ацетальдегид: едкий, эфирный, фруктовый, зелень, свежий	уксусная: уксус
3	пропан: нет запаха	пропанол: спиртовой	пропаналь: эфирный, землистый, винный	пропионовая, пропановая: резкий, сыр эмменталь, уксус
4	бутан: газولين	бутанол: эфирный, винный, виски	бутаналь: едкий, какао, солодовый, прокислый	масляная, бутановая: сырный, прогорклый, рвота
5	пентан: без запаха	пентанол: едкий, ферментный, виски	пентаналь: ферментный, хлебный, фруктовый	валериановая, пентановая: резкий, сырный, потный, прогорклый
6	гексан: газولين	гексанол: зеленая листва, фруктовый, яблоко	гексаналь: травяной, зеленое яблоко	гексановая, капроновая: сырный, прогорклый
7	гептан: газولين, печное топливо	гептанол: свежий, цветочный, лимон	гептаналь: свежий, жирный, зелень, травянистый	гептановая: восковой, сырный, грязный, фруктовый
8	октан: газولين	октанол: апельсин, землистый, гриб, дыня	октаналь: восковой, цитрусовые корки, зелень	октановая, каприловая: жирный, прогорклый, сырный
9	нонан: без запаха	нонанол: свежий, цветочный, апельсин	нонаналь: восковой, роза, цитрусовые корки	нонановая, пеларгоновая: восковой, грязный, сырный
10	декан: без запаха	деканол: восковой, цветочный, апельсин	деканаль: сладкий, восковой, цитрусовые корки	декановая, каприновая: прогорклый, кислый, жирный

11	ундекан: без запаха или газолин	ундеканол: свежий, восковой, цветочный, мыльный, чистое белье	ундеканаль: восковой, мыльный, цветочный, цитрус, свежее белье	ундекановая: восковой, кремовый, жирный сыр, кокос
12	додекан: без запаха или газолин	додеканол: мыльный, восковой, жирный, землистый	додеканаль: мыльный, восковой, цитрус, зелень	лауриновая, додекановая: мягкий, жирный, кокос

членов. Поэтому они разработали новую систематическую номенклатуру, основанную на количестве углеродных атомов в заданной цепочке. Они оставили названия для самых коротких цепочек, также наиболее часто встречающихся, и затем добавили латинские корни числительных к цепочкам с пятью углеродами и больше: penta- — пять, hexa- — шесть, octa- — восемь, deca- — десять и т.д. Поскольку некоторые другие первоначальные названия уже так глубоко укоренились, они все еще используются в качестве синонимов. Так что шестиуглеродная гексановая кислота также называется капроновой, названной в честь козлов; восьмиуглеродная октановая кислота также называется каприловой, опять названной в честь козлов; десятиуглеродная декановая кислота также называется каприновой — снова козлы благодаря их богатым пахучим жирам! В данной конкретной группе кислот на самом деле куда проще различить префиксы гекса-, окта- и дека-, чем незначительные вариации капр-.

Теперь последняя таблица, чтобы обобщить список летучих молекул простых углеродных цепочек, их названий, семейств и ассоциируемых запахов. Вот она, для просмотра и для справки, чтобы помочь вам опознать молекулы, которые могут заинтриговать вас на следующих страницах, когда вы обнаружите, что они способствуют вашему приобретению опыта.

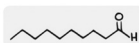
ЗА ПРЕДЕЛАМИ СТАРТОВОГО НАБОРА

В начале этой главы мы пронеслись через один-два миллиарда лет истории Земли, чтобы восхититься изобретением фотосинтеза Героем-Углеродом, его высвобождением свободного кислорода, трансформацией этим кислородом минералов, вод и воздуха планеты и подпитанным кислородом быстрым размножением бесчисленных форм жизни, заполнивших воды, покрывших землю и дающих нам так много запахов. В этой саге есть еще одна критически важная сюжетная линия, которую помогает осветить наше знакомство с летучими молекулами простых углеродных цепочек: линия, ведущая к нашей способности отличить пятиуглеродную цепочку от шестиуглеродной или же спирт от кислоты и ассоциировать эти молекулы с их источниками. Это тоже восхитительно!

Химическое восприятие, вероятно, началось с ранних анаэробных микробов, способных распознавать важные молекулы вокруг них, первый шаг в способности двигаться навстречу питательным веществам и прочь от токсинов. В конце концов у большинства существ развились системы для распознавания важных молекул всех видов, не только питательных веществ и токсинов: молекул, обозначающих присутствие источников пищи, или потенциальных половых партнеров, или хищников, или мест, благоприятных для созревания или размножения. Как только ми-

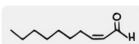
кробы, растения и животные колонизировали землю, воздух стал средством обмена между ними, как вода была для их предков. Парящие в воздухе молекулы стали важными частями химического окружения, насущным источником информации о материалах и существах, испускающих их, и таким образом наши предки-амфибии начали развивать и передали нам обоняние, восхитительно многообразное и тонко различающее.

Наша аккуратная таблица углеродных цепочек коротких и средних длин уже покрывает довольно-таки большой объем запахов, но углерод так виртуозен, что возможны многие другие вариации даже этих простейших цепочек летучих молекул. И наши сенсорные системы достаточно специфичны, чтобы мы могли почуять разницу. Возьмем, например,

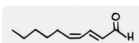


десятиуглеродный альдегид **деканаль**. Эта простая цепочка

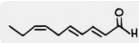
содержится в воске и цитрусовых корках. Но подправьте два соседних внутренних углерода этой цепочки из десяти так, чтобы у них было две связи, а не одна, и у вас получится несколько возможных цепочек, у которых форма изломанной, а не прямой линии. Некоторые из этих **деценалей** входят



в состав и пахнут как листья кориандра. Создайте вторую пару углеродов с двойной связью в этой цепочке, и



у вас получатся еще более изломанные **декадиенали**, некоторые из которых напоминают жаренные во фритюре продукты и куриное мясо. Не слишком-то похоже на апельсиновые корки! А **декатриенали** снова пахнут как



цитрусовые корки, но зеленые, а также водорослями и краской.

Эти вариации с двойными связями называются ненасыщенными молекулами, поскольку двойные углеродные связи снижают количество водородных атомов вдоль цепочки — она более не полностью насыщена водородами. (Те же термины применяются для более длинных углеродных цепочек в наших продуктах; жиры наземных животных обычно состоят из прямых насыщенных цепочек, растительные и рыбные масла — из ненасыщенных цепочек.) Мы способны отмечать эти структурные детали в летучих молекулах и ассоциировать их с очень различными источниками: спелыми и неспелыми фруктами, зелеными листьями, материалами, нагретыми в кипящем масле.

Другой пример: есть целая группа цепочек, похожих на альдегиды, за исключением того, что две кислородные связи находятся на предпоследнем углероде, а не на конечном. Это семейство кетонов, не так часто встречающееся в нашем мире, как другие семейства. Но один член семейства нам знаком: ацетон, двухуглеродный кетон. Мы повстречались с ним в открытом космосе, и он пахнет как химический растворитель, поскольку это он и есть и его можно покупать канистрами. Но это также типичный побочный продукт метаболизма живых существ. Как мы увидим, порой мы можем учуять его в дыхании друга, где он указывает на то, что мы не ели несколько часов.

И третий пример, зловонный, но знакомый: у прямых углеродных цепочек могут быть ответвления, обычно одноуглеродные метиловые группы, присоединенные к углероду внутри цепочки. Четырехуглеродная масляная кислота пахнет как рвота и старый

Некоторые вариации десятиуглеродных альдегидов

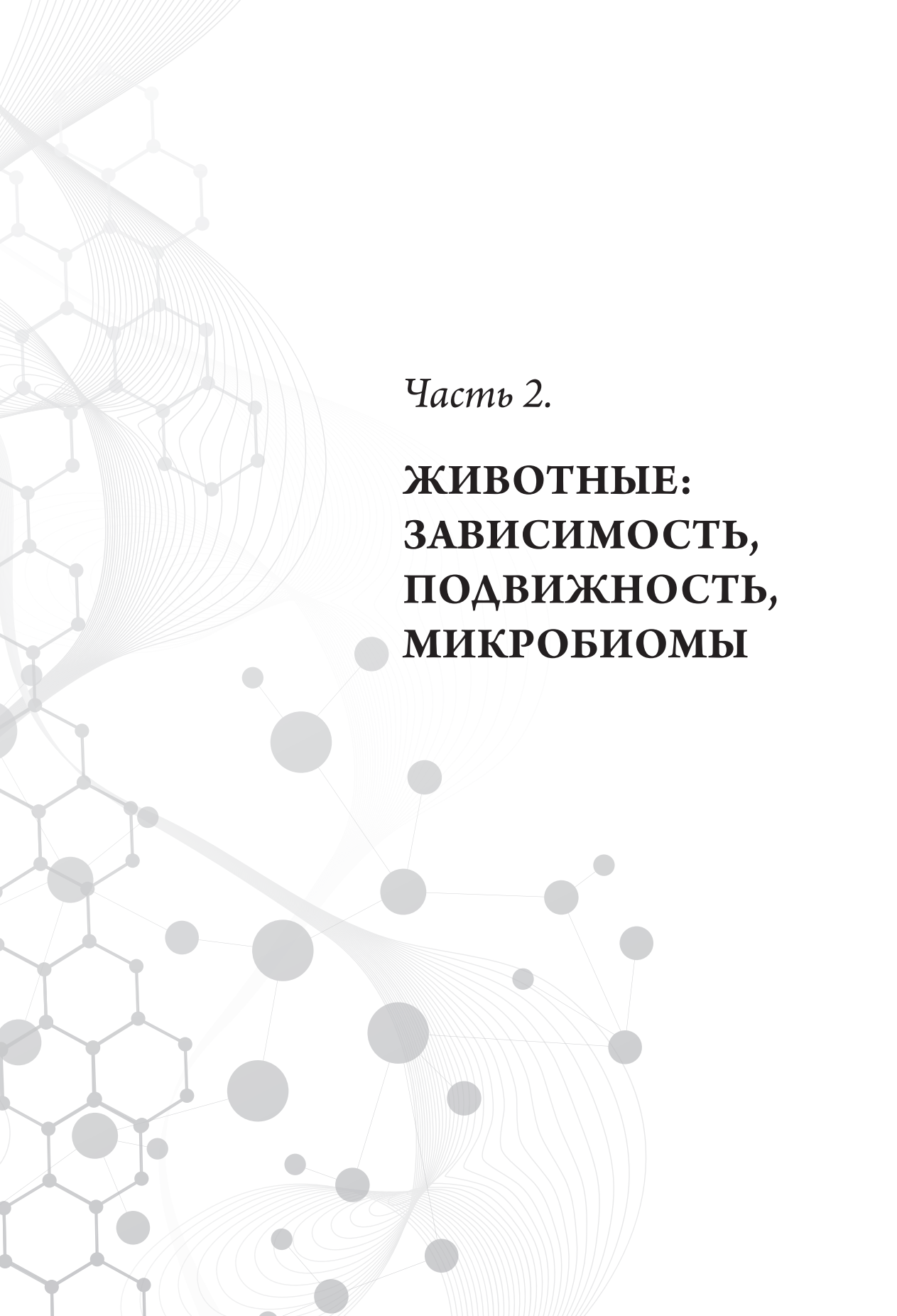
Молекула	Запах
деканаль	сладкий, цитрусовые корки, цветочный
деценаль	жирный, кориандр
декадиеналь	жарка во фритюре, жареная курятина
декатриеналь	водоросли, краска

сыр, пятиуглеродная метилмасляная кислота пахнет потом (см. с. 38).

Так что, в то время как летучие молекулы базовых углеродных цепочек пробуждают изумительное многообразие объектов в нашем мире, природных и сделанных человеком, по факту они — только начало. Мы познакомимся с еще многими другими в последующих главах. Чтобы их можно было как можно проще понять, я опущу числа и буквы, добавляемые химиками к некоторым названиям, чтобы быть абсолютно конкретными касательно их структур. Есть только одна версия каждой из

прямых углеродных цепочек, но менее типичные молекулы могут появляться во множестве разных структур. Рискуя случайной неточностью, я буду придерживаться основных названий: так что (E,E)-(2,4)-декадиеналь появится просто как декадиеналь. И я воспользуюсь экономящим место сокращением в таблицах.

Теперь пришло время погрузиться в мир нашего действительного опыта. Как насчет почвы, леса, морского побережья? Душистых трав и пряностей? Животных, помимо козлов? Будет прямо сейчас.

The background features a complex, abstract design. On the left side, there are several hexagonal molecular-like structures composed of small grey dots connected by thin lines. These structures are partially overlaid by a series of thin, grey, wavy lines that flow from the top left towards the bottom right, creating a sense of movement and depth. The overall color palette is light grey and white, giving it a clean, scientific, and modern appearance.

Часть 2.

**ЖИВОТНЫЕ:
ЗАВИСИМОСТЬ,
ПОДВИЖНОСТЬ,
МИКРОБИОМЫ**

ГЛАВА 4. ЖИВОТНЫЕ ТЕЛА

Почему ни одно животное не пахнет приятно... и, когда они разлагаются, они пахнут неприятно, но многие растения, когда они разлагаются и вянут, начинают пахнуть еще более приятно?

«Problemata» («Проблемы»),
примерно 200 год до нашей эры

Никто никогда не лишается дара речи среди ароматов листвы и цветов; отчетливые запахи плоти порой заставляют нас задышаться, у нас перехватывает дыхание в ходе дуэли смешанных тел. Пот, саван. Вот рубеж или катастрофа, граница, открывающая или закрывающая то, что мы можем назвать инстинктивным отвержением: глубокие, едкие, густые, черные ароматы, под землей, в могилах.

Нам вполне нравится вегетативный детрит; экскременты животных отталкивают нас, но не всегда, они могут быть пьянящими; когда дело касается дичи, нам нравится запах слегка подпорченного мяса. Однако мы бежим от зловония смерти.

Мишель Серр, «Пять чувств»

Это древнее наблюдение: растения и животные пахнут по-разному, и растения пахнут лучше, особенно после смерти. Две тысячи лет назад греческий текст, давно приписанный Аристотелю, задал вопрос: почему это так? Мишель Серр — современный французский философ, предоставивший наставление для главы 1: и нос, и разум должны быть открыты к приключениям до самых звезд. Так почему же мы должны убегать от того, что лежит у наших ног? Ответ Серра прямолинеен. В той или иной степени запахи животных напоминают нам о нашей собственной животной природе и существовании в качестве материальных объектов, и, таким образом, они напоминают нам о нашем неизбежном конце, нашем энтропийном рассеивании на фрагменты грубой материи, которую мы чувствуем в запахе наших собратьев. От пота до савана.

Это имеет смысл, как и более практичный и служащий жизни страх перед тем, что в раз-

лагающейся животной плоти вполне могут таиться смертельные микробы или токсины. Отвержение — здоровая стандартная реакция. Но Серр также отмечает, что запахи животного разложения могут интриговать. «Подпорченное мясо» — пахучее, слегка разложившееся — именно то, что лишило меня дара речи в 2005 году и побудило написать эту книгу. Именитый гарвардский приматолог Ричард Рэнгем однажды рассказал мне о жизни в африканском племени с местными проводниками, которые, как и он, могли за милою почувствовать гниющий животный труп, но, в отличие от него, всегда горели желанием найти этот труп, притащить в лагерь, приготовить и съесть. Как мы увидим, когда мы доберемся до ферментированных продуктов в главе 19, разлагающаяся животная плоть, вполне возможно, была важным ресурсом в человеческой эволюции, и некоторые культуры ценят ее в наши дни. Проводники Рэнгема жаждали мяса. Исследователи запахов, жа-

жадущие опыта и понимания, тоже могут научиться отложить в сторону инстинктивное отвращение, выследить неприятные запахи животных, мертвых и живых, и быть вознагражденными.

С какой стати начинать наше исследование пахучего мира с животной плоти, а не листы и цветов? На то есть пара причин. Мы с вами животные, так что мы сразу берем быка за рога. И мир животных летучих молекул и запахов относительно ограничен, в основном это гул стандартного стартового набора углеродов от метаболических выбросов жизни, сульфидный аспект, знакомый по минеральной земле и ранней жизни, и всего лишь несколько дополнительных ярко выраженных молекул. Мы можем считать животных более продвинутыми формами жизни, чем растения: они активные и живые, как и предполагает их название, в то время как растения кажутся неживыми, пассивными. Но животные движутся, потому что они менее автономны, чем растения. Они не могут питаться, строить себя и затягивать летучие молекулы просто из воздуха, воды, почвы и солнечного света, как это изумительным образом делают растения. Их несколько ярко выраженных запахов — это в основном побочные продукты их зависимости от других форм жизни, необходимости преследовать и захватывать их. Исключение из этого правила — молекулы, синтезируемые некоторыми конкретными животными специально для общения друг с другом. Мы доберемся до уникальных запахов скунсов и щитников в следующей главе.

Животные — это действительно некоторые из самых продвинутых движений углерода в космической игре сложности. Но, когда дело касается запахов, они скорее пережиток. Но от этого они не менее интригующие: в конце концов, через пару глав мы будем нюхать самих себя! Здесь мы начнем с характерных запахов наших млекопитающих собратьев, включая запахи наших домашних животных, которые, по крайней мере, порой бывают приятны.

ЖИВОТНАЯ ЖИЗНЬ, ДВИГАТЕЛЬНЫЕ МОЛЕКУЛЫ, ИНТЕНСИВНО ПАХНУЩИЕ ОСТАТКИ

После того как Герой-Углерод придумал фотосинтез три миллиарда лет назад, потребовалось какое-то время, чтобы претворить возрастающие резервы энергии и углеродных цепочек в первых животных. Первозданные одноклеточные микробы могли репродуцироваться просто и быстро, с готовностью приспосабливаясь к новым условиям. Индивидуальные клетки также могли собираться в группы. Примерно миллиард лет назад некоторые, поступившие так, открыли возможности сотрудничества: группы могли более эффективно добывать питание, защищать себя, избегать толпы и колонизировать новые ниши, а также исследовать новые пути бытия материи.

Результатом этих ранних экспериментов групповой жизни была эволюция трех основных царств многоклеточных форм жизни, каждое с разительно отличным образом жизни. Члены царства растений обычно получают энергию от солнца, а углерод — из оксида углерода (IV) в воздухе. Члены царства грибов, включающего грибы, плесень и дрожжи, обычно растут в прямом контакте с другими живыми организмами, либо пока они все еще живы, либо после их смерти, и вытягивают энергию и углерод из них. Члены царства животных тоже питаются другими живыми организмами или их останками, но они активно двигаются с одного места на другое, чтобы найти их и поглотить их в свои собственные тела для того, чтобы разобрать их на составные элементы. Первые микроскопические животные появились в морях и за миллиарды лет диверсифицировались на множество различных форм, включая рыб, насекомых, амфибий, рептилий, млекопитающих и птиц, примерно в таком порядке.

Поскольку их жизнь характеризуется движением — поиском, поимкой, поглощением, — животные тела особенно богато наделе-

ны молекулами, выполняющими эти задачи, а именно белками и молекулами, помогающими создавать и обслуживать белки. Именно избыточные остатки белков и их спутников выделяют животные запахи из гула летучих молекул от обычного жизненного метаболизма.

Белки — один из трех наиболее избыблующих видов углеродных цепочек в живых организмах, и только они одни стандартно включают атомы азота и серы. Два других основных вида цепочек, углеводы и липиды, служат в основном накопителями энергии и структурными материалами. Белки — это прежде всего молекулы изменения и действия. Класс белков под названием ферменты* содержится во всех живых организмах. Они — молекулярные машины: углеродные цепочки, собирающие или расщепляющие другие углеродные цепочки, извлекающие энергию из некоторых молекул и использующие ее для преобразования других. Системы, создающие животное движение, строятся из специализированных двигательных и связующих белков. Каждый раз, когда сердце бьется или легкое наполняется воздухом, бесчисленные двигательные молекулы в мышцах сердца или диафрагмы спешат по связующим тросам, разрушая связи и формируя новые с каждым бесконечно малым шагом. Вес за вес, животные тела содержат вдвое-втрое больше массы белковых молекул, чем неподвижные растения.

Животные тела также необычно богаты на молекулы, определяющие, как строить белки, и доставляющие к ним энергию. ДНК и РНК, в которых закодированы чертежи белков и указания по их построению, — это крупные молекулы, состоящие из строительных элементов углеродных колец под названием пурины, которые также содержат атомы азота. Как и специализированная молекула — носитель энергии АТФ (аденозинтрифосфат), исполняющая работу по переносу энергии, запасенной в углеводах и жирах, непосредственно к белковым молекулам. Благодаря их белковой системе и постоянной необходимости в содержании и энергии животные ткани

содержат в пять — двадцать раз больше пуринов, чем растения, вес за вес.

Хотя белки и обслуживающие их молекулы особенно избыблуют в их телах, животные не запасают эти молекулы так, как запасают энергию жиры. Они обычно расправляются с избытком, акцептируя часть энергии из него, частично расщепляя части простых углеродных цепочек и затем выделяя содержащие азот и серу остатки. Микробы в и на животных телах делают примерно то же самое. Эти остатки белков и пуринов, особенно содержащие атомы серы или азота, входят в число летучих молекул, к которым мы наиболее чувствительны и которые нас обычно отталкивают. Таким образом, вырабатывающие энергию системы животных становятся источником сильных и отвратительных запахов.

ЖИВОТНЫЕ ЛЕТУЧИЕ МОЛЕКУЛЫ: СУЛЬФИДНЫЕ, СЫРНЫЕ, ПОТНЫЕ, СМОЛИСТЫЕ

Расщепление белков начинается с разбора этих очень крупных молекул на их составные элементы — аминокислоты. Есть примерно двадцать разных аминокислот. У всех есть несущая азот аминокислотная группа $-NH_2$ (отсюда и приставка амино-) вместе с частью карбоновой кислоты с короткой цепью (отсюда термин «кислота»), а также некоего рода боковая цепочка. Когда животные клетки или микроорганизмы расщепляют аминокислоты на кусочки, чтобы извлечь часть их связующей энергии, они производят фрагменты кислот с короткой цепью и боковых цепочек. Аминный азот обычно отщепляется в форме аммиака, NH_3 .

Примерно у половины аминокислот простые прямые углеродные боковые цепочки, включающие или производящие членов стартового набора летучих молекул жизни, включая резкие, прогорклые уксусную и масляную кислоты, неприятные, но не специфически животные. Сходным образом пара аминокислот включает в себя атом серы, и

* Они же ферменты.

Некоторые серные запахи расщепления белков

Запахи	Молекулы
сульфидный (сернистый)	сульфид водорода
гнилые овощи	метантиол
приготовленные овощи	метилсульфиды

Некоторые сырные, потные, скотные запахи расщепления белков

Запахи	Молекулы
сырный	метилпропионовая кислота (ответвленная углеродная цепочка)
потные ноги	метилмасляные кислоты (ответвленные углеродные цепочки)
антисептик, лейкопластырь, медицинский, смола	фенол (углеродное кольцо)
смола, конские конюшни	крезолы (углеродное кольцо)

они могут быть источником пахнущего серой сульфида водорода, гнилокапустного метантиола и/или метилсульфидов, все они пахучие, но довольно-таки часто встречаются в природе.

Более конкретные летучие опознавательные признаки расщепления белков возникают из нескольких аминокислот с боковыми цепочками, которые либо ответвляются, либо формируют шестиугольные кольца. Ответвленные боковые цепочки содержат дополнительный углеродный атом в метиловой группе, выступающей от одного из внутренних углеродов основной цепочки. Они могут отломиться и сформировать карбоновые кислоты с ответвленной цепочкой длиной три-четыре углерода плюс одноуглеродное ответвление. Характеристики их запахов отражают обычно богатые белками материалы, в которых мы чаще всего их встречаем.

Кислая, прогорклая, сырная метилпропионовая кислота пахнет примерно как простая пропионовая кислота.

Сырная, грязная, фруктовая, потная метилмасляная кислота встречается в двух версиях в зависимости от того, от какого углерода цепочки отходит ответвление; именно та, что также называется изовалериановой кислотой, печально известна запахом потных ног.

Антисептический, «химический» фенол — шестиуглеродное кольцо со спиртовой кислородно-водородной (гидроксильной) группой, связанной непосредственно с атомом углерода в бензольном кольце. Он также содержится в дыме и нефти, его легко производить, и, таким образом, он наиболее знаком по его использованию в дезинфицирующих очистителях, упакованных лейкопластырях и фломастерах.

Пахнущие скотным двором, смолистые, «химические» крезолы — фенольные кольца с добавленным метиловым ответвлением, связанным непосредственно с атомом углерода в фенольном кольце. Они ярко выражены в животном навозе, а также дыме и нефтепродуктах, особенно асфальте и смоле.

Эти различные аминокислотные фрагменты и побочные продукты составляют тот еще букет, не очень приятный, но и не сильно отталкивающий. Но ни один из них не содержит ни единого атома азота, определяющего аминокислотный элемент. Добавьте его в смесь — и вы получите совершенно иное измерение, вызванное некоторыми из молекулярных названий. Путресцин. Кадаверин. Вот мы и отправляемся в дебри животности.

ЖИВОТНЫЕ ЛЕТУЧИЕ МОЛЕКУЛЫ: АММИАЧНЫЕ, МОЧЕВЫЕ, РЫБНЫЕ, ТУХЛЫЕ

Оказывается, азот слишком заковыристый элемент, чтобы животное тело могло с ним легко разделаться. Когда он не составляет пару с самим собой, формируя N_2 , очень стабильную молекулу, составляющую большую часть воздуха*, которым мы дышим, индивидуальные атомы азота очень жадны до электронов и химически активны. Аммиак (NH_3), образуемый в ходе расщепления аминокислоты, токсичен для структур животных клеток в любом количестве более следовых, так что клетки соединяют его с оксидом углерода (IV), образуя химически неактивную молекулу под названием мочевины**, которую можно безопасно хранить и в итоге использовать. Молекулы пурина, оставшиеся после расщепления ДНК, РНК и АТФ, преобразуются в мочевую кислоту, тоже хранимую и используемую.

Как мочевина, так и мочевая кислота водорастворимы, нелетучие и непахнущие. Но живые клетки могут, в свою очередь, расщеплять их ради энергии и строительных материалов и в процессе производить азотные побочные продукты, являющиеся летучими и вонючими. Наипростейший из них — **аммиак**, первозданная молекула, обнаруживаемая в открытом космосе и вулканических извержениях, со знакомым **едким запахом кухонного моющего средства**. У нас есть эта ассоциация, потому что концентрированный аммиак хорошо растворяет жир и дезинфицирует. Затем есть группа родственных молекул под названием амины, название которых происходит от аммиака и относится ко всем аммиакоподобным молекулам, в которых один или два атома водорода в NH_3 заменены углеродом.

Мочевые, рыбные метиламин, этиламин, диметиламин и триметиламин — стандартные аминовые вариации, содержащиеся

в и на животных и выделяемые ими. Характеристики, ассоциируемые нами с этими веществами, берутся из того факта, что в повседневной жизни мы получаем ударную дозу аминов от расщепления мочевины и мочевой кислоты в моче, а также от морской рыбы. Рыба накапливает нелетучий амин, оксид триметиламина, чтобы противодействовать высокому уровню солености окружающей среды (см. с. 310). После того как рыба умирает, бактерии поглощают избыточный оксид ради энергии и в процессе вырабатывают летучий триметиламин.

Какими бы неприятными амины ни были, у них есть сильные конкуренты в борьбе за звание самых зловонных молекул на планете. В то время как у всех аминокислот есть один азот в аминогруппе, который в итоге может продуцировать аммиак и амины, несколько из них навьючивают более одного атома азота на каждую молекулу и продуцируют совершенно отличные летучие молекулы. Три из них были открыты и названы в 1870–1880 годах одним человеком, немецким врачом Людвигом Бригером, специализировавшимся на изучении химических процессов разложения и гниения, в особенности продуцируемых ими летучих и токсичных веществ. Незаурядное наследие!

Аминокислотный триптофан несет свой дополнительный азотный атом на боковой цепочке, созданной из двух слившихся вместе углеродных колец. Некоторые микробы могут освободить эту кольцевую часть и создать обособленную молекулу, идентифицированную до Бригера в древней и пахучей ферментации определенных растений, производящей темно-синий краситель индиго.



Пахнущий нафталиновыми шариками «химический» индол, названный в честь индиго, часто описывается как пахнущий фекалиями, но это неверно. Это определение принадлежит вариации индола, открытой Бригером, сохраняю-

* Воздух почти на 78% процентов состоит из азота.

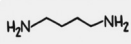
** Мочевина, она же диамид угольной кислоты, вполне активная молекула, вступающая в различные химические реакции.

щей один из цепочных углеводов в качестве ответа.



Фекальный скатол был впервые идентифицирован Бригером в его исследовании человеческих экскрементов и назван греческим словом для этого материала. Как говорит мой нос, скатол обладает сухим, резким запахом старого животного помета, возможно потому, что он сохраняется в течение долгого времени после того, как развеялись другие зловонные запахи. Он также может напоминать обуглившееся мясо, полагаю, потому, что интенсивное нагревание на гриле расщепляет часть триптофана в мясе точно так же, как это делают продуцирующие скатол микробы. Изумительно для такого сильно «органического» запаха, скатол был обнаружен среди летучих молекул, производимых чисто химическими реакциями в глубоководных горячих источниках.

Когда доктор Бригер провел исследование гниющего мяса, он обнаружил еще парочку противных летучих молекул, одна из которых, вероятно, наиболее универсально отталкивающая из них всех. Аминокислоты лизин и аргинин можно расщепить таким образом, что получаются прямые углеродные цепочки с азотным атомом на каждом конце.

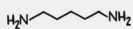


Слабо рыбный путресцин, четырехуглеродная цепочка, на деле не такой уж и гнилостный. Подвергнувшись влиянию воздуха, он быстро окисляется и образует более пахучее кольцевое сое-

динение, **пирролин**, содержащееся и пахнущее человеческой спермой.



Пирролин*** — также важная летучая молекула в запахе человеческой кожи и телесных отходах после того, как они вступают в контакт с разведенным хлорным отбеливателем (окисляющим аминокислоту пролин до пирролина), а также в аромате **вареной кукурузы**.



Тухлый, пахнущий гниющей плотью кадаверин — пятиуглеродная цепочка, уместно названная в честь термина, обозначающего труп. Он действительно тошнотворный, сильно отталкивающий для ряда животных.

Хотя путресцин и кадаверин ярко выражены в разлагающихся животных тканях, их следы также содержатся в живых животных телах, в сперме и в слюне, некоторые вырабатаны как побочные продукты стандартного метаболизма, некоторые — микробной активностью. Мы обнаружим их в и на самих себе. Но если одна-единственная молекула может считаться универсальным признаком животной смерти, то это — кадаверин.

РАЗОБРАННЫЕ НА СОСТАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЖИВОТНЫЕ: БУКЕТ СМЕРТИ

Может, кадаверин и является его крупнейшей составляющей, но смрад смерти, сильнееший из животных неприятных запахов, состоит из

Некоторые аммиачные, рыбные, тухлые запахи расщепления белков и пурина

Запахи	Молекулы
аммиак	аммиак
старая рыба, моча	метиламин, этиламин, триметиламин
нафталиновые шарики	индол (азотно-углеродное кольцо)
сухие фекалии, обуглившееся мясо	скатол (азотно-углеродное кольцо)
гниющая рыба	кадаверин (азотно-углеродная цепочка)
сперма	путресцин (азотно-углеродная цепочка), пирролин (азотно-углеродное кольцо)

*** Существует три изомерные формы пирролина. Представлена формула лишь одного из них.

многих летучих молекул, выработанных многими агентами. Один простой фактор в его отвратительности — это его насыщенность; убавьте громкость до едва заметного намека, и тот же самый набор летучих молекул в минимальных количествах — запах живого животного тела. Когда животное умирает, его собственные оставшиеся без руководства энзимы начинают расщеплять его ткани, микробы пробираются внутрь, кормятся и вырабатывают метаболические отходы; мухи и жуки, привлеченные всеми этими летучими молекулами, откладывают яйца, из которых вылупляются голодные личинки, вырабатывающие свои собственные отходы, и в конце концов твердая плоть превращается в жидкость. Занимающий дни процесс, чей омерзительно видимый прогресс вы можете посмотреть в сжатой до минуты-двух форме во множестве онлайн-видео. Смерд охватывает стандартный стартовый набор общего метаболизма — спиртовой, резкий, прогорклый, сырный, травяной и фруктовый — вместе со всеми животными особенностями расщепления белков и пурина, которые преобладают. Запах развивается, как обнаружили химики-криминалисты, каталогизировав летучие молекулы, испускаемые животными телами на протяжении часов, дней и недель. Такая устрашающая информация помогает следователям установить, как долго жертвы преступлений и катастроф были мертвы.

Есть надежные свидетельства того, что кадаверин и его собратья-амины — ключевые ингредиенты в смерде смерти, специальный соус, делающий его таким противным и отталкивающим, каким он и является для многих животных (но не для питающихся падалью насекомых, или падальщиков типа стервятников, или достаточно голодных людей). Начнем с того, что эволюция наделила многих животных, от рыб до людей, специальным набором рецепторов, отличных от обычных обонятельных рецепторов, под названием «рецепторы следовых аминов (trace amine-associated receptors), или TAAR». Они выявляют разнообразные амины, включая

триметиламин, кадаверин и путресцин. В лабораторных экспериментах рыбки данио-рерио уплывают прочь, если к ним в аквариум поместить мертвую рыбу, и делают то же самое, если мертвую рыбу заменить источником чистого кадаверина. Когда лабораторная крыса умирает, ее соседи по клетке будут игнорировать ее несколько дней, прежде чем попытаются похоронить ее в подстилке. Но они похоронят ее немедленно — и сделают то же самое с деревяшкой, — если оба эти объекта опрыскать небольшим количеством путресцина и кадаверина. TAAR, реагирующий на кадаверин, возможно, первоначальный детектор смерти среди позвоночных животных.

Столкновения со смердом смерти относительно редки в современном индустриальном мире, до такой степени, что об этом пишут в газетах, когда запах приводит к неожиданному обнаружению трупа. Сырое мясо — плоть мертвых животных, но с ним обращаются так, чтобы минимизировать разложение, и оно обычно обладает лишь едва заметным запахом до тех пор, пока его не приготовят, сильно разбавленный коктейль летучих молекул в основном от расщепления жиров. Большое исключение из этого правила — рыба, чье тело разлагается гораздо быстрее, чем тело наземного животного, как результат ее жизни в воде, как мы увидим в главе 15. Триметиламин — одна из наших главных обонятельных вех, знакомая не только по рыбе, докам и пляжам, но и по нашим собственным телам (см. с. 98).

Исследователь запахов легко может получить представление о смерде смерти. Положите кусок сырого мяса в пустую банку, закрутите крышку и оставьте ее в неохлажденном месте. Через несколько дней приоткройте крышку на щелочку и осторожно нюхайте. Запах будет не совсем такой, как у целой туши, чье разложение включает в себя гораздо больший набор существ и создает куда более густое *ragu*. Но он будет довольно-таки отталкивающим.

АНАЭРОБНЫЕ ЖИВОТНЫЕ ВНУТРЕННОСТИ

Хватит про запахи смерти! Однако же наиболее ярко выраженные и знакомые запахи активной животной жизни лишь чуточку менее неприятны. Просто представьте запахи подстилки для домашних животных, зоопарков, конюшен, загонов для откорма скота, свиноферм. Все они проистекают из одной определяющей черты животной жизни: ее зависимости от других форм жизни для питания.

Базовая стратегия поглощения других форм жизни наделила животных очень специфической топологией тела. У животных есть внутренности, кишки, камера, где держится их пища, пока она разбирается на строительные элементы углеводных цепочек. Когда оплодотворенная яйцеклетка многоклеточного животного начинает развиваться в эмбрион, одним из первых происходит то, что масса клеток складывается, формируя внутреннее пространство, будущую пищеварительную систему. Это внутреннее пространство вскоре становится домом для множества других клеток: одноклеточных микробов, существующих везде и легко приспосаблиющихся. Их количество в кишечнике превосходит количество клеток собственного тела животного.

Сейчас кажется вполне вероятным, что у всей многоклеточной жизни на Земле есть наружные и внутренние микробиомы, изменчивые сообщества одноклеточных существ, разделяющих ресурсы со своим хозяином. Поскольку они размножаются, приспосабливаются и развиваются гораздо быстрее, микробы помогают существам справляться с изменяющимися условиями, и они выполняют полезные функции, которые могут никогда не развиться у их хозяев. Существа от термитов до коров и людей зависят от больших кишечных сообществ для переваривания различных пищевых молекул, выработки витаминов и защиты от других микробов, вызывающих болезни. Некоторые биологи предполагают, что важный пункт в животной (и, возможно, растительной) эволюции не какой-то кон-

кретный вид, а этот вид вместе с его сообществом микробных партнеров, чьи гены вносят существенный вклад в приспособляемость команды.

Присутствие внутренней камеры с микробами имеет важное последствие для животного метаболизма и животных запахов. Как все живые существа, животные клетки строят и расщепляют молекулы сложных углеводных цепочек, и их базовый аэробный метаболизм в основном вырабатывает оксид углерода (IV) и воду. По ходу дела они также производят следы разных летучих молекул углеводных цепочек, с которыми мы повстречались в конце прошлой главы, простых углеводов, спиртов, альдегидов, кетонов и кислот, вносящих свой вклад в обонятельный гул жизни, ее дымовые выбросы.

Но, хотя сами животные используют для своего метаболизма кислород, их внутренности изолированы от аэробного мира. Они лишены кислорода, анаэробны, как Земля была до фотосинтеза. И животные внутренности, столь набитые остатками других существ, готовыми к расщеплению, и богатыми белками выделениями, и отвалившимися клетками собственной внутренней оболочки кишечника животных, являются раем для анаэробных микробов. В ходе того, как эти микробы вырабатывают энергию для самих себя, они выбрасывают типичные побочные продукты анаэробного метаболизма, молекулы, с которыми мы уже столкнулись в космосе и на ранней Земле — резкие, сырные и прогорклые кислоты, сернистый сульфид водорода и метантиол, — вместе с особо зловонными продуктами расщепления белков.

Животное тело может поглощать некоторые из этих молекул и применять их с пользой, но некоторые остаются заключенными в смеси неперевариваемых пищевых материалов и массе из триллионов микробных клеток. Чтобы не дать остаткам пищеварения, метаболизма и микробной жизни скапливаться внутри и мешать его постоянному функционированию и движению, у животного тела есть система для избавления от них. Извергаемые твердые

отходы, животные экскременты, — насыщенный источник анаэробных летучих молекул, в основном определяющий наш опыт живых животных и их запахов.

ОТПРАВКИ ИЗНУТРИ: ЭКСКРЕМЕНТЫ

Когда я рос в пригороде Чикаго в 1950-х годах, то после воскресных обедов, основным блюдом которых часто был ростбиф с кровью, мои родители брали всех четырех детей покататься на машине за городом. Мы испытывали отвращение от запахов молочных ферм и не верили в то, что, как с радостью настаивал отец, наш вкусный обед мог произойти от этих животных. У нас была мантра для момента, когда мы только-только уловим запахок: «Говядина от коровы? ПФУУУ!»

Позже я узнал, что мы повторяли древнее восклицание по поводу чего-то гнилого и воняющего, индоевропейский корень *pu*, от которого произошли *putrid* (тухлый) и *putrefy* (гнить). Животные экскременты обычно нам отвратительны. Но это, судя по всему, реакция, которой мы научаемся, не автоматический биологический рефлекс. Маленьких детей не оттапливают экскременты, и многие млекопитающие практикуют копрофагию, или поедание экскрементов, включая некоторых из наших сородичей-приматов. В своей книге 1983 года «Гориллы в тумане» Дайан Фосси отметила, что гориллы всех возрастов были замечены за поеданием испражнений, своих и чужих, свежих прямо из источника: животные «ловят кусок испражнений одной рукой до того, как он упадет на землю. Затем они впиваются зубами в кусок и, жуя, причмокивают губами с очевидным наслаждением». Кролики и некоторые другие травоядные животные получают необходимый им витамин B12, стандартно поедая пищу дважды, второй раз — после того, как ее остатки были обогащены их кишечными микробами. В результате исследований кроликов и мышей было обнаружено, что присутствие их выделенных катышков в клетке способствует снижению

агрессивного поведения, замедлению скорости биения сердца и оказанию «позитивного, успокаивающего» эффекта, возможно потому, что они предполагают нечто знакомое и, таким образом, безопасность.

Мало кто из приматов человеческого племени когда-либо причмокивает губами, чую запах животных экскрементов, и многие находят их всецело отвратительными на близком расстоянии в замкнутом пространстве, что подтвердила газетная статья Associated Press в 2014 году, изданная в Филадельфии: «Перелетающий через территорию страны самолет вынужден был совершить внеплановую посадку, когда собака-поводырь дважды нагадила в проходе, запахом вызвав у пассажиров тошноту». Ученые, действительно выбирающие изучать животные экскременты и их летучие молекулы, делают это, по большей части, чтобы выяснить, как снизить отвратительность загонов для откорма скота и свиноферм. Но есть также контексты, в которых эти запахи менее отвратительные, по-своему приятательные, возможно даже успокаивающие, когда мы ассоциируем их с сельской местностью под открытым небом, конюшнями и маленькими фермами.

Запах экскрементов из пищеварительной системы животного возникает в основном из-за анаэробных микробов, процветающих в ее бедных кислородом нижних отделах. Микробы питаются пищевыми остатками, которые не были переварены и поглощены животным телом, а также остатками самого животного тела, в основном клетками, покрывающими изнутри пищеварительный тракт, которые постоянно отваливаются и заменяются, и богатой белками слизью, смазывающей его.

Физическая масса экскрементов может аж наполовину состоять из микробных клеток, и плотность микробов в нижнем пищеварительном тракте животных — одна из самых высоких из любой известной ниши на планете. Так что там внутри много чего происходит, и вся эта активность вырабатывает летучие молекулы. Сернистый сульфид водорода и метантиол почти всегда ярко выражены, потому что в ки-

шечнике животного обычно много окисленных соединений серы — все зеленые растения несут содержащие серу липиды, а кишечная слизь содержит сульфатные углеводы, — и анаэробы используют ее в качестве донора электронов, чтобы вырабатывать энергию. Два белковых побочных продукта в первую очередь являются символами экскрементов: пахнущий скотным двором крезол и фекальный скатол. Характерная фекальная смесь почти не уступает по способности перехватывать дыхание запаху животной смерти.

Некоторые животные экскременты обладают характерными составом и запахом, который можно проследить до конкретной диеты или метаболизма. **Лошадиные экскременты** менее отвратительны, чем многие, и были даже описаны как «сладкие» натур-философом восемнадцатого века Джорджем Чейни. Лошадь и ее микробы переваривают свою растительную пищу быстро и только частично, так что большая часть ее экскрементов — лишённые запаха волокна. Среди

летучих молекул преобладают углеродные кольца крезола и фенола, которые мы также встречаем в асфальте и дезинфицирующих средствах и которые, таким образом, могут казаться менее специфически фекальными. В противоположность этому, крупный рогатый скот наделен несколькими желудками, включая полный микробо́в рубец, и у них есть привычка отрыгивать содержимое рубца, чтобы еще раз пережевать его и извлечь максимум из своей растительной пищи. **Экскременты мясомолочного скота**, таким образом, богаты полным набором метаболитических летучих молекул. Всеядные **свиньи** получают часть своих питательных веществ из богатых белками животных материалов, и они выделяют экскременты, особенно богатые разветвленными кислотами, сульфидами и углеродными кольцами. По какой-то причине свиной кишечник и его микробиом заметно богаты пахнущим фекалиями скатолом, часть которого перемещается из кишечника и запасается в жировых тканях по всему

Запахи животных экскрементов

Экскременты	Составляющие запахи	Молекулы	Источники
большинства животных	сырный, рвота	масляная, пропионовая кислоты	микробы, метаболизирующие разные цепочки
	конские конюшни потные ноги сульфидный гнилые овощи	крезол метилмасляная, метилпропионовая кислоты сульфид водорода метантиол	микробы, метаболизирующие белки
	аммиак	аммиак	микробы, метаболизирующие белки и мочеви́ну/мочевую кислоту
свиней: добавочные запахи	сухие экскременты старая рыба	скатол, индол, триметиламин	микробы, метаболизирующие белки, мочевую кислоту
лошадей: основной запах	конские конюшни	крезол, фенол, индол	животный метаболизм; микробы, метаболизирующие белки
птиц (гуано): основной запах	аммиак, старая рыба	аммиак, амины	микробы, метаболизирующие мочевую кислоту

телу, где она может вносить свой вклад в особую «свинность» свинины.

Разумеется, есть второе важное животное выделение. **Моча** — это жидкость, которую животные выделяют отдельно от полутвердых остатков пищеварения, хотя они часто смешиваются друг с другом на земле. В ней в основном содержатся отходы собственного метаболизма животного, и, в частности, нелетучие азотосодержащие мочевины и мочевая кислота вместе с малыми количествами аминов. Моча практически лишена микробов до тех пор, пока она не покинет тело, но, как только это происходит, микробы кормятся на ее мочевины и мочевой кислоте и способствуют выделениям аммиака и аминов — отсюда и «мочевая» характеристика, которую мы приписываем этим летучим молекулам.

Птичьи экскременты обладают характерным и особо едким запахом, потому что они сочетают запахи пищеварительных экскрементов и азотных выделений. Вероятно, чтобы сберечь воду, большинство птиц помещают свои излишки азота исключительно в мочевую кислоту, которая гораздо менее растворима, чем мочевины, и, таким образом, может быть выделена в виде полутвердой пасты вместе с отходами из пищеварительного тракта. **Птичьи экскременты** — это, по сути, помет и моча, смешанные вместе. В них обычно преобладают аммиак и амины, вместе с углеродными и жирными кислотами.

ОТ НАВОЗА ДО ГУАНО И ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВ

Какими бы немедленно раздражающими они ни были, запахи животных экскрементов также признак по большей части неощутимого, но существующего кризиса для большей части жизни на Земле. Они напоминают о неизбежной перегруппировке материи и энергии, поддерживающей на ходу великую игру сложности. Смерд современных загонов для откорма скота сигнализирует о судьбоносном движении, благодаря которому Герой-Углерод

сумел подняться до новых уровней изобретательности, но ценой разорения большей части его достижений на сегодняшний день. Этим движением была организация углеродных цепочек в *Homo sapiens*, животных, способных мобилизовать материю и энергию в невиданных размерах и таким образом вредить изолированным экосистемам по всей планете.

У нас есть разные термины — вежливые и грубые — для обозначения экскрементов, один из них — waste (отходы), от корня, обозначающего «опорожнять» или «опустошать». По факту сильный запах животных экскрементов сигнализирует об их богатстве различными углеродными, серными и азотными молекулами и, таким образом, об их питательной ценности для других живых существ. Когда ранние фермеры открыли эту ценность тысячи лет назад, они сделали возможным долгосрочный успех сельского хозяйства, а с ним — развития цивилизации.

Должно быть, наши предки из каменного века были очень хорошо знакомы с запахами экскрементов. Охотники использовали эти запахи, как это делают другие хищники, чтобы обнаружить свою жертву. Собаки присоединились к человеческим сообществам где-то тридцать тысяч лет назад. Примерно десять тысяч лет назад первые оседлые сельскохозяйственные сообщества привлекли к использованию коз, овец, крупный рогатый скот и лошадей, чтобы пользоваться их молоком и мясом, шерстью и шкурами, а также их тянущей плуг мышечной силой. Археологически останки указывают на то, что их испражнения использовались в качестве строительных материалов и топлива для костра, и такие способы применения существуют и по сей день в менее индустриализованных частях мира, вместе с фумигацией для ликвидации нашествия насекомых и даже досугового мероприятия по метанию коровьих лепешек. Должно быть, запахи экскрементов насквозь пропитывали жизнь ранних фермеров.

В какой-то момент ранние фермеры также заметили, что, когда экскременты втаптывают в почву, они улучшают последующие рост и

урожайность пищевых культур, как мы знаем сейчас, поскольку они возмещают питательные вещества, поглощенные из почвы культурами, и оказывают положительный эффект на физическую структуру и биологическое разнообразие почвы. Археологи обнаружили, что организованное применение экскрементов на нивах началось по крайней мере семь тысяч лет назад в Греции и Центральной Европе. Поскольку эта практика медленно улучшает урожайность культуры и, таким образом, представляет долгосрочное инвестирование труда и ресурсов в почву, она, вполне возможно, вдохновила ранние идеи землепользования, владения и собственности. Само слово *manure* (навоз) в своем происхождении не имеет ничего общего с экскрементами: корни — латинские слова «рука» и «работать», и соединение этих двух первоначально означало «культивировать» или «владеть собственностью».

Так что запах **навоза** — экскрементов, приготовленных и использованных для удобрения почвы, — древний признак самых основополагающих форм ухода и культивации, труда и ценности, практики кормления почвы, чтобы она продолжала кормить нас. Он мягче, пассивней, менее агрессивный, чем свежие экскременты, обычно приготовлен путем смешивания экскрементов с конюшенной соломой и остатками пищи и заготовления его в течение некоторого времени, чтобы сделать его менее концентрированным и устранить болезнетворных микробов. Добавление содержащих малые количества азота материалов, воздействие открытого воздуха и метаболизм аэробных микробов — все вместе снижают уровни аммиака, аминов и сульфидов, хотя богатый азотом **куриный навоз** значительно сильнее пахнет аммиаком, чем коровий и воловий. Вот запахи, которые мы можем повстречать на фермах, в теплицах и хозяйственных магазинах, в наших собственных задних дворах. Не особо-то приятные, но позитивные.

Крайне неприятны и негативны сырые, некомпостированные, насыщенные запахи, источаемые **концентрированными**

операциями по кормлению животных (concentrated animal feeding operations), или **CAFOs**, в ходе которых на маленьком участке заключаются и выращиваются большие количества животных — сотни, тысячи, сотни тысяч, и за последние несколько лет эти практики добились лидерства в сфере современного мясо-молочного производства. В ходе них накапливаются огромные количества экскрементов, которые можно почуять издалека. Я живу в центральной Калифорнии и проезжаю по федеральной автостраде 5 мимо животноводческой фермы Харриса возле города Коалинга всякий раз, когда я путешествую между Сан-Франциско и Лос-Анджелесом. Даже с закрытыми окнами в машине я могу почуять ее задолго до того, как увижу. Там содержатся десятки тысяч мясного крупного рогатого скота, и каждое животное производит где-то 30 килограммов мочи и экскрементов в день. Современные комбикорма обычно содержат больше аммиака, чем животные получали бы от их натуральной растительной диеты, так что их экскременты особенно богаты самыми противными летучими молекулами, разветвленными кислотами, крезолом, скатолом, аммиаком и аминами.

Омерзительный запах животноводства индустриального масштаба — признак реальных опасностей, представляемых концентрированными экскрементами как для работников, так и для животных. Высокие уровни сульфида водорода и аммиака в закрытых помещениях могут быть сильно токсичны для глаз и легких. Скатол также содержится в сигаретном дыме, и известно, что он вредит легким. Метан легко воспламеняем — это основной компонент природного газа — и уже вызывал взрывы в CAFOs. Некоторых работников насмерть свалили пары экскрементов. Поскольку операторы CAFO зачастую избавляются от экскрементов как можно дешевле, сбрасывая их в отстойники для хранения под открытым небом или напрямую обрабатывая ими поля, даже соседи могут страдать от болезнетворных эффектов этих летучих мо-

лекул, а близлежащие почвы и водные пути могут быть сильно загрязнены.

Именно потому, что CAFOs противны и вредны, были так хорошо изучены летучие молекулы животных экскрементов. Безумно, но уместно, что химики заимствуют терминологию высоких, средних и базовых ноток парфюмерного мира (см. с. 379), чтобы описывать запахи CAFOs. Верхние нотки, очень летучие и быстро развеиваемые, — это аммиак и сульфид водорода. Более устойчивые средние нотки включают амины, тиолы и сульфиды, альдегиды, спирты и кетоны. Постоянно присутствующие базовые нотки — прямые и разветвленные кислоты с короткой цепью, крезол и другие феноловые, а также скатол. В исследовании 2006 года операций по выращиванию свиней и мясного крупного рогатого скота пахнувший скотным двором крезол был определен как основной неприятный запах и был обнаружен даже на расстоянии в десять миль (шестнадцать километров) с подветренной стороны. Вероятно, этот первый едва уловимый запах с дальнего расстояния я и чую на автостраде 5 от одеколона Коалинги.

Итак, запахи CAFOs — это запахи современного индустриального сельского хозяйства, отличные от навоза как по качеству, так и по значимости. Они все еще органические, манифестации базовых процессов живых организмов, но они запахи разрыва в системе, которая в природе и традиционном сельском хозяйстве возвращала материю и энергию из почвы в почву. Они запахи органической материи и энергии, изолированных и удержанных прочь от широкого цикла жизни на Земле.

Почему же CAFOs не компостируют экскременты в навоз? Потому что это не окупается. Химики начали разгадывать, какие компоненты навоза являются важными питательными веществами для растений, в девятнадцатом веке; а затем, в начале двадцатого века, немцы Фриц Габер и Карл Бош выяснили, как производить соли аммиака на заводах непосредственно из простого азота воздуха. Ключ: используя огромные количества хими-

ческой энергии, запасенной в остатках древних растений — угле, нефти или природном газе, — генерировать очень высокие температуры и давления. Так началась эра концентрированных химических удобрений, вносящая свой вклад в резкое увеличение сельскохозяйственной урожайности и, в свою очередь, резкое увеличение численности населения. В наши дни по всему миру использование искусственных удобрений превосходит навоз в соотношении где-то пять к одному, и они такие дешевые, что фермеры применяют их без всякой меры: примерно половина их совокупных питательных веществ не поступает в поля, на которых они применяются, а попадает в атмосферу или воды, стекающие с полей.

Изобретение и триумф искусственных удобрений оказались очень неоднозначным благом. Они поспособствовали стремительному развитию цивилизации и новых технологий для манипуляции материей, обоих средств, которыми Герой-Углерод сотворил более сложные формы и организации беспрецедентного размаха. Но они также лежат в корне значительного вреда сложному биологическому миру, изначально сделавшему возможной человеческую жизнь. Переработка сельскохозяйственных полей, уничтожение все большей и большей площади диких местностей ради того, чтобы прокормить и приютить наши миллиарды, бесчеловечное обращение с животными, загрязнение почвы, воздуха и воды, нарушение энергетического баланса между Землей и Солнцем, вызвавшее глобальные климатические изменения, смрад CAFOs является символом всего этого. Это запах, о котором следует задуматься каждому, кто хочет знать, как работает наш мир и как он не работает.

Есть одна особо пахучая форма животных экскрементов, соединяющая навозные тысячелетия с искусственными веками. **Гуано** — термин, в наши дни повсеместно применяемый к экскрементам птиц и летучих мышей, но это слово происходит из кечуанского языка древнего Перу, где им называли чрезмерно богатые азотом и фосфатом залежи экскре-

ментов питающихся рыбой морских птиц — бакланов, пеликанов и олуш — на островах у берега Перу. Они такие концентрированные из-за богатой белками животной диеты птиц и сухого климата, который высушивает экскременты, при этом минимизируя превращение мочевой кислоты в аммиак и амины, которые в ином случае испаряются. Гнездясь на островах в течение столетий, птицы создали залежи гуано глубиной до 30 метров, которые добывались кечуанскими народами в течение где-то 1500 лет. Отчет 1841 года Английского королевского сельскохозяйственного общества отметил: «От острова с гуано у города Арико тянется такой смрад, что он не дает судам встать на якорь возле города».

Торговля гуано расцвела в девятнадцатом веке. Историки предполагают, что она помогла стимулировать повсеместное применение почвенных питательных концентратов в европейском и американском сельском хозяйстве и снижение продуктивного использования экскрементов сельскохозяйственных животных, ставших загрязняющими отходами, какими они сейчас часто являются. Гуано все еще добывается в некоторых регионах мира. Как-то я купил мешок, чтобы понюхать аммиак и рыбные амины, возможно, некогда бывшие мышечными молекулами, несущими серебристую рыбу через океаны года, может, века назад. Затем я вернул их материю и энергию в игру сложности, идущую в моем огороде и во мне.

ЗАПАХИ ПИТОМЦЕВ: НАРУЖНОЕ ЖИВОТНОЕ

В завершение нашего тура по характерным животным запахам — источник, наконец-то включающий приятные: наши собаки и кошки! Не их клетки или лотки, но их поверхность, к которой мы часто с удовольствием прижимаемся носами. Они — наши компаньоны, делающие нас счастливыми, и их запахи комфортно близки нашим. Мы все млекопитающие, с похожими телесными структурами и системами, испускающими тот же

самый летучий гул теплокровного аэробного метаболизма и являющимися домом для тех же самых наружных микробиомов. Ученые пока что не изучали запахи питомцев достаточно детально. Но мы можем сделать выводы из того, что они открыли о животных в целом и о человеческом животном в частности.

Тело млекопитающего покрыто кожей, наружной границей и поверхностью контакта с остальным миром. Кожа состоит из нескольких слоев. Наружный слой, эпидермис, состоит в основном из жесткого белка, кератина, и похожих на жидкое масло липидов, помогающих сделать его водонепроницаемым. В кожу глубоко погружены кератиновые волоски, помогающие поддерживать температуру тела и защищать кожу от воды. И кожа, и волоски поддерживаются упругими и влажными благодаря секретам из нескольких разных видов желез. Некоторые вырабатывают восковые, маслянистые молекулы, смазывающие кожу и волоски и помогающие им удерживать влагу. Некоторые вырабатывают в основном охлаждающую воду вместе со следами солей и сахаров; у собак эти потовые железы размещены на носу и лапах. И некоторые железы вырабатывают более богатую смесь аминокислот, мочевины, и липидных, и других молекул; они расположены в основном у собаки на голове, в основании хвоста и анальной области.

Итак, кожа и шерсть млекопитающих покрыты пленкой телесных жидкостей. Сама пленка обладает характерным, но мягким запахом. Его источник — следы молекул базового метаболизма тела, достаточно малых, чтобы быть летучими, а также фрагменты углеводных цепочек, получаемых, когда кислород в воздухе и ультрафиолетовое излучение солнца расщепляют молекулы длинных цепочек. Судя по тому, что известно о летучих молекулах нашей собственной кожи, большинство этих продуктов метаболизма и фрагментов — альдегиды и кетоны с цепочками средней длины, обладающие приятно восковыми, сладкими, цветочными, похожими на растворитель характеристиками. Именно они, вероятно, и составляют букет

только что выкупанного, ненадушенного питомца.

Этот первоначальный букет быстро развивается во что-то менее приятное, когда микробы растут и вносят свой собственный вклад. Кожа наших питомцев предоставляет целый ряд разных экологических ниш микробам, и чем более они влажные и защищенные, тем более населенными и пахучими они, по всей вероятности, станут. Рот — микробный рай, с постоянным запасом влаги и остатков пищи, так что у питомцев может развиваться бактериальное несвежее дыхание точно так же, как и у нас, с летучими молекулами, в числе которых преобладают продукты расщепления белков — сульфиды, разветвленные кислоты, путресцин и кадаверин. Вне рта ушные каналы, чешуйки кожи и волосные фолликулы предоставляют укромные уголки как для аэробных, так и для анаэробных микробов, лакомящихся питательным потом, богатой белками слюной, попадающей туда, когда животные вылизываются, случайно залетевшими осадками экскрементов из их анусов и анальных мешков (кислоты с короткой цепью, триметиламин) и чем угодно, в чем могут вывалиться животные. В то время как микробы процветают, они генерируют те же самые виды летучих фрагментов углеродных цепочек, что наполняют внутренности животного и его выделения. И в этом-то направлении и развиваются запахи кожи и шерсти животного, особенно на голове и лапах: в направлении более сильных, менее приятных продуктов наружного микробиома. Как было обнаружено, собаки в особенности накапливают разветвленную метилмасляную кислоту, с ее сырными, потными характеристиками.

Питомцы особенно сильно пахнут, когда они промокают, попав под дождь или поплавав. Влажность не только особенно располагает к микробному росту и общим химическим реакциям, но молекулы воды фактически увеличивают летучесть летучих углеродных цепочек, вытесняя их из белковых волокон шерсти и выталкивая их в воздух. Так что запах **мокрой псины** — это усиленный запах ее

несметного числа наружных прилипал, в котором обычно преобладают сульфиды, метилмасляная кислота и кольца фенола и крезоло. Он достаточно знаком, чтобы стать знаковым запахом. Термин «мокрая псина» символизирует неприятную смесь летучих молекул неуправляемой микробной активности во влажных материалах и процессах всех видов, от ковров и гипсокартона до прачечной и посудомоечных машин, до вина и пива.

И есть еще запах **собачьих лап**, которые, как и наши собственные ноги, предоставляют микробам изобилие влаги, пищи и защитных кожных складок и которые, таким образом, имеют тенденцию генерировать сильные запахи. Но эти запахи могут быть на удивление приятны. В интернете есть страницы посвященных им постов. Самое частое описание их характеристики странное и специфическое: говорят, что они напоминают кукурузные чипсы.

Неудивительно, что я не сумел найти никаких исследований с экспертной оценкой на тему летучих молекул собачьих лап! Но это всеобщее согласованное мнение указывает на вероятное присутствие летучей молекулы под названием **аминоацетофенон**, шестиуглеродного кольца с «украшениями» из амина и ацетата. Аминоацетофенон вносит крупный вклад в аромат не только кукурузных чипсов, но также винограда, клубники, липового цветочного чая и каштанового меда. Это также диагностический показатель присутствия конкретной бактерии, *Pseudomonas aeruginosa*, которая может вызывать серьезные инфекции как у собак, так и у людей. Однако этот микроб склонен продуцировать летучие молекулы, находясь в относительно безвредном режиме выживания, а не в агрессивном инфекционном. Виды *Pseudomonas* часто населяют почвы, воды и даже воздух — считается, что они вносят вклад в формирование кристаллов льда в облаках. Так что, хотя запах кукурузных чипсов может быть приятным и забавным, это также напоминание о невидимых множествах существ, прицепившихся к этим лапам, некоторые из которых ждут

случая, чтобы инфицировать царапину или порез. Если запах сильный, вероятно, пора подумать о купании.

Запахи питомцев позволяют облегчить привычный поток летучих молекул животного тела и того, что они декларируют, — суровой материальной реальности жизни, существующей в живом организме. Здесь, в конце главы, вы можете задаться вопросом: зачем тратить столько много страниц на такую пакость? Зачем предлагать способ того, как исследователь запахов может понюхать смерть?

Некоторое время назад я увидел интригующее толкование Роберто Калассо пассажа из древнего текста на санскрите «Шатапатха-брахмана», где говорится, что запах смерти скота первоначально произошел от сомы, божественного напитка бессмертия, так что «не следует зажимать нос от этого противного запаха, поскольку это запах царя Сомы». Здесь смрад смерти — каким-то образом запах состояния, выходящего за пределы земного существования, и его следует принимать, а не отгораживаться от него. Менее парадоксальная современная формулировка

может звучать так: животные летучие молекулы, вызывающие у нас отвращение, — действительные, материальные манифестации фундаментального аспекта животной жизни: ее конца. Они — мощное свидетельство того, что делает возможным живой мир и ведет его, безжалостной охоты за энергией и материей, которая питает животную жизнь и в конце концов поглощает ее. Хотя мы инстинктивно задерживаем дыхание, чтобы изолировать отталкивающие запахи, мы также можем выбрать открыться, выпустить их и проявить интерес к их значению.

Хватит об общей жизни и судьбе животного тела. Есть куда менее мрачное, куда более разношерстное измерение животных запахов для исследования. Многие животные активно производят специальные летучие молекулы, выделяющиеся из их характерных телесных запахов. Некоторые из этих знаковых запахов чрезвычайно отталкивающие, в то время как другие используются в продуктах и изысканной парфюмерии! Летучие сигналы кошек, скунсов, бобров и жуков — в следующей главе.

Некоторые запахи собак

Составляющие запахи	Молекулы	Источники
травяной, восковой, сладкий, фруктовый, цветочный	гексаналь, гептаналь, октаналь, нонаналь, деканаль, бензальдегид, дамасценон, нонанон	кислородное, ультрафиолетовое расщепление кожного сала
«мокрая псина», потный, сырный, фекальный, медицинский, землистый	метилмасляные кислоты, диметил трисульфид, крезол, фенол	микробы, метаболизирующие кожные и волосные белки, липиды
кукурузные чипсы	аминоацетофенон?	бактерии <i>Pseudomonas</i> , метаболизирующие кожные белки?

ГЛАВА 5.

ЖИВОТНЫЕ СИГНАЛЫ

*В прошлом месяце я отправился в горную местность на севере нашей [бразильской] провинции, Сан-Бенту, в верховье Риу-Негру. Эта поездка принесла весьма неплохую добычу, но почти исключительно представляющую интерес только для лепидоптерологов. Часто там был [парусник] *Papilio grayi*. . . самца которого можно назвать «цветком воздуха» за его запах. Следующий за ним аромат такой сильный и пряный, что я нес бабочку в руке, словно цветок, чтобы время от времени нюхать ее.*

Фриц Мюллер, «Blumen der Luft» («Цветки воздуха»), 1878 год

Некоторые животные обладают таким же приятным ароматом, как и цветы! Немецкий биолог Фриц Мюллер прожил в южной Бразилии большую часть своей жизни, переписывался с Чарлзом Дарвином и другими именитыми коллегами того времени и внес ощутимый вклад в наше понимание поведения насекомых. Этот образ бабочки как летающего цветка, *Blume der Luft*, первоначально возник из-за внешнего сходства, и добавленное Мюллером чувственное измерение освещает аспект животных запахов за пределами остатков молекулярных моторов и внутренностей. Существа в движении нуждаются в способности находить и быть найденными другими представителями своего вида. Они могут сделать это, а также предупредить или отпугнуть хищников, за счет целенаправленного испускания летучих молекул в качестве сигналов, точно так же, как это делают цветы. Они могут быть такими же едкими, как слезоточивый газ, но также цветочными, фруктовыми, пряными. По факту животные, возможно, первоначально помогли подвигнуть растения испускать цветочные, фруктовые и пряные молекулы.

Обитающие на Земле животные обладают чувствами дальнего действия, чтобы следить за тем, что происходит вокруг них, когда они

двигаются через мир. Обоняние, зрение и слух помогают животным находить пищу и половых партнеров и избегать того, чтобы самим стать пищей. Обоняние достаточно сильно само по себе, так что многие животные полагаются больше на него, чем на зрение. Оно может обнаружить присутствие пищи, друзей и врагов, когда зрение не может, ночью или когда они спрятались поблизости или на некотором расстоянии. Обоняние играет роль сенсорного историка и футуролога, когда оно ведет одно животное от того места, где другое было некоторое время назад, до того места, где оно будет находиться.

Выделения животных — нечто вроде произвольного сигнала и в этой роли готовое средство, при помощи которого они могут общаться с друг другом. Мы начнем с них и удивительной изощренности кошачьей мочи, затем перейдем на сигнализирующие материалы в таких специализированных телесных секретах, как скунсовая струя и олений мускус, козье молоко и овечий ланолин. Мы закончим самыми разнообразными и влиятельными из животных производителей ароматов — летающими цветками, клопами-белостомами и их собратьями-насекомыми.

СИГНАЛИЗИРУЮЩИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ: САДОВЫЕ РЕПЕЛЛЕНТЫ, ОХОТНИЧЬИ ПРИМАНКИ

Когда животное выводит экскременты и мочу из своего тела, эти пахучие материалы выдают его присутствие. Аналогичным образом летучие молекулы экскрементов — готовое средство, при помощи которого животные могут сигнализировать о своем существовании и близости, чтобы привлечь внимание возможных половых партнеров или заставить потенциальных конкурентов двигаться дальше. Они могут нести значения и сообщения. Таким образом, многие животные практикуют запаховое мечение: намеренное отложение летучих материалов, чтобы пометить территорию, утвердить доминацию, сообщить о своей готовности половому партнеру. Мы видим это в действии всякий раз, когда собаки задирают лапы, чтобы помочиться на обноханные стволы деревьев и фонарные столбы. В дикой природе некоторые животные оставляют и обновляют свои экскременты в заметных местах, известных как отхожие места. Некоторые дают себе труд разместить свои пахучие метки высоко над землей, где они будут более заметны на расстоянии; обыкновенные лисы, панды и африканские кустарниковые собаки мочатся или испражняются, выполняя стойку! В число наиболее продуктивных производителей экскрементов входят выдры, чьи отложения могут производиться десятки раз в день и имеют в английском свое собственное название: *spraints* (помет выдры).

Моча — хорошее средство для послания сообщений, чем твердые экскременты, которые производятся в основном остатками пищи и микробами в пищеварительной системе. Летучие молекулы мочи происходят непосредственно из собственного тела животного и его сложного метаболизма, не измененные микробами до тех пор, пока она не попадет на землю. Так что летучие молекулы мочи предоставляют относительно прямой отчет этого метаболизма и могут нести информацию о

поле, готовности к спариванию, возрасте, здоровье и диете животного. Ученые обнаружили, что моча грызунов может изменить поведение соседей по клетке различными способами: она может переполошить их, увеличить индикаторы стресса, помочь им узнать сородичей, ускорить или замедлить их половое созревание и сподвигнуть к сексуальной активности. Где-то два десятка летучих молекул были идентифицированы как предполагаемые феромоны — химические сигналы, вызывающие определенное поведение членов того же вида, и в различных химических классах, среди которых амины, серные соединения и стероидные гормоны. Химическое общение посредством мочи было изучено у животных от мышей до тигров и слонов, некоторые из которых, включая самцов слонов и козлов, доходят до того, что «помазывают» себя своей собственной мочой, когда они готовы спариваться.

Садоводам часто приходится иметь дело с различными разрушительными проявлениями интереса со стороны таких животных, как олени, кроты, еноты и суслики или другие грызуны. Самый гуманный способ разобраться с ними — убедить их уйти куда-то еще, и животные репелленты разработаны как раз для выполнения этой задачи за счет их летучих молекул. Частый ингредиент — «тухлое яйцо», пахнущее животной смертью и разложением, предположительно притягательное только для падальщиков. Для некоторых репеллентов формула была сведена к запахам тел хищников: в интернете вы можете найти и купить сильно мочевую-рыбную мочу койота, волка, рыси, кугуара и лисы. Вероятно, активный ингредиент в них всех — характерная комбинация углеродного кольца и амина, фенетиламина, рыбного, как и большинство аминов, который, согласно исследованию 2011 года, куда более значительно изобилует в моче хищников по сравнению с другими животными и который сам по себе заставляет крыс и мышей избегать обработанного им угла их клетки. Более необычная молекула в лисьей моче, кольцо с атомами как азота, так и серы под названием тиазолин, тоже была

определена как репеллент от грызунов. Эта закономерность имеет смысл: диета хищников изобилует белком, и у них, вероятно, более высокий уровень азота в моче. А летучие молекулы аминов, активирующие рецепторы TAAR, вероятно, инстинктивно настораживают уязвимых животных, точно так же, как это делает ассоциируемый со смертью кадаверин (см. с. 69).

Охотники хотят привлечь животных, а не отпугнуть их. Они тоже могут погуглить онлайн и найти такие полезные выделения, как «олениха на охоте» или «олениха эстральная», моча оленей в их фазе готовности к спариванию, когда они продуцируют смесь летучих молекул, отличную от смеси самцов или не готовых к спариванию самок. Одна летучая молекула, обнаруженная в моче готовых к спариванию оленей, этилфенол, — близкий родственник углеводорода с бензольным кольцом — крезол, который в больших количествах выделяют в моче готовые к спариванию кобылы и который вызывает эрекцию у жеребцов. Неудивительно, что как крезол, так и этилфенол описывают как пахнущие конскими конюшнями или скотным двором.

КОШАЧЬЯ МОЧА — «ВИЗИТКА»

Возможно, самые знакомые животные сигналы в мире испускает моча его сотен миллионов домашних и диких кошек. Очень характерный неприятный запах кошачьей мочи имеет большое значение не только в мире кошачьих: это также символ для специалистов по винам и блюдам, к которому они обращаются, описывая ароматические нотки вина совиньон блан и черной смородины. Кошачья моча на удивление хорошо изучена, по большей части потому, что ее характерные летучие молекулы не просто случайные побочные продукты белкового метаболизма. Они специально вырабатываются для подачи сигналов. И они действительно также содержатся в винах и продуктах.

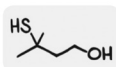
В исследовательской работе 2014 года группа химиков из швейцарской ароматиче-

ской компании Firmenich обобщила ранние анализы летучих молекул кошачьей мочи, добавила свои собственные новые детали и отметила, где еще мы можем с ними повстречаться. Взрослые самцы кошачьих крайне любят распыскивать мочу, чтобы пометить свою территорию, и у их мочи самый сильный запах; кастрированные самцы и самки распыскивают мочу не в таких количествах и не столь зловонно. Свежая кошачья моча относительно безобидна, но со временем запах становится все сильнее и сильнее: это важная черта для территориальной метки, поскольку летучие материалы обычно становятся слабее, когда их молекулы рассеиваются в воздухе. Оказывается, что коты изобрели умную систему пролонгированного высвобождения, постоянно вырабатывающую новые летучие молекулы в течение нескольких дней.

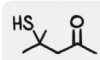
Чтобы заправить эту систему, кошачье тело, вероятно, печень, использует белковые строительные элементы, чтобы синтезировать несколько сложных, но нелетучих молекул, предшественников летучих молекул. Затем оно выпускает их в кровь, откуда они абсорбируются почками и выделяются в моче. В почках и моче специальный энзим подрезает сложные предшественники до более простых молекул. Первый открытый и наиболее известный из простых предшественников был назван фелинином. Когда кот выпускает струю и моча подвергается воздействию воздуха и земли, бактерии колонизируют мочу, размножаются и постепенно расщепляют фелинин и другие молекулы-предшественники на маленькие фрагменты, некоторые из которых и являются теми самыми летучими молекулами, дающими моче ее стойко сильный запах.

И что же это за летучие молекулы, делающие кошачью мочу такой пахучей? Почти все из них содержат атом серы, и многие — серно-водородную тиоловую группу, что роднит их с простым и мощным метантиолом, образующимся в открытом космосе и пахнущим гниющими овощами. Когда химики из Firmenich изолировали эти летучие молекулы

и понюхали их индивидуально, **метилсульфанилбутанол** и еще одна имели мочевой и кошачий запах.



Но другие предполагали менее зловонную элементарную серу, приготовленное мясо и лук, капусту, спаржу, тропический фрукт и цитрус! И, когда они заглянули в химическую литературу, чтобы посмотреть, где еще были определены эти серные молекулы, они обнаружили, что все эти молекулы появляются в каких-либо продуктах, даже ключевые мочевые кошачьи летучие молекулы, вносящие свой вклад в аромат манго, вин, хмеля и других вкусяшек.



По крайней мере одна из них, «**кошачий кетон**», синтезируется для использования в качестве ароматической добавки в пищевой промышленности.

Хотя она и зловонная, кошачья моча заслуживает внимания исследователя запахов. Она демонстрирует искусство животного метаболизма в изобретении сигнала, который испускается только тогда, когда выделение высвобождается и используется микробами, системы, которой пользуются многие животные, от мышей до слонов. И она намекает на более нюансированные роли и запахи серных летучих молекул, вырабатываемых живыми организмами, а также на общности веществ и стратегий жизни. Коты вырабатывают кошачий кетон, чтобы привлечь внимание других котов; фрукты вырабатывают его и другие мо-

лекулы, чтобы привлечь внимание животных, разносящих их семена. И, как мы увидим в следующей главе, у человека есть своя версия системы кошачьей мочи, как бы мы ни старались ее скрыть.

СИГНАЛИЗИРУЮЩИЕ СЕКРЕТЫ: СКУНОВАЯ СТРУЯ, МУСКУС, БОБРОВАЯ ПАСТА

Экскременты и моча — два средства, при помощи которых животные могут посылать сигналы сородичам, потенциальным половым партнерам или соперникам. Множество, возможно, большинство животных придумали третье средство: специальные материалы, которые они заготавливают и высвобождают с основной целью общения. У млекопитающих эти секреты — восковые, пастообразные материалы, вырабатываемые в специализированных кожных железах и испускаемые отдельно от выделений. Пахучие железы млекопитающих обычно находятся возле ануса, где они могут добавить слой информации к экскрементам, когда те выводятся, но они также могут пометить объект или другое животное, когда животное трется об него своим анальным регионом. Они помогают пометить территории, которые могут занимать много квадратных миль (медведи) или одно-единственное дерево (опоссумы), а также часто используемые тропинки или гнездовые участки в неисключительных «домашних террито-

Некоторые запахи кошачьей мочи

Составляющие запахи	Молекулы	Также содержатся в
моча, кошачий	метилсульфанилбутанол (из фелинина)	кофе, вино
мясной, жареный лук, скусновый	метилтиоэтанол	вино
кошачий, фруктовый	метилсульфанилпентанон («кошачий кетон»)	черная смородина, манго, цитрус, вино Совиньон Блан, хмель
серный, капуста, тропический фрукт	метилтиобутанол	сыр, мясо
черная смородина	метилбутилсульфанилформиат	пиво, кофе

риях» (члены семейства оленевых). У многих животных есть несколько наборов пахучих желез, которые часто находятся рядом с гениталиями, хвостом, лапами или мордой.

Большинство млекопитающих, включая наших домашних собак, не слишком-то креативны со своими железистыми запахами. Они просто наполняют железы белками и жирными материалами, которыми будут кормиться анаэробные микробы, и те вырабатывают обычные животные кислоты с короткими и разветвленными цепями, амины и сульфидные летучие молекулы. Но из этого правила есть несколько интригующих исключений.

Самый противный из них и единственное млекопитающее, с чьими пахучими железами многие люди сталкивались непосредственно, — это скунс, который использует их не столько для общения с собратьями-скунсами, сколько в качестве защитного химического оружия.

Почти всем животным приходится беспокоиться о том, как бы они не стали добычей для других животных, так что они создали много разных форм защиты. Некоторые — физические барьеры, защищающие уязвимые ткани, это панцири или толстая кожа. Некоторые — пронзающие отростки: клешни, зубы и рога. Некоторые создали яды. А некоторые — летучие химические репелленты — противные запахи. Некоторые животные заимствуют летучие химические вещества у других су-

ществ и активно обмазывают ими свои собственные тела. Белки и бурундуки жуют сброшенную змеиную кожу и остатки змей и жаб, а затем облизывают себя сверху донизу, чтобы замаскировать свои собственные запахи.

Скунсы производят свой собственный репеллент. Они — обитающее в Новом Свете подсемейство из семейства куньих, и, как и их собратья — куницы, хорьки и циветы, они — ночные несоциальные животные, так что у них мало шансов увидеть хищников издалека или получить предупреждение от сородичей. Все члены семейства куньих выпускают струю защитной смеси из двух анальных желез. У скунсов они размером с мячики для пинг-понга и могут попасть в цель на расстоянии трех метров. При контакте с глазами или кожей струя вызывает сильное раздражение, природная версия слезоточивого газа. Один только сильный запах может вызвать тошноту, и люди могут почувствовать его в малых следах (примерно десять частей на миллиард).



Скунсы секретируют около дюжины летучих молекул в своей струе, главные из которых — **бутентиол** и другие тиолы, содержащие серу молекулы, основанные на четырехуглеродных цепочках, и их комбинации с уксусной кислотой, ацетатные эфиры. Эти молекулы пахнут резче и раздражающе, чем их первобытный родственник метантиол с его запахом гниющей капусты (см.

Некоторые запахи животных пахучих желез

Животное	Составляющие запахи	Молекулы	Источники
собака, койот	прогорклый, потный, сырный	уксусная, пропионовая, масляная и метилмасляная кислоты	микробное расщепление животных белков, масел
скунс	серный, едкий	бутентиол, метилбутантиол и их ацетатные эфиры	животный синтез
кабарга	мускусный, животный	мускон	животный синтез
цивета	мускусный, животный	цибетон	животный синтез
бобр	скотный двор, кожа, дым	этилфенол, крезол, гваякол	животный синтез из древесной коры

с. 34). Считается, что эфиры в ответе за продолжительный скунсовый запах, возвращающийся, когда шерсть жертвы намокает. Они не такие летучие, как тиолы сами по себе, и они не очень-то растворимы в воде, поэтому они прилипают к коже и волоскам. Затем, когда жертва намокает, вода отщепляет ацетатную группу, высвобождая тиол, и вонь возвращается.

Тиолы с готовностью окисляются в куда менее пахучие молекулы, поэтому стандартная процедура обработки опрысканного скунсом питомца — помыть его смесью перекиси водорода и пищевой соды с каким-нибудь очищающим средством, чтобы лучше промыть шерсть. Для тротуаров и зданий простое средство — разбавленный отбеливатель для стирки, содержащий хороший окислитель гипохлорит*.

Противоположности противно защищающегося скунса — три млекопитающих, чьи пахучие железы ценились тысячи лет, применялись в парфюмерии и даже кулинарии! Двое из них обладают схожей и характерной, приятно животной характеристикой, описанной как мускусная. Этот термин происходит от древнего санскритского слова, значащего «яичко», и он относится к мешочкообразной пахучей железе **кабарги**, обитателя Центральной Азии. Характерный запах настоящего мускуса происходит от молекулы необычайно крупного пятнадцатуглеродного кольца, которую называли мускон. Неродственная группа животных из семейства куньих, похожие на кошек **циветы** из Южной Азии и Африки секретируют цибетон, похожее по запаху семнадцатуглеродное кольцо, в пасте из их анальных желез. И затем есть еще **бобры**, из рода *Castor*, строящие плотины грызуны из Северной Европы и Северной Америки, которые едят древесную кору. Они превращают ее терпкие фенольные молекулы в ингредиенты секрета, **бобровой струи (кастореума)**, которая интригующе кожаная и дымная из-за фенолов, крезолов и версий родственного кольцевого соединения гваякола.

Поскольку добывать мускус, цибет и кастореум — значит убивать, заключать в клет-

ки или ловить в ловушки диких животных, в наши дни исследователям запахов сложно найти и попробовать их настоящие ароматы. Тем не менее они продолжают оказывать большое влияние в парфюмерии, так что мы поглубже вдохнем их в главе 17.

КОЗИЙ СЫР, ЯГНЯТИНА, РУНО

Жизнь в современном урбанистическом мире ограничивает наше столкновение с летучими шлейфами, поднимающимися от животной жизни, ее метаболизма, внутреннего анаэробного катаболизма, выделений и секретов. Но нам не обязательно держать домашних животных или отправиться на экскурсию в зоопарк или на ферму, чтобы как следует понюхать животность. Вкусы козьего сыра и ягнятины и запах руна — все они происходят от секретов, несущих химические сигналы.

Козы и овцы — особенно пахучие животные. Для древних греков и римлян козливость была важным обонятельным критерием, эссенцией звериности, достигаемой запахом человеческого тела на худшей стадии. Это заинтриговало первопроходцев биохимии восемнадцатого века, французского химика Мишеля Шевреля и его коллег, которые химически расчленили козьи телесные и молочные жиры на их строительные элементы и назвали четыре из пахучих кислот с короткой цепью от латинского слова *sareg* или *hircus* (козел) (см. с. 59). У овец похожий, но более мягкий запах, к которому относительно недавно, в марте 2013 года, прибегнул только что введенный в должность Папа Римский Франциск в ходе специальной мессы, чтобы благословить благоуханные церемониальные масла. Франциск призвал своих священников не позволять отвлекать себя своему долгу, ограждающему их от приземленных жизней своей общины и не дающему им приблизиться к своей пастве: «Будьте пастухами с запахом овец».

Козы и овцы — близкородственные животные, члены родов *Capra* и *Ovis* соответственно, и родственные другому животному,

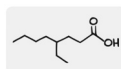
* Имеется в виду гипохлорит натрия.

арктическому овцебыку (*Ovibos moschatus*), названному за свой сильный запах. У коз и овец был общий предок в Евразии десять или двадцать миллионов лет назад, но они адаптировались к двум различным экологическим нишам. Козы специализировались в горной местности с низкорослой редкой растительностью. Индивидуальные особи заявляют свои права на территории, защищают их друг от друга и избегают хищников, карабкаясь по горам. Овцы приспособились к травянистым предгорьям, где у них развилась привычка пастись вместе и защищаться, сбиваясь в плотное стадо.

Территориальный самец-козел, в частности, печально известен своим телесным смрадом. Частично эта насыщенность берется из-за привычки козла обмазываться своей собственной мочой. Но его особая козливость происходит из-за обильной выработки летучих секретов сальных (выделяющих жирные вещества) кожных желез вокруг основания его рогов и на других участках на голове. Бараны — самцы овец — вырабатывают похожие секреты в своем руне.

Характерные нотки в запахах как коз, так и овец — разветвленные жирные кислоты, похожие на сырные, потные продукты с короткой цепью расщепления белков, с которыми мы сталкивались в животных запахах. Но, в отличие от обычных коротких цепочек в три-четыре углерода длиной, козьи разветвленные кислоты содержат восемь-девять углеродов, и сами ответвления могут содержать либо один углерод (метил), либо два (этил). Это значит, что они — не просто побочные продукты общего расщепления аминокислот, но изготовлены по спецзаказу путем соединения маленьких молекул вместе в крупные. Они здесь не просто так.

Молекулы, запах которых кажется нам наиболее сильным, — **этилоктановая кислота** (также известная как козлиная кислота), метилоктановая кислота (она же гирциновая кислота) и метилнонановая кислота, чьи характеристики сходны друг с другом и описываются как козлиные, общие животные и потные.



Самцы производят их больше, чем самки, взрослые — больше, чем молодежь, а некастрированные самцы — больше, чем осклопленные самцы. Некоторые из них, похоже, интересны самим животным. Альдегидная форма этилоктановой кислоты, этилоктаналь, была определена как козлий феромон, стимулирующий овуляцию у самок. По-своему запах этой молекулы совсем не кажется нам потным, его описывают как цветочный, восковой и молочный! Но после того как он был выделен на шерсть или **руно** и подвергнут воздействию воздуха и микробов, он медленно окисляется в козлиную кислоту, которая больше не стимулирует овуляцию, но все еще привлекает самок к самцу.

Молоко и мясо коз и овец тоже характерны, и это благодаря некоторым из тех же самых молекул, особенно восьмиуглеродным разветвленным цепочкам. Козье молоко в несколько раз богаче ими, чем овечье, но козий телесный жир содержит их меньше, чем овечий. Вот почему у козьего молока и сыра обычно более сильный животный запах, чем у овечьих аналогов, но козлятина мягче, чем ягнятина и баранина.

Ягнятина обладает другим измерением животности, которого козлятине, похоже, не хватает. Она содержит значительные количества двух продуктов расщепления белков: пахнущего конскими конюшнями крезола и фекального скатола. Обе эти нотки усиливаются, когда ягнят и овец вскармливают на зеленом пастбище, в котором относительно высокий уровень содержания белков и низкий уровень углеводов, и оно заставляет кишечных микробов расщеплять белки ради энергии. Часть крезола и скатола в результате запасается в телесном жире. Мясные химики называют этот навозный акцент «пасторальным» ароматом, который накладывается на уже ярко выраженный козлий, потный аромат разветвленных кислот. Их выраженная животная характеристика — одна из причин, почему ягнятина и баранина куда менее популярны, чем более обобщенно мясная го-

вядина (см. с. 399). Молодые ягнята, вскормленные на бедном белками сене и богатом углеводами зерне, обычно предоставляют самое нежное мясо; взрослые овцы на свежей траве — самое жесткое.

Затем есть еще руно, специальная разновидность шерсти, растущей у овец и коз, из которой производят кашемир и мохер. Как и шерсть других животных, руно защищают маслянистые, водоотталкивающие секреты кожных сальных желез. У овец эти секреты называются ланолином, который может составлять до четверти веса недавно состриженного руна. Ланолин — смесь тысяч различных молекул, в основном кислот с длинной цепью и спиртов, формирующих вместе восковые эфиры. Большинство этих молекул слишком большие, чтобы быть летучими и пахучими сами по себе. Но они хорошо могут удерживать и медленно высвобождать более мелкие, летучие молекулы, придающие сырому руно сильный животный запах, пока его не «отмездрят», или промоют, чтобы удалить как

можно больше грязи и ланолина. В запахе сырого руна преобладают специальные козы (овечьи) восьмиуглеродные разветвленные цепочки и разные резкие, прогорклые, потные летучие кислоты, продукты микробного метаболизма в богатых питательными веществами уголках и закоулочках животной кожи и шерсти. Сами волокна руна — белки, содержащие серу, и комбинация влажности и ультрафиолетового солнечного света также может генерировать из них летучие сульфидные молекулы. Мездрение часто оставляет после себя часть ланолина и летучих молекул руна, и, когда шерстяные изделия намокают и волокна впитывают воду, они высвобождают заключенные в них летучие молекулы, усиливая запах.

Запахи мокрой шерсти, ягнятины и козьего сыра довольно-таки характерны, но их изготовленные по спецзаказу разветвленные углеродные цепочки действительно появляются кое-где еще. Мы встретим их снова в следующей главе — в самих себе.

Некоторые запахи коз и овец

Козьи и овечьи...	Составляющие запахи	Молекулы	Источники
тела	козлиные, потные	этил- и метилоктановые кислоты, метиланановая кислота	животные сальные железы
молоко, ягнятина и баранина	козлиные, потный конюшни, помет	этил- и метилоктановые кислоты, крезол, скатол	животный метаболизм, микробы рубца метаболизирующие свежее пастбище
руно	уксусный, сырный, прогорклый потный, козлий, сульфидный гнилой, океанский воздух	уксусная, масляная, гексановая кислоты метилмасляная кислота, этил- и метилоктановая кислоты сульфид водорода, метантиол, диметилсульфид и дисульфид	кислород, свет, микробы, метаболизирующие шерстяной ланолин животные сальные железы; микробы, метаболизирующие белки в волокнах влажность, кислород, свет, микробы, воздействующие на белки в волокнах

БАБОЧКИ И ЖУКИ

Когда речь заходит об изобретательности пахучих желез, бесспорные чемпионы — насекомые. Они могут быть лишь периодическим раздражением в городской жизни, но их малый размер и скромность дают ложное представление об их высоком положении в царстве животных. Они просуществовали на планете вдвое дольше млекопитающих, количество их видов составляет миллионы, а млекопитающих — шесть тысяч, и на сегодняшний день было обнаружено, что они секретируют порядка тысячи различных химических веществ в качестве феромонов — аттрактантов, сигналов тревоги, указателей пути — или в качестве химической защиты, чтобы отогнать хищников. По факту первым химически определенным феромоном был бомбикол, шестнадцатуглеродный спирт, вырабатываемый самками тутовых шелкопрядов. Летучие молекулы насекомых включают в себя различные цепочки стартового набора и их удлинения (кислоты, альдегиды, спирты и

кетоны), специализированно животные кольца типа пахнущего скотным двором крезол и фекального скатола, и тиолы кошачьей мочи, но также компонент нефти нафталин и многие другие молекулы, с которыми мы как следует познакомимся, когда войдем в царство растений: фруктовые эфиры, цветочные терпеноиды с изломанными цепями и бензоидные кольца, землистые и пахнущие зелеными бобами пиразины. Эти перекрестные летучие молекулы объясняют, почему запахи насекомых могут напоминать нам душистые травы и цветы, и они свидетельство древней созависимости растений и насекомых (см. с. 127).

Я вырос шестьдесят лет назад в пригородном жилом комплексе Чикаголенда, где все еще оставались участки природной прерии, чтобы играть в них. Там мы с друзьями встречали всевозможных насекомых и их запахи: пахнущих растворителем резких **муравьев**, раздавленных пальцами; похожий на зеленый горошек запах потревоженных **божьих коровок**; скотный запах того, что мы называли «табачным соком» **кузнечиков**; вонь **щит-**

Некоторые летучие секреты насекомых

Насекомое	Составляющие запахи	Молекулы
муравей (многие виды); пахучий муравей (Tapinoma)	резкий, лимонный, ореховый; зеленый цитрус, прокислый кокос	муравьиная кислота, цитронеллол, цитраль, метилпиразины; метилгептенон, метилгептанон
божья коровка	зеленый горошек	изобутилметоксипиразин
кузнечик	дезинфицирующее средство, асфальт, скотный двор	фенол, крезол
щитник	зеленая листва, уксус, фруктовый	гексеналь, уксусная кислота, деценаль, гексилацетат
гусеница и бабочка парусника	сырный, потный; восковой, цветочный, цитрус	метилпропионовая и метилмасляная кислоты; нонаналь, деканаль, линалоол
большой мучной хрущак	прокислый, грибной	октенон, деканаль, октеналь, метилбутаналь
таракан	резкий, зеленая листва, раздражающий	гексеналь, этилакролеин
постельный клоп	зеленая листва, цветочный, восковой, прокислый	гексеналь, октеналь, нонаналь, деканаль, метилгептенон
телефон	уксус, прогорклый	уксусная, октановая кислоты
златоглазка	фекальный	скатол

ников; потный, похожий на побитое яблоко запах **гусениц парусников** — отпугивающие защитные механизмы этих уязвимых предшественников летающих цветков! У городских жителей всегда есть хороший шанс понюхать прокислых **больших мучных хрущаков** в кладовке, муравьев и резких **тараканов** под раковиной и листовенно-прокислых **постельных клопов** промеж простыней. Говорят, греки называли душистую траву и пряность кориандр в честь клопа, *koris*, с которым у него есть пара общих летучих молекул. Мед и сотовый воск пчел содержат сигнальные летучие молекулы, очевидные для насекомых, но то, что чуем мы, — это сложные смеси, в которых преобладают цветочные и пыльцевые летучие молекулы (см. с. 415, 374).

Среди насекомых, действительно ценимых за их запахи, как лимонные муравьи, употребляемые в пищу в Южной и Центральной Америке, пожалуй, самое удивительное — это белостомы, *Lethocerus indicus*, азиатский родственник североамериканского вида. Эти насекомые восемь сантиметров длиной, достаточно крупные, чтобы есть лягушек, и из них получается питательное блюдо, если их сварить или пожарить. Самцы наделены крупными пахучими железами, которые они используют, чтобы отмечать свой путь и найти обратную дорогу к кладкам яиц, за которыми они должны ухаживать. Эти жуки особенно ценятся во Вьетнаме и Таиланде, где их железы удаляются, чтобы приготовить из них ароматическую эссенцию, добавляемую в со-

усы и супы. Летучие молекулы желез включают в себя парочку животных кислот и крезол, но также ярко выражены фруктовые эфиры и две необычные серные летучие молекулы: шестиуглеродная цепочка, пахнущая гуавой, и эфир с кошачьим запахом (он близок к двум из серных летучих молекул кошачьей мочи). Белостом сложно выращивать на ферме, поэтому они и эссенция их пахучих желез становятся редкими и дорогими. Азиатские бакалейные лавки часто торгуют синтетической версией эссенции, простой смесью главных эфиров, имеющей в основном запах груши.

Химики, специализирующиеся на ароматах, сообщают, что целые жуки обладают общим фруктовым и цветочным запахом, похожим на ананас, банан и зеленое яблоко, с едва легкой рыбной ноткой. Благодаря моей подруге Пим Течамуанвивит и ресторанам, по поручениям которых она ездит туда-сюда между Бангкоком и Сан-Франциско, я могу подтвердить эти качества и отменность тайских соусов. Исследователи запахов, ищите их!

Итак, запахи целенаправленных животных сигналов куда более разнообразны, чем запахи животных тел, и некоторые из них напоминают подлинное наслаждение от цветов и фруктов. Однако, прежде чем мы перейдем в царство растений, остался последний набор животных для обнюхивания: странные создания, которые, вместо того чтобы афишировать свои запахи, изо всех сил стараются избежать, устранить и замаскировать их. А именно мы сами.

Некоторые запахи пахучих желез белостомы

Запах	Молекула
зеленый банан	гексенилацетат
сырный, банан	гексенилбутират
зеленая листва	гептенацетат
грибной	ундеценон
кошачий	сульфанилгексилацетат
сырный, потный, ноги	масляная и метилмасляная кислоты
конские конюшни	крезол
гуава	сульфанилгексанола

ГЛАВА 6.

ЧЕЛОВЕЧЕСКОЕ ЖИВОТНОЕ

Почему те, кто имеют половое сношение или способны на него, обладают дурным запахом и тем, что называется козлиным смрадом, в то время как дети — нет?

Почему подмышка обладает более неприятным запахом, чем любая другая часть тела?

Почему рты тех, кто ничего не ел, а постится, обладают более сильным запахом, так называемым «запахом поста»?..

«Problemata»

Хотя мы закончили обзор животных запахов странно ароматным сигналом насекомых, значительное большинство из них были неприятными побочными продуктами неотъемлемого метаболизма животного тела и его внутреннего сообщества микробов. Теперь мы пришли к самим себе, человеческому животному, тоже пахучему, порой напоминающему козла и даже хуже. В наши дни многие люди живут в культурах, поощряющих устранение или маскировку запахов тела, но мы все еще животные, и мы все еще обращаем внимание на летучие молекулы, когда-то оповещавшие о близости половых партнеров, сородичей или соперников. В любом случае наши собственные личные запахи — часть того, кто мы есть, часть нашей идентичности. Кто из нас не испытывает к ним личное увлечение, начавшееся с раннего детства и нашего первого исследования своего собственного тела? Как показывает древнегреческий труд «Problemata», задумчивые взрослые открыто интересовались своими запахами в течение очень долгого времени. Другие животные получают предостережение и информацию из запахов друг друга. Мы тоже так можем, причем получать информацию более глубокую, чем когда-либо, за счет вторичного восприятия, собранных наблюдений и прозрений многих веков.

Большая часть этого наследия берется из медицины. Самые ранние врачи узнали, что

пахучие дыхание и выделения несут информацию о том, что происходит внутри тела, и уделяли им личное внимание. Примерно в 400 году до нашей эры греческий основоположник западной медицины, Гиппократ, отметил, что определенные запахи ассоциируются с определенными состояниями. Противное дыхание указывает на неполадки с печенью. Пахучая моча указывает на внутренние язвы. Если отхаркнутая мокрота из больных легких обладает сильным запахом, когда ее выливают на раскаленные угли, тогда случай будет смертельным. Примерно в то же время ведийские врачи в Индии описали болезнь, ассоциируемую с аномально обильной мочой, которая привлекала муравьев и обладала сладким вкусом. Это то, что мы сейчас называем сахарным диабетом, этот термин был придуман лондонским врачом семнадцатого века Томасом Уиллисом, нашедшим вкус диабетической мочи «невероятно сладким, словно бы она была пропитана медом или сахаром». Другой симптом диабета — характерный запах дыхания, описанный через сто лет после Уиллиса англичанином Джоном Ролло как «почти такой же, как миазмы гниющих яблок». Позже немецкие химики опознали его основной компонент как молекулу ацетона, знакомую сегодня по жидкости для снятия лака, а также побочный продукт нарушения сахарного обмена, лежащего в корне диабета.

Сегодня мы многое знаем о человеческом волатиломе, наборе летучих молекул, характерных для человеческого тела, больного и здорового, а также мертвого. Биомедицинские исследователи каталогизировали сотни и соотнесли определенные молекулы с определенными биологическими процессами. Чтобы помочь анализировать улики с места преступления и находить жертв катастроф под обломками, ученые-криминалисты исследуют, как летучие молекулы тела развиваются после смерти. Более трудоемкое применение — попытка определить похожие на отпечатки пальцев «отпечатки запаха» для цели наблюдения, современная версия печально известной практики в 1970-х годах Восточно-германского министерства государственной безопасности, собиравшего одежду или другие материалы лиц, привлеченных к допросу. Эти *Geruchsprouben*, «образцы запаха», позже можно было предоставить собакам, чтобы выследить инакомыслящих или опознать людей, державших в руках инкриминирующие документы.

Самые интригующие недавние прозрения касательно запахов человеческого тела пришли с линии фронта борьбы с ними: от корпораций, торгующих предметами личной гигиены! Косметический интерес по меньшей мере так же стар, как и медицинский. В «*Problemata*» упомянуты парфюмы и мази, и, согласно ученому Констансу Классену, римляне из высшего класса принимали ванну несколько раз в день, брили подмышки и применяли минеральные квасцы, используемые и по сей день, чтобы сузить кожные поры и замедлить потоотделение. Сегодняшние гигиенические компании, особенно многонациональные *Firmenich*, *Givaudan* и *Unilever*, анализируют, какие летучие молекулы вызывают телесные запахи и откуда они берутся, чтобы более эффективно контролировать их. Благодаря опубликованному исследованию их штатных ученых мы теперь точно знаем, что у человеческого тела общего с козлом — и котом — и какие усилия оно затрачивает на то, чтобы создать пахучие эффекты, которые

человеческая культура затем так упорно старается подавить.

Именно этот древний и разносторонний интерес к человеческим запахам и делает их вполне достойными внимания. Они могут быть неприятны, но они не незначительны. Они могут давать нам информацию о наших жизнях как индивидов и членов вида, чьи телесные химические процессы активно формируются нашей совместной жизнью. Мы можем узнать молекулы из наших внутренностей, которые приносят нашему телу пользу, и те, которые нет. Мы можем узнать молекулы из наших подмышек и ног в наших продуктах и задуматься, что же может значить то, что мы находим эти продукты притягательными. Итак, давайте отодвинем в сторону освежители воздуха и дезодоранты, высвободим наш природный животный интерес и обнюхаем себя.

Как мы поступили с остальным царством животных, мы начнем с неприличных запахов нашего собственного метаболизма и нашего внутреннего микробиома, но более подробно, чтобы мы могли проследить его варьирование в зависимости от возраста и диеты. Мы перейдем к вратам в наши внутренности: ко рту и дыханию, запахам поста и обжорства. И мы закончим нашей наружной оболочкой: кожей, ее секретами и таинственными сигналами, которые они подают.

ПОТОКИ ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ В ЧЕЛОВЕЧЕСКОМ ТЕЛЕ

В каждой клетке человеческого тела содержится множество биохимических систем, и многие из этих систем вырабатывают углеводные цепочки достаточно мелкие, чтобы быть летучими. Среди них члены всех основных семейств углеводных цепочек, перечисленных на с. 58–60: углеводороды, спирты, альдегиды и кислоты, а также близкие родственники типа ацетона. И точно так же, как клетки всех подвижных животных, наши богаты белками и их строительными элементами, содержащими азот и серу аминокислотами,

а также азотными пуринами, помогающими строить и заправлять белковые структуры. Таким образом, наши собственные клетки вырабатывают такие же типичные пахучие фрагменты животных систем, рассмотренных в главе 4: сырные, потные кислоты с разветвленной цепью, сернистые, похожие на гниющие овощи сульфиды, пахнущие скотным двором углеродные кольца, рыбные амины, фекальные углеродно-азотные кольца и тухло пахнущие углеродно-азотные цепочки.

Многие из этих летучих молекул никогда не покидают клетки, в которых они образовались: они используются для построения других молекул. Отходные побочные продукты, непригодные к использованию, выводятся в кровь, откуда некоторые извлекаются и подготавливаются к удалению печенью, самым крупным из наших внутренних органов, координатором совокупной метаболической деятельности тела. Например, именно в печени побочный азот от метаболизма белков и энергии преобразуется из токсичного, пахучего аммиака в нетоксичные, нелетучие мочевины и мочевую кислоту.

Печень также имеет дело со многими молекулами, которые попадают в тело из нашего дыхания, пищи и питья, но не являются питательными, тело не может их использовать, и по факту они часто вмешиваются в тонко настроенные структуры тела. Такие «чужеродные» молекулы называются ксенобиотиками, от того же корня, что ксенофобия, боязнь чужестранцев, и среди них многие летучие молекулы продуктов и парфюмов — те самые молекулы, которые делают их притягательными! Тело порой просто выводит ксенобиотики как таковые, но печень часто сперва обрабатывает их, чтобы сделать их менее токсичными, зачастую привязывая ксенобиотическую молекулу к простой молекуле, сахару или короткой цепочке аминокислоты. Летучий ксенобиотик заключается в нелетучей составной молекуле, не обладающей запахом, когда она выводится, обычно с мочой или потом. Но летучие молекулы, связанные таким образом, также могут высвободиться,

как только они покинут тело. Это один из способов того, как телесные запахи могут меняться и усиливаться в зависимости от диеты и времени.

Из крови как обработанные, так и необработанные отходы выводятся из тела. Именно в этот момент летучие отходы могут попасть в воздух, где мы чуем их запах. Есть четыре основных выпускных канала, из которых кровь выбрасывает их. Один — дыхание. Когда кровь постоянно проходит по легким, вдыхи возобновляют ее запасы кислорода, чтобы подпитать наш метаболизм, а выдыхи очищают ее от оксида углерода (IV) и многих других побочных продуктов этого метаболизма. Второй выпускной канал для наших метаболических летучих молекул — это моча, жидкость, производимая почками, когда они фильтруют кровь, удаляя побочные молекулы и излишки воды. Куда меньшие количества летучих молекул крови попадают в две другие телесные жидкости — слюну во рту и пот на коже.

Вот и все про поток летучих молекул наших собственных клеток и метаболизма, но человеческое тело — это больше, чем наши собственные клетки. Наша пищеварительная система содержит то, чего с лихвой хватит на второе тело, два килограмма массы где-то ста триллионов микробных клеток с их собственным коллективным метаболизмом и летучими побочными продуктами. Как было сказано в отчете 2006 года в журнале «Наука»: «Люди — сверхорганизмы, чей метаболизм представляет собой смешение микробных и человеческих характеристик». Мы только начинаем понимать, как сильно наше здоровье и даже наше душевное состояние может зависеть от нашего микробиома, микробных партнеров, обитающих в каждом уголке и закоулке нашего тела. Их часто называют нашими комменсальными микробами, от латинского «вместе за столом» — подходяще, поскольку они питаются нашими объедами. Большинство летучих молекул, вырабатываемых нашим кишечным микробиомом, накапливаются и остаются в пищеварительной системе вместе с остаточными летучими моле-

кулами нашей пищи, пока они не выводятся вместе с твердыми отходами. Но некоторые находят-таки путь в кровоток и, таким образом, в наши другие телесные жидкости или дыхание.

Итак, летучие молекулы наших различных выделений и секретов варьируются в зависимости от того, как меняются наши диета, метаболические системы и микробные партнеры, а также с ходом времени. Это значит, что наши запахи отражают то, что происходит на нас и внутри нас. Необычный запах может быть признаком того, что наше тело или комменсальные микробы реагируют на необычное блюдо, период поста, неполадки метаболической системы или инфекцию. Даже наши обычные запахи несут прямое свидетельство о том, как дела у нашего сверхорганизма, помогают ли наши привычки нам процветать или же создают проблемы.

СВИДЕТЕЛЬСТВУЮЩИЕ ЗАПАХИ ЭКСКРЕМЕНТОВ

Мы начнем наш тур по человеческим запахам с самого сильного и наименее приятного источника: твердых отходов нашей пищеварительной системы. Но давайте также начнем с наименее неприятного образца: экскрементов здорового грудного младенца, вскормленного исключительно грудным молоком. Как могут подтвердить многие родители, это амброзия по сравнению с экскрементами младенцев, которых перевели на молочные смеси или твердую пищу. Это наблюдение даже поддерживается научными исследованиями! Опубликованное в 2001 году исследование в «Журнале педиатрической гастроэнтерологии и питания»: «Образцы стула вскормленных соей младенцев были значительно более часто охарактеризованы как дурно пахнущие (25% образцов стула), чем образцы стула вскормленных грудью младенцев (0%) или вскормленных молочными смесями младенцев (11%)». В смеси летучих молекул вскормленных грудью младенцев преобладали уксусная кислота (запах уксуса) и сернистый

сульфид водорода. Смесь от молочных смесей из коровьего молока включала в себя сырные пропионовую и масляную кислоты, а сульфид водорода был по большей части вытеснен пахнущим гниющими овощами метантиолом. Но смесь летучих молекул вскормленных соей младенцев содержала большой процент обеих этих серных летучих молекул, сернистой и гнилой.

Отчего такая разница? Это сложно объяснить, но сводится к тому факту, что несколько компонентов грудного молока благоприятствуют росту благотворных комменсальных бактерий под названием бифидобактерии, которые поглощают молочный сахар лактозу и выделяют уксусную и муравьиную кислоты (вместе с нелетучей молочной кислотой). В грудном молоке также меньше содержащих серу аминокислот и минералов, которые микробы преобразуют в сульфиды и тиолы. Бифидобактерии, похоже, оказывают сильный положительный эффект на развитие младенческих пищеварительной и нервной систем, и ярко выраженный запах уксуса — знак подтверждения того, что они поселились в организме.

Конечно, как только нас отняли от груди и перевели с материнского молока на растительную и животную пищу, сообщество микробов в нашем кишечнике меняется, и летучие молекулы наших экскрементов резко смещаются в неприятном направлении. Но, если мы сможем преодолеть наше отвращение и уделить совсем немного внимания нашим собственным запахам, мы получим подсказки о том, что подельывают внутри нас партнеры нашего сверхорганизма — к добру или к худу.

Всякий раз, когда мы проявляем нашу животную сущность и едим, наши желудок и тонкая кишка расщепляют питательные вещества и поглощают их строительные элементы, чтобы кровь разнесла их по всему телу. Пищевые молекулы, для которых у нас нет эффективных пищеварительных энзимов, вместо этого проходят непоглощенными в толстую кишку. Самые многочисленные из них — углеводы из овощей, фруктов и семян, придающие им их физические структуры. Мы называем эти не-

перевариваемые растительные углеводы волокнами. Крахмал тоже может пройти через нашу пищеварительную систему в толстую кишку, если он употреблен в непрigотовленном виде или остыл спустя какое-то время после приготовления и стал менее перевариваемым устойчивым крахмалом.

Толстая кишка — это пустая труба длиной примерно полтора метра, главная задача которой — поглощать воду и соли из кашицы пищеварительных остатков, прежде чем они будут выведены из тела. Это также основное место обитания нашего кишечного микробиома, который может включать в себя тысячи различных видов и вносит вклад из нескольких миллионов различных генов в наш сверхорганизм, по сравнению с жалкими двадцатью тысячами нашего собственного тела. Его различные семейства с различными биохимическими специализациями питаются нашими объедками, сообщая акцептируют как можно больше энергии и клеточного строительного материала и в процессе предоставляют нам дополнительные энергию и питательные вещества. Экскременты — это остатки работы микробиома. Они примерно наполовину микробные клетки и наполовину пищевые остатки, со следами жиров, белков,

минералов, пигментов — коричневых остатков гемоглобина красных кровяных телец — и летучих молекул, свидетельствующих о том, чем занимались микробы.

Экскременты зловонные, потому что толстая кишка безвоздушная, а кишечный микробиом анаэробный. Его микробы расщепляют крупные молекулы не полностью, продуцируя короткие углеродные цепочки, и азотные, и серные летучие молекулы, которые мы уже понюхали в телах и выделениях наших братьев-животных. Многие кишечные микробы могут расщеплять устойчивый крахмал и растительное волокно на сахара и использовать их ради энергии. В процессе они вырабатывают знакомые летучие жирные кислоты с короткой цепью — уксусную, пропионовую, масляную — уксусные и сырные. Другие микробы специализируются на расщеплении белков и их аминокислот и могут использовать материалы внутренней оболочки самой толстой кишки, вырабатывающей богатый белками и серой защитный слой слизи и постоянно сбрасывающей и регенерирующей свои собственные клетки. Эти специалисты по белкам оставляют после себя сырные, сульфидные, аммиачные, фекальные, скотные и тухлые фрагменты.

Некоторые запахи человеческих экскрементов

Составляющие запахи	Молекулы	Источники: микробное расщепление
резкий, уксусный, сырный, потный, рвота	уксусная, масляная, пропионовая, метилмасляная кислоты, разветвленные кислоты	углеводы, жиры, белки
сульфидный, приготовленные овощи	сульфид водорода, метиловые сульфиды	белки, серные соединения из лука и семейства капустных
гнилые овощи	метантиол	белки, серные соединения из лука и семейства капустных
аммиак, рыбный, мочево	аммиак, амины	белки, пурины
нафталиновые шарики, фекальный	индол, скатол	белки
антисептическое средство, смола, конские конюшни	фенолы, крезолы	белки
протухлый, гниющая рыба	путресцин, кадаверин	белки

Так что вот базовая летучая смесь человеческих экскрементов: кислоты с короткой углеродной цепью, углеродное кольцо крезол, сульфид водорода и серные тиолы, а также азотные аммиак, амины, индол и скатол. Соберите несколько из этих химических элементов — и у вас получится заготовка для стандартной зловонной бомбы, генератора смрада, используемого как для розыгрышей, так и для пресечения беспорядков.

Семейства микробов, наиболее активных в кишечном микробиоме, и вырабатываемые ими летучие молекулы по большей части определяются конкретным меню обiedков в толстой кишке. Если мы едим много овощей, фруктов и цельного зерна с его богатыми волокнами семенными оболочками или приготовленную пищу с устойчивым крахмалом, тогда в толстую кишку попадет много углеводного волокна, и специалисты по волокну выработают множество уксусных, сырных кислот с короткой цепью. Если мы едим больше мяса, яиц и молочных продуктов, чем овощей и цельного зерна, тогда специалисты по волокну выработают меньше кислот, неспособные к выделению кислот специалисты по расщеплению белков будут процветать, и более ярко выраженными будут их аммиачные, сульфидные, фекальные, скотные, протухлые побочные продукты. Специалисты по белкам также преобладают, когда мы постимся и не предоставляем никаких пищевых материалов, потому что они пользуются постоянными поставками слизи и отслоившихся клеток самой толстой кишки.

Поскольку мы всеядны и потребляем разнообразные продукты, наш кишечный микробиом всегда вырабатывает смесь летучих молекул. Но даже нетренированный нос может учуять эти два акцента экскрементов, уксусно-сырный и скотно-протухлый. Я всегда вспоминаю о годах, когда я должен был заниматься сменой подгузников через день-другой после того, как я обедался артишоками, богатыми растворимым волокном, которое так любят бифидобактерии. Баловство крупным стейком смещает запах на пахнущий

загонами для откорма скота конец спектра. И оказывается, что эти акценты — прямые признаки не осязаемых другими способами процессов, влияющих на наше продолжительное хорошее самочувствие. Кислотный акцент — хороший признак; запах загонов для откорма скота не такой уж и хороший.

Ученые, сведущие в биомедицине, обнаружили, что летучие кислотные продукты кишечного метаболизма волокна оказывают целый ряд положительных эффектов на сам кишечник и все тело в целом. Уксусная, пропионовая и масляная кислоты делают кишечник негостеприимным для многих вредных микробов, но также для специалистов по расщеплению белков. Они могут быть абсорбированы клетками толстой кишки и транспортированы к различным частям тела. Ацетат разносится по всему телу и помогает бороться с воспалением, понижает кровяное давление, улучшает переносимость глюкозы и снижает аппетит. Большая часть бутирата остается в кишечнике, обеспечивает энергией клетки толстой кишки, стимулирует образование новых клеток на замену постоянно отслаивающимся клеткам и в то же время подавляет рост абnormally активных клеток, которые могут вызвать рак. Итак, уксусно-сырный коктейль кислот с короткой цепью — признак хорошей работы в кишечнике и во всем теле.

В противоположность этому, летучие продукты метаболизма белков, похоже, с куда большей вероятностью вызывают проблемы. Содержащий азот аммиак токсичен для клеток. Он и его родственные амины могут привести к образованию нитрозаминов, причиняющих вред ДНК. Пахнущий скотным двором крезол подозревается в причинении вреда почкам и коже. Сернопахнущий сульфид водорода, очевидно, важная сигнализирующая молекула, в крошечных количествах вырабатываемая нашими собственными клетками, но, когда бактерии заполняют им кишечник, он разрушает серные перекрестные связи в защитной слизистой оболочке и истончает ее, оставляя клетки стенки толстой кишки более уязвимыми к атакам болезнетворных

микробов и урону от различных химически активных молекул, включая гемоглобин из мяса. Это снижение защиты предрасполагает стенку толстой кишки к воспалению и чрезмерному росту клеток. Все эти характерные эффекты согласуются с частыми наблюдениями, что диеты, включающие большое количество мяса и, таким образом, белков, связаны с высоким риском рака толстой кишки*.

Каждый раз, когда мы опорожняем толстую кишку, нас приветствуют летучие молекулы, проистекающие из нашего выбора пищи, некоторые из них — те самые молекулы, что приносят нам пользу, а некоторые, вероятно, причиняют вред. Эти запахи могут напомнить нам, что, когда мы едим, мы кормим как свою собственную животную натуру, так и триллионы других существ, чьи жизни оказывают воздействие на нашу изо дня в день, в течение годов и десятилетий. Они могут напомнить нам о том, что следует обеспечить партнеров нашего сверхорганизма овощами, фруктами и семенами, которые им необходимы, чтобы оказывать свою вкусную, сырную пользу.

СЕРНЫЙ ГАЗ**

Молекулы, придающие экскрементам отвратительный запах, лишь незначительные продукты кишечного микробиома. Главные летучие продукты его коллективного метаболизма — водород, оксид углерода (IV) и метан, газы, для которых у нас нет обонятельных рецепторов и которые, таким образом, не имеют запаха. Поскольку эти газы вырабатываются в больших количествах и скапливаются, толстая кишка периодически высвобождает их, чтобы ослабить давление. Когда это происходит, они несут с собой следовые летучие молекулы, обладающие та-

ки запахом. Быстрое высвобождение газов из толстой кишки — пукание, звукоподражательное слово, корнями уходящее в доисторические времена, вызывает отвращение своим запахом и либо оскорбляет, либо забавляет своим неприличным звуком. Среди первых, кто предложил изучать запах пукания, был Бенджамин Франклин. В сатирическом письме 1783 года к другу он предложил это как тему для приза, предлагаемого Королевской академией в Брюсселе, «за серьезное Исследование ученых Докторов, Химиков и прочих этого просвещенного Века»:

«Таким образом, моим Призовым вопросом был бы: “Открыть какой-нибудь медикамент, благотворный и непротивный, для смешивания с нашей обычной Пищей или Соусами, который сделает Естественные Пускания Ветров из нашего Тела не только неоскорбительными, но приятными, словно Парфюмы”. То, что это не химерический Проект и не совершенно невозможный, следует из данных Соображений. То, что мы уже обладаем некоторыми знаниями касательно Средств, способных изменить этот Запах. Тот, кто обедает лежалой Плотью, особенно с большим Добавлением Лука, будет в состоянии источать Смрад, коего не потерпит ни одна Компания: в то время как тот, кто некоторое время прожил лишь на Овощах, будет обладать Дыханием таким чистым, что оно будет неощутимо даже для самых деликатных Носов; и если он сумеет избежать Залпа, то он может где угодно давать Выход своим Горестям незаметно».

Хотя Франклин был прав, ассоциируя худшие запахи с мясом и богатым серой луком, веганская диета — это не панацея, и пока еще не был открыт никакой медикамент, превращающий газ в парфюм. Но ученые доктора действительно вскоре начали изучать то, что

* Имеется в виду тот факт, что, согласно классификации Международного агентства по исследованию рака (МАИР), употребление мяса относится к 1 категории канцерогенных веществ и факторов. То есть их канцерогенное воздействие было в той или иной степени доказано. Но, кроме мяса, в той же группе находится употребление алкоголя, курение и... даже профессия художника. Не стоит делать поспешные выводы о срочной необходимости отказа от мяса.

** Оксид серы (VI).

они удостоили термином флатус, от латинского слова «ветер». Вероятно, первым, кто проанализировал его химический состав, был швейцарский врач Луи Жюрин, в 1789 году отчитавшийся об обнаружении кислорода, оксида углерода (IV), азота и сульфида водорода в толстой кишке человека, только что скончавшегося от холода. Спустя пару десятилетий французский физиолог Франсуа Мажанди собрал газ четырех приговоренных к смерти людей незамедлительно после их казни и добавил в перечень водород и метан. Последующие исследователи разработали методы мониторинга флатуса живых подопытных, причем некоторые из этих методов были неприятно насильственными, и ученые по большому счету подтвердили находки Мажанди касательно основных составляющих.

Одна из наиболее недавних и гуманных процедур мониторинга флатуса была вдохновлена пузырьками в ванной. В лаборатории голландского гастроэнтеролога Альберта Тангермана волонтеры, ощущающие необходимость «выпустить воздух», погружали свою заднюю часть в теплую ванну, где поднимающиеся пузырьки ловились в перевернутую мензурку. Тангерман и другие обнаружили, что их подопытные производили от 500 до 1500 миллилитров флатуса в день, одиночная эмиссия варьировалась от столовой ложки до полутора чашек (от 15 до 375 миллилитров). Разумеется, они обнаружили многие из летучих молекул, содержащихся в экскрементах, но несравненно преобладают серные молекулы, самая важная из них — пахнущий гниющими овощами метантиол, затем сернистый сульфид водорода, и также присутствуют несколько метилсульфидов. Эта классификация, вероятно, отражает тот факт, что сульфид водорода и метантиол более летучие, чем кислоты с короткой цепью и амины, менее крепко цепляются к влажным отходам и быстрее отрываются.

Действенность этих молекул — то есть наша чувствительность к ним — зарегистрирована расчетами Тангермана, что, если носьющего находится на расстоянии одно-

го метра от источника выхлопа, учуянные им летучие молекулы были разбавлены при коэффициенте примерно пятьдесят тысяч. Вспомните, что как сульфид водорода, так и метантиол — первобытные молекулы, обнаруженные в разлагающихся животных тканях и токсичные для дышащих кислородом существ, таких как мы; хорошая причина для наших сенсорных систем зорко следить за общениями об их присутствии.

ИЗМЕНЯЮЩАЯСЯ МОЧА

Моча — жидкие выделения человеческого тела, она по большей части образуется в почках и сильно отличается от кишечной полутвердой массы бактериальных клеток и пищевых отходов. Моча от здорового тела почти не содержит микробов, состоит из нескольких тысяч химических побочных продуктов метаболизма нашего сверхорганизма, включая микробных партнеров. (Желтый цвет, как коричневый в экскрементах, берется от продуктов расщепления красного гемоглобинового пигмента крови.) Она примерно настолько чистая, насколько может быть такой наваристый суп, и обычно обладает довольно-таки мягким и сложным запахом, созданным следами многих летучих молекул, некоторые из которых также содержатся в продуктах. Они добавляют ореховые, фруктовые, сладкие аспекты, маскирующие неприятные нотки метаболизма белков и пуринов. Одна примечательная мочевого летучая молекула — многокольцевая стероидная молекула андростенон, которую мы встретим в свиньях и свинине и которую мужчины выделяют больше, чем женщины. Судя по всему, вследствие генетических различий в обонятельных рецепторах разных людей, некоторые люди вообще не могут почувствовать запах андростенона, в то время как среди тех, кто может, некоторые описывают его как мускусный и мочевого, а другие — как приятно цветочный!

Наши продукты и напитки могут влиять на запах свежей мочи. Некоторые, такие как

Составляющие запахи	Молекулы	Источники
сладкий, кокос, персик	лактоны (9-, 10-, 11-углеродные цепочки)	наш метаболизм?
картофель	метиональ (альдегид серы)	?
попкорн, рис басмати	ацетил пирролин (азотно-углеродное кольцо)	?
ваниль	ванилин (углеродное кольцо)	?
конские конюшни	крезол	кишечный микробный метаболизм белков?
фекальный	скатол	кишечный микробный метаболизм белков?
рыбный, мочевого	триметиламин	наш метаболизм; кишечный микробный метаболизм мочевины и оксида триметиламина
мочевого, мускусный	андростенон (стероид)	наш метаболизм (половой гормон)
гниющие и приготовленные овощи	метантиол, метилсульфиды	наш метаболизм спаржевой кислоты в спарже

чеснок и кофе, добавляют свои собственные летучие молекулы. Более сложный и печально известный пример — спаржа, чье влияние интриговало ученых докторов и прочих по меньшей мере со средневековых времен. Марсель Пруст был необычно великодушен; его рассказчик в романе «В поисках утраченного времени» величает спаржу «преlestными созданиями, забавы ради превратившими себя в овощи, чью драгоценную эссенцию я, бывало, узнавал, когда всю ночь после обеда, за которым я их съел, они играли, с их поэтическими и грубыми шуточками, как в шекспировской комедии о феях, превращая мой ночной горшок в вазу парфюма».

Это характерное качество спаржи, драгоценной или нет, происходит от специфической двухсерной молекулы, спаржевой кислоты, судя по всему, уникальной для спаржи и сконцентрированной в растущих верхках, которые она, возможно, защищает от микробов и насекомых. Тело расщепляет эту чужеродную молекулу и выводит фрагменты, включающие в себя метантиол, метилсульфиды и родственные серные соединения, пахнущие гнилыми и пережаренными овощами.

Через час или два после поедания спаржи эти молекулы оказываются в моче на уровне в тысячи раз выше нормы. Но не каждый замечает изменение. Недавние исследования указывают на то, что некоторые люди не выделяют вонючие серные летучие молекулы после поедания спаржи, а некоторые просто не могут их почуять. Вероятно, эти вариации объясняются генетическими различиями в метаболизме и обонятельных рецепторах.

Изучение генетики запахов мочи может звучать как легкомысленное занятие, но по факту оно спасло жизни. В течение всего хода истории врачи использовали эти запахи, чтобы диагностировать болезнь, и в двадцатом веке медицинские исследователи обнаружили, что, нюхая мочу новорожденных, они могут обнаружить несколько серьезных генетических дефектов базового метаболизма на достаточно ранней стадии, чтобы лечить их, прежде чем они нанесут непоправимый ущерб. Образцы мочи младенцев, пахнущие как мышиная клетка, кленовый сироп, потные ноги или рыба, все приправлены обличительными побочными продуктами неполадок метаболизма аминокислот или аминов.

Некоторые запахи затхлой человеческой мочи

Составляющие запахи	Молекулы	Источники: микробный метаболизм
сильно мочево́й, рыбный	триметиламин, аммиак	мочевина и оксид триметиламина
гнилые овощи	метантиол	белки, аминокислоты
пережаренные овощи, чесночный	метилсульфиды	белки, аминокислоты
дымный, пахнущий скотным двором	гваяколы	пищевые побочные продукты (кофе)
фруктовый, карамельный	фуранеол, мальтол	пищевые побочные продукты (клубника)
гвоздика	эвгенол	пищевые побочные продукты?
кленовый сироп	сотолон	пищевые побочные продукты (пажитник)
сырный	масляная, метилмасляная кислоты	белки, аминокислоты

Конечно, большинство из нас не назвали бы обычный запах мочи мягким и сложным. Он сильный и, что ж, мочево́й: аммиачный и рыбный, серный, неприятный. Это запахи запущенных унитазов и писсуаров, закоулков трущоб, урологических прокладок в доме престарелых. Это запахи старой мочи. Они могут начать развиваться, если мочу долго держать в мочево́м пузыре, и они быстро развиваются в тот момент, когда она покидает тело и вездесущие микробы начинают кормиться ее биохимическими богатствами, особенно ее животными азотными отходами.

Тело выделяет большую часть излишков азота от метаболизма белков и энергии в моче. Поскольку простой аммиак и мелкие углеводно-азотные молекулы, амины, химически очень активны и, таким образом, токсичны для живых клеток, тело преобразует эти отходы в химически менее активные — нелетучие мочеви́ну, мочево́ую кислоту и оксид триметиламина (ТМАО). В литре или двух мочи, которую каждый из нас выделяет каждый день, присутствуют все вышеперечисленные вместе с незначительными следами триметиламина (ТМА), являющегося летучим и придающего свежей моче ее слабо мочево-рыбный

запах. Бактерии расщепляют эти молекулы ради энергии и в процессе вырабатывают еще больше ТМА, другие летучие амины и аммиак. Скапливание аминов и аммиака имеет дополнительный эффект повышения уровня рН мочи и превращения этих молекул во все более летучие: они все быстрее и быстрее испаряются из жидкости в воздух. В результате чем дольше ее не смывают, тем сильнее моча пахнет аммиаком и рыбой.

В то же время другие изменения действуют сообща, чтобы усилить запах, добавив в смесь серные, сырные, дымные и пряные летучие молекулы. Откуда они берутся? Сырные и серные молекулы, вероятно, возникают в результате микробного расщепления белков и аминокислот, также содержащихся в моче. Но другие — это ароматические молекулы, абсорбированные из наших продуктов. Тело не может их использовать — обходится с ними как с ксенобиотиками и привязывает их к нелетучим молекулам-носителям, зачастую сахарам или аминокислотам, для выделения. Когда они были выделены, микробы в моче расщепляют эти составные молекулы, чтобы использовать носителей, и в процессе высвобождают пищевые летучие молекулы.

ДЫХАНИЕ И РОТ

Самое прилюдное и частое высвобождение летучих молекул из нашего тела происходит, когда мы дышим. Обычный вдох-выдох втягивает, а затем выпускает от двух до четырех кварт (от двух до четырех литров) воздуха из легких, где кровь поглощает кислород для наших клеток, чтобы производить энергию, и высвобождает оксид углерода (IV) и сотни других летучих побочных продуктов их биохимических структур. Общий эффект выдоха, дымового выброса здоровой животной жизни, — слабый обонятельный гул.

Самые изобилующие летучие молекулы в нашем дыхании — слегка резиновый изопрен и похожий на растворитель ацетон. Изопрен — разветвленная пятиуглеродная молекула, служащая в животных в качестве строительного элемента для формирования стероидных гормонов и холестерина, и, как мы увидим (с. 178), это также важная летучая молекула, выдыхаемая листьями зеленых растений! Ацетон — двухуглеродный побочный продукт расщепления жиров ради энергии. Поскольку наши клетки сжигают жиры преимущественно только тогда, когда у них заканчиваются углеводы от недавних приемов пищи, уровень ацетона в дыхании значительно повышается, когда мы несколько часов ничего не ели, и его зачастую можно почуять перед завтраком.

Некоторые летучие молекулы, которые мы поглощаем вместе с пищей и питьем, могут попасть в наше дыхание через кровь. Один из них — спирт, а другой — чрезвычайно стойкий побочный продукт поедания чеснока. Чесночные летучие молекулы — мелкие серные соединения, но почти все из них так химически активны, что они никогда не попадают в кровь. Большое исключение — трехуглеродная цепочка, присоединенная к атому серы, которая циркулирует в крови и упорно остается в дыхании в течение часов, неважно, насколько хорошо мы прополощем рот или почистим зубы.

По факту именно рот обычно усиливает запах наших выдохов и вызывает сильные и

неприятные запахи «несвежего дыхания». Когда мы говорим или иным способом выдыхаем через рот, газы из легких подбирают летучие молекулы во рту и доставляют их до ближайших носов. И рот — ворота в заполненную микробами пищеварительную систему. Пища и питье, мятные леденцы и жвачки, зубные пасты и ополаскиватели для полости рта — все они оставляют временные запахи, но главные виновники — микробы, для которых рот — теплое, влажное, защищенное, бедное кислородом убежище с постоянными поставками питательных веществ.

У здоровых людей со здоровыми деснами основной источник летучих молекул во рту — бактериальный рост на остатках пищи и клеток самого рта. Частицы пищи накапливаются в основном между зубами и на верхней задней поверхности языка, жесткого, с бесчисленными ямочками и щелочками, в которых анаэробные бактерии могут прятаться от кислорода, зубной щетки и ополаскивателя. Виды *Porphyromonas*, *Prevotella*, *Fusobacterium* и другие процветают здесь миллиардами и выделяют свое обычное противное варево: кислые, сырные и потные кислоты, сульфидные и гнилокапустные серные соединения, рыбные и протухлые амины, включая путресцин и кадаверин. Часто преобладает метантиол.

Возможно, вы думаете, что если ничего не есть, то микробы во рту умрут от голода и не будут производить летучие молекулы. Это не так, как предсказал вопрос о посте из древнего текста «Problemata». Слюна — богатый источник питательных веществ, особенно белков, как и отслоившиеся клетки с наших щек и языка. По факту в процессе еды часть микробов отлепляется от языка, а усилившееся слюноотделение смывает с его поверхности как самих микробов, так и их летучие молекулы. Вот почему наше дыхание обычно хуже всего рано утром, после часов поста и слабого слюноотделения.

Средства против несвежего дыхания берут начало с древних времен и включали расчищающие остатки жевательные палочки,

Некоторые запахи человеческого дыхания

Запахи	Молекулы	Источники
растворитель	ацетон	метаболизм жиров во время поста
кислый, рвота	уксусная, масляная кислоты	микробный метаболизм белков, углеводов, липидов во рту
приготовленные овощи, сульфидный	метилсульфиды, сульфид водорода	микробный метаболизм белков во рту
гнилые овощи	метантиол	микробный метаболизм белков во рту
чеснок	аллилметилсульфид	остатки пищи во рту и циркуляция
сырный	метилпропионовая, метилмасляная кислоты	микробный метаболизм белков во рту
рыбный, сперма, аммиак	метиламины, пирролин, аммиак	микробный метаболизм белков во рту
протухлый	кадаверин	микробный метаболизм белков во рту

зубные щетки, порошки и пасты, а также ополаскиватели для полости рта, разнообразно основанные на соленой воде, пиве, вине, даже моче. В Китае времен империи Хань две тысячи лет назад придворные освежали дыхание гвоздикой, характерная летучая молекула которой — эвгенол, а также антибактериальное средство. Современная эра ополаскивателей пришла на рубеже двадцатого века, когда Джозеф Лоуренс и Джордан Ламберт начали торговать своей антибактериальной смесью феноловых соединений (одно из таких соединений — эвгенол) под названием «Листерин» в честь английского приверженца обеззараживания, Джозефа Листера. Именно так летучие феноловые молекулы растений, включая тимол, ментол и эвкалиптол, стали каноничными вкусами ополаскивателя. Сегодня они дополнены спиртовыми и похожими на очистители молекулами, которые могут разрушить защитную биопленку, формируемую микробами во рту. Разбавленная перекись водорода тоже эффективно окисляет ярко выраженные серные неприятные запахи. Менее радикальный подход — снизить количество серных летучих молекул, жуя продукты, богатые окисляющими ферментами или химически активными феноловыми соединениями. Они включают в себя сырые фрукты и овощи, которые быстро становятся коричневыми, если

их надрезать или помять, признак как фенольных смол, так и активных ферментов: яблоки и груши, салат-латук, грибы, базилик. Зеленый чай тоже может помочь.

ЩЕДРОСТЬ РТА

Рот — это нечто большее, чем врата в наши внутренности. Из него исходит речь, выражение наших глубочайших мыслей, и песня, эмоция, переведенная в звук. Как и глаза, он воплощает чувства. Он может быть красивым и соблазнительным, объектом желания прикоснуться и попробовать. В страстном поцелуе два рта смешивают дыхания и ощущают их внутри друг друга. Неудивительно, что любовные поэты в течение тысячелетий находили множество прелестных способов идеализировать дыхание возлюбленного человека, что ниспровергающий авторитеты Шекспир настаивал на том, что «Хоть благовоний много есть прекрасных, / Увы, но только не в ее устах» (перевод М.И. Чайковского).

В реальности микробиом рта может не только испускать зловоние, но он также усиливает наслаждение от еды и питья! Говоря более конкретно, он высвобождает некоторые летучие молекулы, которые были связаны в нелетучие комбинации с другими молекулами. Эта связь летучих молекул с нелетучими,

возможно, звучит знакомо: наши тела делают это, чтобы вывести нежеланные ксенобиотические молекулы в моче, а коты делают это, чтобы засеять свою мочу сигналами пролонгированного высвобождения (см. с. 92, 83). Что ж, пищевые растения таким же образом связывают некоторые из своих ароматических летучих молекул, и микробы у нас во рту оказывают нам услугу и развязывают их, чтобы мы могли ими насладиться. Первая догадка об этом пришла в 1980-х годах французскому винному химику-первопроходцу Эмилю Пейно. В своем труде «Вкус вина» он отметил загадку, что «вино сильнее пахнет фруктами, чем сам виноград» и что сам рот также может усиливать аромат. У винного сорта винограда под названием «совиньон блан»:

«...очень специфический аромат, цветочный, мускусный, дымный, с легкой сырой травянистостью, напоминающей помятые листья... Когда вы взрываетесь в покрытый толстой кожей золотой виноград "совиньон", вы чувствуете этот характерный запах, хотя и довольно-таки слабо; сходным образом, свежесжатый виноградный сок относительно слабо пахнет... Только спустя 20–30 секунд после проглатывания сока вы внезапно чувствуете сильное ароматическое ощущение в задней части рта, когда возвращается благоухание "совиньона». Несомненно, слюна вступает в реакцию и высвобождает эссенцию "совиньона", присутствующую в винограде в относительно непахнущей форме».

В 2008 году ученые из швейцарской ароматической компании Firmenich продемонстрировали, что удерживание сока «совиньон блан» во рту действительно высвобождает цветочно-мускусно-зеленое ароматическое соединение, шестиуглеродную версию более мелких серных молекул, содержащихся в кошачьей моче, и что высвобождение осуществляется микробами. Они также показали похожее высвобождение серных летучих молекул, важных для вкусов зеленых сладких перцев (луково-овощной гептантиол) и лукового порошка (капустный пропантиол). Дру-

гие химики из Firmenich также обнаружили, что готовка при температурах, достаточно высоких, чтобы вызвать обжаривание, тоже может вырабатывать связанные летучие молекулы с мясными и кофейными характеристиками, и что энзимы микробов во рту могут их высвободить. Эти открытия помогают объяснить, почему кажется, будто вкусы некоторых продуктов задерживаются или даже возвращаются после того, как мы закончили глотать: микробы продолжают высвобождать ароматы из остатков их связанных предшественников. Вполне возможно, именно поэтому вкус изменившей мою жизнь поданной на ланч куропатки стоял у меня во рту до самого вечера.

Итак, те же самые микробы, из-за которых нам может быть стыдно, также усиливают удовольствие от еды и питья. Мораль: не истребляйте их ополаскивателем перед особым блюдом. Пожуйте яблоко.

КОЖА, ЕЕ СЕКРЕТЫ И ОБИТАТЕЛИ

Хватит о выдохах и выделениях изнутри! Теперь о запахах наших поверхностей и составленных секретов, некоторые из которых для разнообразия блаженно приятны, другие, привлекающие внимание, — совместные работы животного и микробов: наши телесные запахи как таковые.

Внешняя оболочка человеческого тела и его поверхность контакта с миром — это кожа, его самый крупный орган, составляющий 10–15% нашего веса и покрывающий примерно двадцать квадратных футов (1,8 квадратных метра). Кожа определяет, что попадает внутрь нас, а что остается снаружи, от тепла до молекул и до других форм жизни. Ее многочисленные складки, сгибы и поры — дом для разношерстного сообщества комменсальных микробов, помогающих исключать потенциально вредных существ. Этот кожный микробиом также вырабатывает большую часть летучих молекул, которые мы называем телесным запахом.

У нашей кожи несколько слоев. Есть нижний поддерживающий слой, заполненный

кровеносными сосудами и различными маленькими железами, продуцирующими и запаасающими кожные секреты. Над ним расположена дерма, слой активно растущих кожных клеток, и, наконец, наружный слой, эпидермис, слой мертвых клеток дермы, защищающий живые слои под ним. Эпидермис состоит в основном из механически жестких белков. Волоски — инертные белковые волокна, выступающие из нашей собственно кожи; их формируют и выталкивают крошечные органы под названием волосяные фолликулы, находящиеся в дермальном слое. Кожные волосы типичны для млекопитающих и служат для многих различных целей: для сохранения тепла тела и отталкивания воды, как для маскировки, так и для подачи сигналов, а также для продления осязания как можно дальше от кожи. У нас, людей, гораздо меньше волос на теле, чем у наших сородичей-приматов, и некоторые из тех участков, что у нас есть, вероятно, нужны частично для того, чтобы усилить наши телесные запахи.

Запахи нашей кожи начинаются с нескольких жидкостей-секретов, которые наша кожа выделяет на поверхность, чтобы оставаться влажной, гибкой и водоустойчивой. Эти жидкости, кожное сало и поты, вырабатываются тремя разными видами желез в дерме. Свежие из желез в основном не имеют запаха.

Сальные железы вырабатывают кожное сало, восковой, жирный материал, покрывающий водоустойчивой пленкой как кожу, так и волосы, а также защищающий их от негативного влияния кислорода в воздухе и ультрафиолетового излучения солнца. Сальные железы обычно выделяют секреты непосредственно в волосяные фолликулы и в основном расположены на голове и верхней части туловища, в меньших количествах — на веках, носе и гениталиях, в ушном канале и вокруг сосков. Кожное сало состоит из раздробленных остатков целых клеток желез, так что это сложная смесь клеточных мембран и структур вместе с их специализированными продуктами, включающими жирные и восковые

молекулы и сквален, длинную углеводную цепочку (двадцать четыре углеводных цепочки с шестью одноуглеродными ответвлениями), задействованную в выработке холестерина и стероидных гормонов. Большинство углеводных цепочек кожного сала слишком длинные, чтобы быть летучими, но они могут удерживать маленькие летучие молекулы и со временем медленно высвобождать их; и со временем они сами могут расщепиться на летучие фрагменты.

Знакомое испарение, которое мы вырабатываем в ходе физических нагрузок, — это эккринный пот, вырабатываемый эккринными железами, самыми многочисленными и широко распространенными кожными железами, насчитывающими несколько миллионов по всему взрослому телу, но наиболее высокой плотности на лбу, ладонях и подошвах, сотни на участке размером с мелкую монетку. Они вырабатывают лишенный запаха водяной раствор, несущий небольшие количества солей, сахаров, молочной кислоты, аминокислот, мочевины и белков. Молочная кислота помогает бороться с микробами, процветающими на коже, поддерживая ее pH на кислотном уровне 5,5 — примерно такой же, как у сваренного кофе.

Затем есть еще второй вид пота под названием апокриновый пот, вырабатываемый железами, малыми по количеству, но мощными по влиянию на телесные запахи. У взрослого есть только примерно две тысячи апокриновых желез, сконцентрированных в подмышках, в участках вокруг сосков и в интимной области, аккурат над гениталиями, а также несколько на голове и щеках, на веках и в ушном канале. Они вырабатывают молочную, густую жидкость, включающую жирные материалы, стероидные молекулы, связанные с половыми гормонами, белки и — наиболее примечательные для исследователя запахов — специальные молекулы, основной функцией которых, похоже, является испускание телесных запахов. Но не сразу и только с помощью микробов: эти предшественники телесного запаха сами не пахнут.

Наша кожа и ее секреты кишмя кишат микробами, наружными членами экосистемы нашего сверхорганизма. Они включают в себя одноклеточных членов царства грибов, сородичей пищевых дрожжей и съедобных грибов. Кожные микробы, которые нуждаются или могут переносить кислород, живут во влажных похожих на хлопья слоях эпидермиса, в то время как анаэробы растут в бедных кислородом волосяных фолликулах, в трубковидных проходах, несущих секреты желез к эпидермису, и в самих железах. (В фолликулах и сальных железах живут даже крошечные клещи под названием *Demodex*.) Эти многочисленные различные сообщества в различных нишах продуцируют характерные запахи. В целом на открытых сухих участках типа предплечья относительно мало микробов. На таких участках, как загривок и лоб, много сальных желез, поддерживающих в основном бактерии и грибы, которые специализируются на расщеплении жирных материалов на более короткие цепочки альдегидов и кислот. Защищенные регионы типа подмышечной и паховой областей, где руки и ноги соединяются с туловищем, имеют тенденцию быть более влажными, и их многочисленные апокриновые и сальные секреты делают их гостеприимными для бактерий, метаболизирующих широкий ряд молекул, включая кожные белки и специальных предшественников телесного запаха.

Прежде чем мы отправимся в тур по нашим микробным сообществам и их летучим молекулам, давайте понюхаем кожу до того, как какие-либо микробы примутся за работу.

ПЕРВОЗДАННАЯ КОЖА: ПРИЯТНЫЕ ЖИРНЫЕ ФРАГМЕНТЫ

Наши кожные клетки, волосы и секреты почти не обладают запахом сами по себе, так что запах свежесмытой человеческой кожи малозаметен и легко маскируется мылом и другими ароматизированными продуктами личной гигиены. Ученые обнаружили почти

триста различных летучих молекул, испаряющихся с кожи, но они присутствуют на низких уровнях и смешиваются, производя фоновый гул, нечеткое животное присутствие, как и у наших только что выкупанных питомцев. Некоторые из преобладающих летучих молекул — углеродные цепочки средней длины, формирующиеся, когда кислород в воздухе воздействует на более длинные цепочки и расщепляет их на части. Жирные сальные секреты выделяют альдегиды от восьми до десяти углеродных атомов длиной — окталь, нональ и деканаль — с восковыми и цитрусовыми характеристиками. Также ярко выражены похожий на растворитель ацетон, свежий цветочный геранилацетон и цитрусовый метилгептенон — все кетоны, вероятно, возникающие вследствие окисления сквалена, той длинной разветвленной углеродной цепочки в кожном сале и апокриновом поте.

Кожные длинные углеродные цепочки также могут быть расщеплены на более мелкие летучие фрагменты за счет высокоэнергетических ультрафиолетовых лучей в солнечном свете. Вот простой пятиминутный эксперимент для солнечного дня: натрите руки мылом без отдушек, ополосните и вытрите их насухо непашущим полотенцем, затем подержите одну распрямленную ладонь вниз под солнечным светом в течение нескольких минут, в то же время держа другую ладонь вверх. Теперь понюхайте тыльные стороны обеих рук, держа их рядом. Та рука, что была в тени, будет пахнуть довольно-таки нейтрально, в то время как находившаяся под солнцем рука будет обладать характерным запахом загоревшей на солнце кожи: слегка металлическим, слегка грибным и слегка едким, все из-за расщепленных ультрафиолетовым светом кожных липидов. Исследование 2006 года кожи, подвергнувшейся воздействию солнца, определило двух- и трехуглеродный ацетальдегид и пропиональдегид, едкие и землистые, а также сладко пахнущий двухуглеродный углеводород этилен.

Ультрафиолет, расщепляющий кожные липиды и наделяющий нас запахом, — это то же

Некоторые запахи (по большей части) первозданной человеческой кожи

Запахи	Молекулы	Источники
восковой, сладкий, цитрус	октаналь, нонаналь, деканаль (альдегиды длиной 8–10 углеродов)	кислорода, расщепляющий сальные жиры (длиной 14–20 углеродов)
растворитель, свежий, цветочный, цитрус	ацетон, геранилацетон, метилгептенон (кетоны длиной 2–11 углеродов)	кислорода, расщепляющий 30-углеродный сквален из сальных и апокриновых желез
резкий, едкий	ацетальдегид, пропиональдегид	ультрафиолетовый солнечный свет и кислорода, расщепляющие кожные липиды
кареишу: жирный, восковой, зеленая листва, цветочный	ноненаль, нонаналь, диацетил	кислорода, расщепляющий кожные жиры; микробы, метаболизирующие молочную кислоту

самое излучение, которое может проникнуть внутрь до наших живых кожных клеток, разрушить их ДНК и другие критически важные молекулы, и вызвать солнечный ожог и порой рак. А сами альдегиды — химически активные молекулы, вредящие клеткам. Как мы увидим, альдегиды — это то же самое семейство летучих молекул углеродных цепочек, вырабатываемых, когда мы подвергаем растительные масла и животные жиры воздействию воздуха и высокой энергии конфорки, то есть когда мы жарим продукты. Запах загоревшей на солнце кожи — признак того, что мы сами начинаем зажариваться.

Кожные альдегиды также были опознаны как летучие молекулы, придающие пожилым людям характерный запах, который японцы называют кареишу. Различные исследования подтвердили, что нетренированные нюхачи могут различать людей старше и моложе срока по их кожным запахам. Японские исследовательские команды приписывают кареишу повышенный уровень 2-ноненала, девятиуглеродного альдегида с двойной связью, вносящего жирные, зеленые нотки в дыни и огурцы, вместе с масляным кетоном диацетилом, который вырабатывается бактериями вида *Streptococcus* из молочной кислоты в поте. Группа из Центра исследований химических чувств Монелл в Филадельфии обнаружила

вместо этого повышенный уровень нонанала с прямой цепочкой, с восковыми и цветочными характеристиками, и предположила, что такое различие может объясняться различиями японской и западной диет (ноненаль, вероятно, берется из ненасыщенных жиров, нонаналь — из насыщенных). Кажется разумным, что общий метаболизм и кожный микробиом тела могут изменяться с возрастом, и это может влиять на совокупный телесный запах.

Я сам сейчас, возможно, пахну ощутимо старо, но я отчетливо помню запахи двух моих бабушек со времен сидения на коленях и объятий. И они очень сильно отличались друг от друга, один — свежий и сладкий, другой — сильный и мускусный. Я думаю, их запахи по большей части были связаны с их домами, диетами и занятиями. Одна всю жизнь была жительницей Среднего Запада и последовательницей учения «Христианская наука», строгой в своих привычках, которая никогда не заходила на кухню, когда приезжала в гости. Вторая была индианкой, живущей в Англии, готовящей и поедающей острые карри и маринованные огурчики, которые они с бабушкой обожали. Мы мало знаем об эффекте диеты на кожные летучие молекулы, но один хорошо задокументированный пример, вдобавок к стойким сульфидам чеснока, — это семена пажитника, типичного

ингредиента индийского карри. Основная летучая молекула в пажитнике — сотолон, молекула углеродного кольца, обладающая характерным запахом кленового сиропа (см. с. 151). Человеческое тело преобразует эту молекулу в другие, пока что не идентифицированные, обладающие похожим запахом и проникающие в наши кожные секреты, так что нас он тоже ароматизирует — мы испускаем едва уловимый запахок этого пряного, карамельного аромата.

ПЕРСИКОВЫЕ СКАЛЬП И ВОЛОСЫ

Тереться носом о волосы возлюбленного человека — одно из великих удовольствий нашей животной жизни, успокаивающее или стимулирующее, в зависимости от возлюбленного человека. Прохладные шелковистые пряди волос обладают запахом, и сквозь них спрятанное тепло скальпа излучает и испускает свои летучие молекулы. Все шампуни и кондиционеры прикрывают неотъемлемые едва уловимые запахи наших головы и волос, но со временем они восстанавливают свои позиции. Скальп — один из участков тела, богатых сальными железами и жирными материалами, которые кислород и ультрафиолетовый свет расщепляют на мелкие летучие кислоты, альдегиды и спирты, а также кетоны и лактоны. Немногочисленные опубликованные обзоры летучих молекул головы сообщают о десятках и десятках этих молекул, без каких-либо конкретных преобладающих; так что основной запах чистой, здоровой головы — низкоуровневый коктейль жирных продуктов расщепления.

Есть еще один аспект этого запаха, возникающий из-за сообщества микробов, хорошо приспособленных к относительно сухой окружающей среде скальпа. Один доминантный член флоры здорового скальпа — вид *Malassezia* (также называемый *Pityrosporum*), разновидность грибов, технически являющаяся дрожжами, но более близкий родственник растительных заболеваний и даже столовых грибов, чем хлебных дрожжей. Когда ученые из Пенсильванского университета вырастили наиболее типичный для скальпа вид *Malassezia furfur* в чашках петри, содержавших человеческое сало, и отследили вырабатываемые им летучие молекулы, они обнаружили большие количества трех лактонов, необычных цепочно-кольцевых гибридов (см. с. 141), являющихся характерными ароматическими молекулами в кокосе и персиках и описанных как обладающие жирными, восковыми, кремовыми аспектами. Само собой, ученые доложили, что их культуры дрожжей скальпа пахли как «консервированные персики». Поскольку это не простые расщепленные продукты метаболизма энергии, эти лактоны, вероятно, служат какой-то цели для клеток *Malassezia*, возможно в качестве сигнальных молекул.

Итак, притягательный исконный аромат головы несет отголоски приятных продуктов. Разумеется, чем дольше не мыть голову или не вычесывать кожное сало и богатые белками остатки скальпа, тем сильнее мы чуем более сильные, более тухлые ароматы общего расщепления углеродных цепочек. Для индвидуалов и культур, которые носят длинные

Некоторые запахи человеческой головы

Запахи	Молекулы	Источники
метаболическая мешанина	обладающие цепочками средней длины углеводороды, спирты, альдегиды, кислоты, кетоны	сальные липиды, окисленные кислородом, ультрафиолетовым светом
жирный, восковой, кремовый, персик	гамма-ноналактон, гамма-декалактон, гамма-ундекалактон	дрожжевое преобразование сальных липидов

волосы и не моют их каждый день или два, такой усиленный запах является типичным. Согласно историку Чарльзу Д. Бенну, в Китае времен периода Тан тысячи лет назад, когда длинные волосы были нормой, государственным чиновникам отводился выходной каждые десять дней, чтобы помыть волосы, и их зарплата величалась «субсидией на одежду и мытье волос».

СЫРНЫЕ НОГИ

На другом конце тела расположен совершенно иной летучий мир! Ноги могут быть мощно зловонными частями тела, особенно когда мы заключаем их в обувь и создаем теплый, влажный, безвоздушный рай для микробов. Но даже люди, носящие сандалии или ходящие босиком, имеют гостеприимные кармашки между пальцами ног и между ногтями и кожей. Из различных сленговых терминов для пахучих остатков, накапливающихся там, наиболее подходящий — «пальцевый сыр» (toe cheese), поскольку запах ног может сильно напоминать сыры и наоборот. У голландцев есть эквивалентное слово, *tenenkaas*, и в 1996 году обонятельное сходство привело голландских ученых к открытию, что они могли приманивать переносящих малярию комаров, склонных кормиться на человеческих ступнях и лодыжках, лимбургским сыром.

У гигиенических и обувных производств давно есть личная заинтересованность в понимании того, что представляет собой запах ног и как с ним бороться, так что мы довольно-таки много знаем о нем, и почему так сильно сходство с сыром.

На человеческой ступне располагается примерно четверть миллиона эккринных потовых желез, выносящих избыточную влагу и минералы (и даже немного сахара глюкозы) на поверхность, в основном на подошву. Здесь всего несколько сальных и ни одной апокриновой железы, так что микробы на ногах получают большую часть энергии от расщепления белков эпидермиса. На верхней поверхности ступни находится примерно тысяча бактерий на квадратный сантиметр, в то время как на подошве — примерно сто тысяч, а в защищенных щелях между пальцами — примерно десять миллионов. В экосистемах ног доминируют несколько видов бактерий, и они вносят различные вклады в запах ног. Некоторые расщепляют различные остатки клеток кожи на обычные простые углеродные цепочки, жирные кислоты с короткой цепью, а особенно (от двух- до четырехуглеродных) уксусную, пропионовую и масляную кислоты; первые две — резкие и уксусные, третья как пармезан и другие выдержанные сыры.

Характерный запах немых ног берется от других жирных кислот с короткой цепью, более редких, у которых на основной цепочке есть одноуглеродное метиловое ответвление. Их выработка начинается с вида необычной бактерии *Kytococcus*, названной от греческого корня, значащего «кожа», эти бактерии особенно хорошо воздействуют на волокнистые кожные белки, расщепляют их на более мелкие фрагменты и в конце концов на строительные аминокислоты, которые они и другие бактерии затем используют для энергии. Несколько разных членов микробиома ног — виды *Kytococcus*, *Staphylococcus*,

Некоторые запахи человеческих ступней

Запахи	Молекулы	От микробного расщепления
резкий, уксусный, выдержанный сыр (пармезан)	уксусная, пропионовая, масляная кислоты	кожные масла, белки
резкий, потный, сырный (швейцарские сыры с отмытой корочкой)	метилпропионовая, метилмасляная кислоты	кожные белки

Brevibacterium и *Micrococcus* — способны метаболизировать аминокислоты с разветвленными цепочками (лейцин, изолейцин, валин) и в процессе вырабатывают жирные кислоты с разветвленными цепочками. И именно эти летучие молекулы и производят характерно потный, сырный запах.

Почему такая связь между сыром и ногами? Сыр — свернувшаяся масса молочных белков и жиров, не так уж и отличающаяся по химическому составу от нашей кожи, а семейство сыров «с отмытой корочкой» регулярно увлажняется в течение месяцев созревания соляным раствором типа концентрированной версии нашего эккринного пота, чтобы способствовать росту поверхностных бактерий, а не плесени. Сыры с отмытой корочкой часто содержат на поверхности вид *Brevibacterium*, одной из основных бактерий ног. Но *Brevibacterium linens* на сырах расщепляет содержащие серу аминокислоты на пахнущее гнилыми овощами соединение метантиол, вырабатывающее разные виды зловония, заполняющего помещение запаха лимбургера, французского сыра эпуас или итальянского таледжо (см. с. 446). Сыры, запах которых больше всего похож на ноги, обычно те, корочки которых отмываются только в течение короткого периода, а затем они созревают с относительно сухой корочкой, которая, должно быть, каким-то образом предпочитает метаболизм аминокислот с разветвленными цепочками метаболизму содержащих серу аминокислот. Они включают в себя швейцарские сыры сортов аппенцеллер и тет-де-муан.

ПОЛОВЫЕ ЗАПАХИ, МИКРОБНЫЕ И СПЕРМНЫЕ

Наши половые органы развиваются в месте соединения наших туловища и ног, поверхностей, щедро оделенных потовыми и сальными железами, но их собственные характерные запахи происходят из их специализированной анатомии. Женская вагина поддерживает характерное сообщество микробов, выраба-

тывающих знакомые метаболические летучие молекулы, в то время как мужская семенная жидкость относительно лишена микробов и обладает своими собственным набором летучих молекул и запахом.

Вагина — главный канал женского репродуктивного тракта; через нее мужская сперма попадает внутрь, чтобы достичь матки, а плод выходит наружу в процессе родов. Секреты вагинальной стенки поддерживают ее влажной, гибкой и гостеприимной для сообщества полезных бактерий, предотвращающих вторжение вредных микробов. Этот вагинальный микробиом варьируется от женщины к женщине, но обычно в нем содержатся избыточные бактерии молочной кислоты, зачастую вид *Lactobacillus*, родственник тем, что превращают молоко в кислый, непортящийся йогурт (см. с. 433). Их метаболизм поддерживает вагинальные секреты кислотными и препятствующими росту большинства нежелательных микробов и выделяет такую же защитную перекись и другие соединения.

Летучие молекулы здоровой вагины включают в себя обычную мешанину животных метаболических побочных продуктов. Исследования предполагают, что некоторые вагинальные микробиомы вырабатывают только уксусную и молочную кислоты, в то время как другие вырабатывают более сильный, более сырный ряд прямых и разветвленных кислот. Когда нормальное микробное сообщество разрушается антибиотиками или другими лекарственными средствами, включая спермициды и смазки, нежелательные микробы могут проникнуть внутрь и вызвать заражение. Это в основном анаэробные бактерии и дрожжи, обычно метаболизирующие белки и аминокислоты в секретах и вырабатывающие аммиак, пахнущий рыбой триметиламин и другие амины, а также как путресцин, так и кадаверин. Вагинальные инфекции часто диагностируются присутствием необычного сильного запаха, и пограничные случаи часто проясняются посредством «нюхательного теста», в ходе которого врач добавляет щелочной раствор в образец секрета, чтобы усилить

летучесть щелочных аминов. У некоторых женщин тоже развивается сильный аминовый запах в период менструации, очевидно потому, что гормональные изменения временно снижают способность их тела преобразовать триметиламин от их кишечных микробов в нелетучий оксид триметиламина.

Запахи семенной жидкости — совершенно отличная и более простая история. Семенная жидкость — это совокупный жидкий секрет, вырабатываемый несколькими мужскими органами, чтобы переносить и поддерживать сперматозоиды на их пути через женскую вагину, чтобы оплодотворить яйцеклетку. Поскольку семенная жидкость удерживается в мужском теле до того, как она выбрасывается во время совокупления, у микробов мало возможностей вырасти в ней и преобразовать ее. В дополнение к обычному едва уловимому летучему гулу животного метаболизма семенная жидкость также содержит молекулу стероидного гормона андростенона, сородича тестостерона, и горстку характерных азотных летучих молекул. Многие люди не могут учуять андростенон; те, кто могут, обычно описывают его как мускусный и мочевой. Именно азотные молекулы и придают семенной жидкости ее более характерно «спермный» запах.

Помните путресцин, который мы впервые повстречали вместе с кадаверинном на с. 69

как продукт расщепления белков в животных трупах? Это также строительная молекула. Как животные, так и растительные клетки намеренно создают его цепочку из четырех углеродов и двух азотов в качестве строительного элемента для более крупных молекул под названием спермидин (семь основных углеродов и три азота) и спермин (десять основных углеродов и четыре азота). Как спермин, так и спермидин выполняют несколько важных функций в клетках, включая стабилизацию и должное функционирование ДНК и РНК, которыми сперма забита битком, чтобы доставить мужские гены в яйцеклетку. Вместе с путресцином эти молекулы преобразуются, образуя пирролин, четырехуглеродное кольцо с включенным в него атомом азота, придающее семенной жидкости ее характерный запах и, таким образом, само описываемое как семенное или спермное. Вероятно, именно пирролин ароматизирует многие городские улицы неподобающим запахом семенной жидкости! Некоторые растения наполняют свои цветы его ароматом, чтобы привлечь опыляющих насекомых — не пчел, а мух (см. с. 183).

Итак, запах семенной жидкости — редкий непосредственный запах некоторых из самых внутренних агентов, работающих во всех клетках нашего тела, в то время как вагинальные секреты предоставляют общий

Некоторые запахи вагинальной и семенной жидкостей

Запахи	Молекулы	Источники
резкий, уксус	уксусная кислота	микробный метаболизм секретных углеводов
спирт, растворитель	спирт, ацетон и т.д.	микробный метаболизм секретных углеводов
сырный	короткие и разветвленные кислоты	микробный метаболизм секретных углеводов, аминокислот
рыбный, мочевой	триметиламин	микробный метаболизм секретных аминокислот
семенной, мускусный	пирролин, пиррол, аммиак	наш метаболизм + окисление
мускусный, мочевой	андростенон (стероид)	наш метаболизм (половой гормон)

метаболический гул тела вместе с резкими следами его защитных комменсальных микробов. В сущности, не слишком-то притягательные запахи, ни на бумаге, ни на коже, но в правильном контексте они могут очаровывать. Согласно недавним классическим познаниям, возможно, именно на это намекнул римский поэт Катулл две тысячи лет назад в знаменито поразительном финальном образе его поэмы 13, «Cenabis bene, mi Fabulle, apud me» («На днях, мой друг Фабулл, в саду моем со мною...»). Поэт обращается к своему другу Фабулле и говорит, что он очень хорошо отобедает у Катулла в том случае, если он принесет с собой свои собственные пищу и питье — и свою собственную девушку. И что же предоставят Катулл и его пустой кошелек?

*За то ты встретишь здесь
приятни изъявленье,
А сверх того наш пир и наше вдохновенье
Украсит, друг мой, то,
что нам всего нужней —
Редчайшие духи. Их девушке моей
Амур и грации на память подарили —
И, обоняя их — духи уж таковы, —
Ты будешь лишь молить, чтоб боги
превратили
Тебя в огромный нос от ног до головы.*

(Перевод Н. Гербеля)

БОГАТСТВА ПОДМЫШЕК: КОЗЛЫ, ЛУК-ШАЛОТ, УТКА С ОЛИВКАМИ

Запахи, которые мы обычно имеем в виду под термином телесный запах, идут из подмышек. Две тысячи лет спустя после того, как авторы «Problemata» спросили, почему это так, у нас появилось несколько твердо установленных фактов и разумная теория. Самый важный факт: наше тело из кожи вон лезет, чтобы составить специальный набор летучих молекул в этом месте. Зачем напрягаться, когда наш кожный микробиом вырабатывает множество летучих молекул кожного сала и пота? Одна идея заключается в том, что специали-

зированные подмышечные запахи — пережиток стадии в далеком прошлом, когда наши предки-приматы больше полагались на свои химические чувства, чтобы обнаружить и узнать друзей, врагов и членов семьи. Сильный и характерный запах, испускаемый, когда руки подняты, возможно, был способом для индивидов утвердить свое превосходство в группе, визуально-обонятельная версия хвоста павлина, львиной гривы или красных, как пожарная машина, ягодич примата, и ближе к носам прямоходящих гоминидов, чем были бы анальные и генитальные пахучие железы других млекопитающих. Эта общая интерпретация согласуется с другим фактом, отмеченным в «Problemata», что дети лишены сильных телесных запахов и развивают их в отрочестве, когда они достигают половозрелости.

Какой бы ни была их первоначальная функция, у запахов подмышек сейчас совсем иное значение: миллионы людей тратят миллиарды долларов, пытаясь их скрыть! И таким образом, хотя они кажутся маловероятной тематикой для научного изыскания, некоторые из крупных корпоративных производителей дезодорантов и ароматизаторов профинансировали десятилетия исследований и позволили своим химикам опубликовать большую часть результатов. Эти исследования, вместе с дополнительной работой сенсорных психологов и генетиков, принесли множество удивительных прозрений касательно нашей природы как социальных животных, возрастающего признания важности телесных запахов в повседневной жизни и намеков на конец долгой химической войны, веденной против них.

Подмышки, или подмышечные впадины, как они выразительно известны в медицинском и научном мире, как утверждают, являются богатейшим микробным местом обитания на человеческой коже. Они — наш телесный эквивалент тропиков, орошаемый секретами из избыливающих потовых и сальных желез, теплый и влажный, потому что они защищены от открытого воздуха, и заросший джунглями волос, впитывающих питательные секреты с поверхности кожи и

удерживающих влагу. Более того, обилие волос означает много фолликулов и проходов, в которых могут процветать чувствительные к кислороду анаэробы. По оценкам, бактериальные популяции составляют до миллиона на квадратный сантиметр.

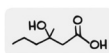
Многие из этих микробов также находятся во всех других участках тела, в особенности виды *Staphylococcus*, *Corynebacterium* и *Propionibacterium*, и ничего удивительного, что они вырабатывают многие из тех же метаболических побочных продуктов любящих белки животных комменсалов: уксусно-сырные кислоты с короткой цепью, и потные, и сырные кислоты с короткой разветвленной цепью. Кислород в воздухе, воздействующий на сальные липиды, вероятно, несет ответственность за другую пару подмышечных летучих молекул, восьмиуглеродный спирт и кетон, обладающие металлическими и грибными нотками.

Однако за зловонным подмышечным потом стоит нечто большее, чем, как обычно, окисление и микробная деятельность. Две другие группы молекул, необычные кислоты с разветвленной цепью и серные летучие молекулы, делают запах характерным и чрезвычайно сильным. Эти молекулы крупнее и сложнее, чем кислоты с короткой цепью, скорее изготовленные для специальных целей, чем отходные продукты. Их источник — апокриновые потовые железы, созревающие и начинающие активную секрецию в половозрелости. Эти железы производят эти ключевые летучие молекулы, но они также привязывают их к нелетучим молекулам, зачастую сахарам или аминокислотам, не дающим им высвободиться в воздух. (Как мы видели выше, наша печень сходным образом связывает ксенобиотические пищевые летучие молекулы, чтобы избавиться от них, см. с. 92.) Эти запахи предшественники затем вырабатывают запах, когда разрушается связь между летучими и нелетучими молекулами, и высвобождаются летучие частички.

Что высвобождает летучие молекулы из молекул-предшественников? Микробные со-

общники апокриновых желез, их коллаборационисты снаружи. Маленькая группа бактерий — вид *Corynebacterium*, *Staphylococcus* и *Bacillus* — обладает как раз подходящими энзимами, необходимыми для того, чтобы разрушить связь между летучей и нелетучей молекулами (и получить в награду кусочек сахара или аминокислоты). Звучит знакомо? В предыдущей главе мы увидели, что у котов есть сходная система для выработки летучих молекул из помечающей территорию мочи (см. с. 82). Человеческая система таким же образом предоставляет постоянное медленное высвобождение помечающих тело летучих молекул, даже когда мы не потеем активно.

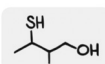
Как пахнут эти созданные железами летучие молекулы, как только они высвобождаются? Один набор включает стероловых родственников тестостерона, мускусный андростенон и мочевого андростенон, но примерно половина протестированных взрослых США не чувствует эти молекулы, так что они не считаются значимыми для телесного запаха. Наши предки, возможно, лучше могли определять их. Более значимые — несколько необычных кислот с разветвленной цепью длиной шесть и восемь углеродных атомов.



Гидроксиметилгексановая кислота и другие вносят прогорклые, животные, похожие на кумин, едко потные нотки, и они являются источником козлиного запаха, к которому часто обращались греки и римляне, как это сделал римский поэт Овидий, когда он написал, что читательница его «Науки любви» не следует предостерегать: «никакого дикого козла в подмышках». Метил- и этилоктановые кислоты в человеческом подмышечном поте — именно те же самые молекулы, ароматизирующие козы и овечьи мясо, молоко, сыры и руно (см. с. 86).

Еще одна интригующая группа подмышечных летучих молекул пролонгированного высвобождения — набор серных молекул. Две из них — прямые пяти- и шестиуглеродные цепочки, а две другие — разветвленные четырех- и шестиуглеродные цепочки. У разветвленной четырехуглеродной цепочки

(3-сульфанил-2-метилбутанола) ответвление расположено всего лишь на один атом углерода выше, чем у идентичной молекулы кошачьей мочи.



Так что мы и наши коты, вероятно, используем сходную метаболическую структуру для создания этих молекул. И как же они пахнут? Из серных летучих молекул с прямой цепью одна пахнет как приготовленное мясо, другая — как грейпфрут, тропический фрукт и лук. Одна из летучих молекул с разветвленной цепью обладает мясным запахом, другая — луковым.

Химики впервые идентифицировали эти содержащие серу потовые летучие молекулы примерно двадцать лет назад, но сходство с запахами продуктов было замечено задолго до этого. Примерно в 1900 году бельгийский романист Жюрис Карл Гюисманс, ценитель запахов, написал короткий этюд о подмышках («Le Gousset»), в котором он отметил «терпкие пары оленя», поднимающиеся от рубашек парижских рабочих летом, и описал запах сенокосцев в деревне как «мускусный въедливый запах дикой утки, приготовленной с оливками, и резкий запах лука-шалота»!

Разумеется, сходство потовых летучих молекул с продуктами работает в обе стороны. Это значит, что мясо и лук тоже пахнут как аспекты пота: странный факт с очень практическими применениями. Три разные промышленные лаборатории независимо обнаружили мясо-луково-фруктовые серные молекулы человеческого пота и опубликовали свои находки в 2004 году. Но лаборатория швейцарской компании Givaudan, производящая как ароматизаторы, так и ароматические пищевые добавки, уже обнаружила их несколько лет назад и держала свое открытие в секрете, пока они готовили патенты на использования потовых летучих молекул, синтезированных в лаборатории, как пищевые добавки для усиления мясных вкусов.

Итак, вот базовый рецепт для подмышечного пота: немножко уксуса, сыра, металла, грибов, прогорклого козла, мяса, грейпфрута и лука. Жирненько! И варьируется от одного человека к другому. Гюисманс напыщенно пишет, что подмышечный запах «различен, как цвет волос... ни у одного аромата нет такого количества нюансов, он играет по всей клавиатуре запаха». Считается, что различия

Некоторые запахи человеческих подмышек

Запахи	Молекулы	Источники
уксус, сырный	уксусная, пропионовая кислоты	микробный метаболизм
потные ноги, сырный, прогорклый	метилпропионовая, метилмасляная кислоты	микробный метаболизм белков
животный, козлиный, сырный	этилоктановая кислота	микробное высвобождение из человеческих предшественников
металлический, грибной	октенол, октадиенон	окисление кожных липидов
потный, резкий, кумин	метилгексеновая кислота, гидроксиметилгексановая кислота	микробное высвобождение из человеческих предшественников
мясной	метилсульфанилбутанол, сульфанилпентанол	микробное высвобождение из человеческих предшественников
грейпфрут, тропический фрукт, лук	сульфанилгексанол, метилсульфанилгексанол	микробное высвобождение из человеческих предшественников

возникают из-за вариаций в деятельности апокриновых желез и в кожных микробиомах. Похоже, есть несколько устойчивых тенденций: например, исследование 2005 года обнаружило, что европейские женщины вырабатывают больше мясо-луково-фруктовых серных летучих молекул; мужчины — больше потных-козлиных-сырных разветвленных кислот и больше летучих молекул в суммарной сложности. У мужчин также есть тенденция поддерживать больше *Corynebacteria*, являющихся самыми активными производителями летучих молекул.

ОГРАНИЧЕНИЕ ТЕЛЕСНЫХ ЗАПАХОВ, ЗАПАД И ВОСТОК

Подмышечные запахи были достаточно важны в жизнях наших далеких предков, чтобы их тела сформировали замысловатую систему их выработки. С развитием человеческой культуры появились новые способы утверждать превосходство, а также все более тесные и закрытые жизненные условия, в которых телесные запахи стали бы неизбежными, таким образом, возможно, менее значимыми и в конце концов раздражающими. В древних средиземноморских регионах и Китае сильные неприкрытые запахи были признаками низкой позиции в социальной иерархии, недостатка необходимых ресурсов, чтобы регулярно мыться или маскировать запахи парфюмерией. Римляне научились использовать квасцы, чтобы блокировать поры потовых желез; и историк Чарльз Бенн сообщает, что придворные в средневековом Китае подвешивали в подмышках мешочки, содержавшие ароматические вещества типа гвоздики и ладана, а также минеральную известь, щелочность которой ограничивает летучесть кислот с короткой цепью. Уже в современности Джордж Оруэлл знаменито отметил в «Дороге на Уиган-Пирс», что интеллигенция левых взглядов редко имела какое-либо дело с низшими классами, поборниками которых она являлась, по простой причине, а именно: низшие классы воняют.

В наши дни сильные телесные запахи менее заметны, чем когда-либо, благодаря косметическим наукам, придумавшим эффективные химикаты для снижения секретов потовых желез (особенно гидроксохлорид алюминия, имитация римских квасцов) и подавления кожных микробов, преобразующих их. Какими бы неестественными эти дезодоранты ни были, есть хорошее свидетельство того, что биологическая эволюция нашего вида движется в том же направлении. Современная наука подтвердила то, что восточноазиатские культуры знали уже много веков: азиаты испускают куда меньше козино-мясо-луковых летучих молекул, чем европейцы. Как следует из исторических документов, когда китайцы впервые повстречали путешественников с Запада, они были в шоке и отвращении от их запаха. В средневековом Китае периода Тан (примерно 600–900 годы нашей эры), имевшем регулярный контакт с жителями Центральной Азии и Индии, сильный телесный запах назывался ху чоу, или «варварский смрад». Поскольку ху также могло обозначать «лиса», а эти животные известны своими пахучестью и лукавством, рассказывались небылицы о лисолюдях из чужих стран, маскирующих свой обличительный запах парфюмами.

Почему у уроженцев Запада более сильные телесные запахи, чем у жителей Восточной Азии? Генетика. Есть специфические человеческие гены, руководящие апокриновыми потовыми железами, чтобы строить как предшественников запахов, так и клеточные структуры для их выделения на поверхность кожи. Ученые опознали ген, важный для секреции предшественников запахов, и обнаружили разные неактивные версии этого гена, возникшие вследствие мутации. Мы все несем две копии этого гена *ABCC11*, по одной от каждого родителя. Почти все африканцы и европейцы несут два активных гена, в то время как почти все урожденные китайцы и корейцы несут два неактивных гена. Жители Южной и Центральной Азии и коренные американцы имеют тенденцию нести

по одному каждого. Этот же ген в ответе за параллельное различие между жителями Восточной Азии и другими людьми; в то время как африканцы и европейцы вырабатывают желтоватую «мокрую» липкую ушную серу, обладающую резким, сырным запахом благодаря кислотам с короткой цепью, жители Восточной Азии и коренные американцы имеют тенденцию вырабатывать беловатую «сухую» ушную серу: в малых количествах, скорее порошковую, чем липкую, и лишь с едва заметным запахом.

Географическое распределение неактивных генов AVCC11 предполагает, что мутация возникла во время миграции людей из Африки и Европы в Азию примерно пятьдесят тысяч лет назад. Ее широкое распространение в Азии предполагает, что она каким-то образом была выгодной. Одна вероятность — это то, что вместе с минимизированием физических признаков женской плодовитости и прятанием запахов под мышкой минимизирование этих запахов, возможно, было еще одной из модификаций тела наших предков-приматов, и эти модификации имели тенденцию приберегать половые сигналы для уже близких отношений, уменьшать половое соперничество, усиливать моногамные связи и поощрять социальное сотрудничество.

ПРИЗНАНИЕ НАШИХ ЭМАНАЦИЙ

Из всех запахов, что мы испускаем, включая стандартные отходы наших собственных клеток, и нашего кишечного микробиома, и персиково-кокосовые нотки дрожжей нашего скальпа, подмышечный запах самый значимый. Человеческое тело руководит и усиливает выработку этих летучих молекул, и, как идентичные или родственные молекулы, вырабатываемые козлами, овцами и котами, они привлекают внимание других представителей вида — и не только тогда, когда они оскорбительно сильны. Есть интригующее свидетельство того, что наш мозг обращает внимание на человеческие телесные запахи с

самого начала нашей жизни. Исследователи в Европе обнаружили, что лишенные запаха потовые предшественники присутствуют в околоплодных водах, омывающих плод в матке. Они также есть в молозиве, жидкости, вырабатываемой матерью в последние дни беременности и первые дни после родов, и в первом грудном молоке. Летучие молекулы могут высвобождаться из околоплодных вод микробами в родовых путях или когда молозиво или молоко сталкивается с бактериями на коже матери или во рту младенца. Когда это происходит, тогда отголоски этих животнов-луковых запахов, возможно, вносят вклад в хорошо задокументированную способность новорожденного ориентироваться по направлению к соску, узнавать запах тела своей матери и формировать с ней связь.

За человеческим телесным запахом стоит нечто большее, чем очевидные сильные запахи и летучие молекулы, которые ученые смогли каталогизировать на сегодняшний день. Многие исследования показали, что нетренированные люди часто могут почуять разницу между повседневным подмышечным потом и потом волонтеров, которых заставили чувствовать себя подавленно, испуганно, взволнованно или печально или чья иммунная система была простимулирована инъекцией следов микробного токсина, вызывающего заражение. Эти эмоциональные и физические состояния вызывают сложные изменения в телесных химических процессах. Нетренированные нюхачи также часто могут отличить телесный запах незнакомцев от кровных родственников и романтических партнеров. Какие летучие молекулы дают подсказку? Пока что никто не знает, отчасти потому, что мы не замечаем их сознательно и, таким образом, не можем их описать. Но эти различия указывают на нашу обонятельную восприимчивость к личности и состоянию других значимых существ поблизости.

Есть оборотная сторона этого повышенного внимания к телесным запахам: расслабляющее удовольствие, которое мы получаем от запахов любимых людей. Психолог До-

нальда Макберни и другие обнаружили, что романтические партнеры, родители, дети, братья и сестры обычно нюхают одежду и простыни друг друга ради «обонятельного комфорта», добавочной стороны общепризнанного феномена контактного комфорта, успокаивающего, подбадривающего эффекта, который телесный контакт оказывает на младенцев. Здесь, похоже, наше внимание привлекают общие запахи человеческого присутствия, а также конкретные летучие молекулы, отличающие наших любимых людей, как и их собственные, так и те, которые они заимствуют от мыла и духов.

Макберни дал своему эссе 2012 года заголовок «Обонятельный комфорт в близких отношениях: ты не единственный, кто так делает». В современном мире редко открыто нюхают телесные запахи, наслаждаются ими или обсуждают их. Невежливо заявлять о нашем присутствии нашими летучими молекулами, поэтому мы делаем что можем, чтобы подавить их и не заставлять других замечать их. Когда мы все-таки сталкиваемся с ними, они являются вторжениями в наше по большей части лишенное запаха персональное воздушное пространство.

Но есть признаки того, что телесные запахи могут совершить своего рода возвращение. Некоторые современные исследователи телесного запаха, признавая замысловатое взаимодействие между нашими апокриновыми железами и комменсальными кожными микробами, предположили, что его устранение, возможно, неразумно. Исследователь Йошихиро Хасегава и его коллеги из корпорации «Као» в Токио, производящей антиперсперант бренда «Бан» среди многих других похожих продуктов, заключили свое фундаментальное исследование 2004 года на тему человеческих серных летучих молекул словами:

«Хотя это спорно, мы считаем, что подмышечный запах — это не просто зловоние. Вероятно, у него действительно есть функция, возможно, феромонные или эмоциональные

эффекты, и он стал нежелательным только в современную эпоху... Сейчас может быть возможно разработать менее агрессивные методы для более нацеленного дезодоранта, уважающего симбиотические отношения между людьми и микроорганизмами».

А Юхан Лундстрем, сенсорный психолог из Центра исследований химических чувств Монелл в Филадельфии, написал в 2009 году, что «разумно начать задумываться о способах усилить позитивные эмоциональные и информационные сигналы, скрытые в телесных запахах, при этом одновременно снижая сознательное негативное восприятие запаха». Эти способы могут задействовать смещение среди наших кожных микробов таким образом, чтобы сильные запахи уменьшились, а другие, более скрытые сигналы стали более выраженными. Возможно, однажды мы сможем применить на себе обонятельный эквивалент корректора частотной характеристики звука, модулировать и усовершенствовать наши пахучие идентичности, понизить козла и повысить фрукт.

НАХОЖДЕНИЕ САМИХ СЕБЯ В ПРОДУКТАХ

Тем временем мы уже проявляем наш совершенно естественный интерес к телесным запахам более социально приемлемым способом, чем обнюхивание себя и друг друга: наслаждаемся ими в наших пище и питье.

Если вы вернетесь и просмотрите таблицу подмышечных запахов выше, вы увидите, что индивидуальные летучие компоненты обладают качествами, которые исследователи описывают как котов, козлов, сыр, кумин, мясо, лук, грейпфрут, черную смородину. Они ссылаются на этих животных и продукты, потому что те же самые или очень похожие молекулы возникают в этих животных и продуктах. Мы определяем пахучие характеристики индивидуальных летучих молекул посредством нашего прошлого опыта с ними, а также воспоминаний и ассоциаций, возникающих из этого опыта.

Но вспомните пример Алекса Аталы и его похожих на лимонник амазонских муравьев: для жителей Амазонии, никогда раньше его не пробовавших, лимонник по вкусу напоминает муравьев. Поскольку наше описание запахов зависит от того, в чем мы ощущаем их в первый раз или наиболее часто, интересно сделать паузу и обратить внимание на то, когда и где человеческие существа впервые встретили бы характерные телесные летучие молекулы. Ясное дело, запахи тел наших предков были бы им знакомы со времен их самых ранних дней в Африке, задолго до того, как они повстречали европейских козлов, овец и лук, задолго до того, как они пожарили мясо или изготовили сыр, даже до того, как они официально стали *Homo sapiens*. Итак, телесные запахи были бы их точкой отсчета для тех же самых или похожих летучих молекул, возникающих в других животных, в луке и жареном мясе, фруктах, кокосах и пряностях.

Что это может значить? Для ранних людей, возможно, столкновение с запахами самих себя в корнях, опаленных огнем продуктах и ароматических семенах сделало эти первоначально чуждые материалы более приближенными в качестве продуктов: первобытная версия «Если это тебе нравится, попробуй это». Возможно, первые земледельцы даже стали культивировать человеческие запахи в некоторых продуктах. В сырах, к примеру. Сыр — твердая концентрация белков и жиров, таких же основных ингредиентов нашего тела, и поверхность свежеприготовленного сыра с готовностью колонизируется теми же самыми питающимися белками и жирами бактериями, которые живут на нашей коже. Некоторые традиционные сыры созревают посредством трудоемкой обработки похожим на пот соляным раствором в течение дней или недель, и эти сыры развивают запах, очень близкий к запаху «пальцевого сыра». Зачем так напрягаться — или напрягаться похожим образом, изготавливая многие другие сыры с сильными животными запахами, — когда свернувшееся соленое молоко и так прекрасно обойдется без всего этого? Долж-

но быть, эти запахи доставляли удовольствие как они все еще делают, по крайней мере, для любителей лимбургера, эпуса и аппенцеллера. Ранние сыровары обнаружили, что они могут превратить пресное свернувшееся молоко в один из наиболее сенсорно стимулирующих материалов в мире. Возможно, некоторые также обнаружили, что они могут сделать запах сыров немного похожим на свой собственный и таким образом придать им человеческую нотку, прикосновение их создателя.

Если это звучит притянута за уши, подумайте об утверждении ценителей в Китае, где слабые телесные запахи развились задолго до изобретения сыра, где частое купание давно было общепринятым, где молочное хозяйство было редким. Китайцы обожают пахучие продукты, включая печально известные гнило-ферментированные «вонючие» овощные и соевые продукты (см. с. 437, 439), но многие не выносят западных сыров. Чтобы выяснить почему, Фуксия Данлоп, английская специалистка по китайской еде, привезла набор сыров в Шаосин, столицу «вонючей» готовки, и предъявила их нескольким известным китайским шеф-поварам. Как она сообщила в статье в *Financial Times* 2011 года, шеф-повара сказали ей, что «у сыров был сильный шан вей (запах баранины)». Древний термин, используемый южными китайцами для описания слегка неприятных вкусов, ассоциируемых с северными кочевниками. Другой сказал, что набор «пахнет как русские». По крайней мере для некоторых китайцев сыры пахнут как козлиные чужестранцы, изготавливающие их, а совсем не как их собственные вонючие овощи, которые задействуют мало расщепления белков и вырабатывают только общие кислоты с короткой цепью и серные летучие молекулы.

Сегодня запахи человеческого тела могут быть социально постыдными, но для детей и втайне для взрослых они часто неотразимы. Сыры, пахнущие ногами, козлиная ягнятина и руно, лук, чеснок и потные пряности, вино и черная смородина с ноткой кошачьей мочи —

все они предоставляют летучие молекулы, напоминающие нам самих себя и друг друга, но в чем-то ином, кроме нас самих, в непостижимой степени и в моменты по нашему выбору. (Животные ингредиенты в парфюмах делают нечто похожее, см. с. 370.) Мы не то чтобы любим эти запахи так, как мы любим запах

клубники или розы, и многие люди активно не выносят их. Но они привлекают наше внимание, моментально превращают нас в нос с ног до головы, потому что они когда-то были центральными в нашей животной жизни, и мимолетно возвращают ей это утраченное чувственное измерение.



Часть 3.

**НАЗЕМНЫЕ
РАСТЕНИЯ:
НЕЗАВИСИМОСТЬ,
НЕПОДВИЖНОСТЬ,
ВИРТУОЗНОСТЬ**



ГЛАВА 7.

СЛАДКИЕ ЗАПАХИ УСПЕХА

*...Шатры их миновав
С тенистой дубравой, где от Нарда
И Кассии благоуханье веет,
Приходит [архангел Рафаил] в блаженную долину.
Там юная природа шаловливо
Дала простор фантазии своей
И девственной дикой красотой
Затмила все искусства чудеса.
Наш праотец, близ кущи отдыхавший,
Архангела заметил приближенье...*

Джон Мильтон, «Потерянный рай», книга 5, 1674 год
(перевод О.Н. Чюминой)

Наконец-то объекты, пахнущие хорошо! Цветы, пряности и леса — объекты, которые действительно можно понюхать, достойные того, чтобы делать благоуханным воображаемый рай, и все они творения царства растений. Эта и следующие несколько глав посвящены наземным растениям и их многочисленным радостным вкладам в осмокосм. (Мы доберемся до очень разнообразных водорослей и их родственников в главе 15.)

Зачем относить ботанические удовольствия в конец после минеральных и животных смрадов? Отчасти чтобы более полно оценить контраст. И отчасти потому, что растения продвинули возможности летучих молекул куда дальше минерального и животного миров. Хотя животные — изощренные аватары Героя-Углерода, способные ощущать свое окружение и двигаться по собственному усмотрению, их летучие молекулы относительно немногочисленные, простые и случайные. Наземные растения-аватары Героя-Углерода, может, представляют собой что-то особенное, может, нет, но они гениальные химики. Их летучим молекулам несть числа, и они сотворены для специальных целей — ча-

сто для эксплуатации чувств и подвижности их соседей-животных. Любое удовольствие, доставляемое нам растениями, также служит в их собственных интересах.

В версии библейского сотворения Джона Мильтона сладкие растительные запахи — следы первоначальной невинности мира, свободы от зла и смерти, которая в нем царила, пока Адам не съел плод дерева познания. Что ж, согласно знанию, собранному потомками Адама с этого дерева, запахи растений — это на самом деле продукт пограничья жизни и смерти, борьбы живых существ, пустивших корни в землю, чтобы выжить на планете, кишящей голодными животными. Несмотря на всю красоту поэзии Мильтона и лежащей в ее основе традиции, научный отчет вызывает свое собственное чувство удивления и благодарности. Сладкие растительные запахи еще более ценны за то, что они добыты с таким трудом.

Растения, обитающие на Земле, одновременно уязвимые и изобретательные. Они не могут убежать от пожирателей и искать друг друга, чтобы произвести потомство. Но, как потомки микробов, создавших фотосинтез

эпохи назад, они имеют доступ к избыточной энергии солнца и углерода в воздухе. И они вложили эти ресурсы в уникальное изобретение и производство углеродных цепочек и колец, тысячи тысяч различных видов, и в количествах, достаточных для того, чтобы образовывать массивные деревья. Часть этого материального богатства они используют, чтобы не дать рыскающим животным кормиться ими, а часть — чтобы пригласить животных помочь им произвести потомство. Их очевидные изобретения включают в себя защитные структуры (типа шипов и коры) и манящие цветы и плоды. Их невидимые, но пахучие изобретения могут действовать как снарядоподобное химическое оружие и предупреждение, а также как подзывающие цветочные и наливающиеся парфюмы. Растения вырабатывают летучие молекулы, чтобы убедить животных как пощадить их, так и послужить им.

Летучий репертуар растений куда как обширней стандартного стартового набора жизни и белковых фрагментов животных тел. Это рог изобилия, до краев наполненный темами и вариациями углеродных цепочек, и колец, и запахов. Многие из наших любимых преуспели вдвойне. Они помогли их создателям выжить в мире природы, а затем убедили наш вид забрать их создателей из диких мест и лелеять их в садах и на фермах.

Так вперед, на блаженные поля! Вот короткая карта последующих страниц. Эта глава кратко зарисовывает историю успеха царства растений и рассматривает основную головоломку: почему человеческие животные находят его антиживотное оружие сладким и блаженным? Следующая глава представляет нам основные семейства растительных летучих молекул: почему и как они произведены, некоторые из их хорошо известных членов, а также запахи, вносимые ими в осмокосм. Затем, главы 9 и 10 прослеживают путь через виртуальный ботанический сад, указывая на индивидуальные растения, представляющие интерес, и летучие молекулы, вносящие вклад в их запахи. А главы с 11 по 13 ведут через

воображаемые рынки, имеющие в продаже съедобные растения: кухонные зелень и душистые травы, семена и пряности, фрукты.

Сперва все это может показаться немного обескураживающим. Так много молекул, так много растений! Но нам крупно повезло, что Герой-Углерод излил такое изобилие и того и другого. Нет необходимости читать эти главы по порядку. Не стесняйтесь бродить, перепрыгивать, возвращаться назад и делать паузу, как вас ведут ваши собственные нос, разум и опыт.

ОЗЕЛЕНЕНИЕ И АРОМАТИЗАЦИЯ ЗЕМЛИ

В главе 1 я предложил вам вообразить себя в роли помощника Шеф-повара космоса, следовать за запахами, пока он медленно закипал, а наша планета развивалась. Мы поставили эту историю на паузу вскоре после Великого окисления, когда успех первых фотосинтезирующих микробов, предков царства животных, очистил атмосферу Земли от вулканического и анаэробного сульфида водорода. Давайте продолжим с того места, на котором мы остановились, и узрим возникновение растений и их запахов.

Облачитесь в свою белую поварскую куртку и вновь наклонитесь над Землей, наблюдая и нюхая, пока время неуклонно летит вперед. В течение долгого промежутка времени, вероятно, мало что меняется. Вы и Шеф-повар видите планету, по большей части голубую от ее широких океанов воды, и различные пустынные массивы суши, усеянные вуканами и сверкающими озерами, которые медленно растут, и уменьшаются, и растут, и в итоге занимают треть поверхности, постоянно смещая позицию. От вулканов и отверстий поднимаются периодические клубы сульфида водорода, аммиака и других первобытных летучих молекул, а от вод — более мягкие метилсульфиды, амины и приморские летучие молекулы хлора и брома.

Затем, спустя пару миллиардов лет, происходят изменения, в первый раз заставляющие

вас вдохнуть поглубже и расплыться в улыбке. Они происходят в трех накладывающихся друг на друга фазах.

Примерно 500 миллионов лет назад массивы суши собрались вместе и сформировали три основных континента у Южного полюса. Вы видите, как их края, озера и реки обретают зеленые очертания, и вы улавливаете запахи зеленой листвы, сперва очень слабые, затем все сильнее и сильнее, в то время как распространяется зеленая окраска.

Затем отдельные континенты постепенно поворачиваются и сливаются в массив суши, покрывающий одну сторону планеты от полюса до полюса: сверхконтинент, известный как Пангея. Его пустая поверхность наполняется зеленью, особенно вдоль экватора. И вверх вздымается всплеск древесных запахов, кедровых и сосновых.

Затем Пангея начинает раскалываться, на этот раз — на массивы, смутно напоминающие известные нам континенты: карикатуру Южной Азии, восточный срез Северной Америки, основную массу Южной Америки, Антарктиду и Австралию. Клинообразный кусок от восточного берега Африки медленно движется на север, сталкивается с Южной Азией и образует протяженный полуостров Индии. А вверх от этих масс поднимается калейдоскоп запахов, цветочных и фруктовых, мятных, пряных, становящихся все более и более сложными, по мере того как континенты оседают в текущую конфигурацию.

То, что лицезрели вы с Шеф-поваром, — это то, как Герой-Углерод принял на себя высокую ответственность за царства растений на суше Земли и перепрыгнул на новый уровень космической игры сложности. Если прошлые миллиарды лет только что минули бы для вас за час, тогда первые запахи зеленой листвы пришли бы примерно полчаса назад, лесные запахи — спустя пятнадцать минут после этого, цветочные-фруктовые-пряные-мятные — спустя еще пять минут, а всплеск вариаций этих тем — всего две минуты назад.

Теперь давайте взглянем поближе и понюхаем сами растения.

ЖИЗНЬ РАСТЕТ... ВВЕРХ

История богатств летучих молекул царства животных начинается с его оккупации суши и воздуха над ней. Твердая поверхность Земли была пустынной, когда ранние формы фотосинтезирующих водорослей выбросило на берег пятьсот миллионов лет назад. Там не было никакого подобия хорошей глинистой почвы, просто неоднородные останки каких бы то ни было микробов-первопроходцев, сумевших выжить на мокрых минералах. Многоклеточные водоросли могли процветать как простые широкие полосы, все их клетки омывались водой и освещались солнечным светом, и ранние наземные растения, возможно, не слишком-то и отличались, нечто вроде тины в луже. Но жизнь на суше побудила первопроходцев развивать третье измерение. Вода и минералы скапливались в трещинах, расщелинах и выветренных каменных обломках на земле, в то время как солнце светило сверху. Эти жизненно важные ресурсы тянули растительную архитектуру в разных направлениях и со временем вытянули ее в продолговатую форму, с корнями, прощупывающими почву в поисках воды и минералов, зелеными фотосинтезирующими листьями, ищущими солнце, и набором соединительных трубок между ними.

Самые ранние из этих наземных форм были предками современных низкорослых мхов и печеночников. Затем Герой-Углерод разработал молекулярную инновацию, в конечном итоге поднявшую растительные ткани на сотни ярудов вверх: материал под названием лигнин, от латинского слова «древесина», придающий древесине высоких деревьев ее механическую прочность, химическую стабильность и устойчивость к атакам микробов и животных. Лигнин* — не одна-единственная определяемая молекула. Это соединение бесчисленных маленьких строительных элементов в крепко связанную трехмерную сеть,

* Лигнин — один из представителей класса природных полимеров.

которую можно бесконечно увеличивать. Строительные элементы — кольца шестиуглеродных атомов, разнообразно «украшенных» короткими углеродными цепочками и атомами кислорода. Растительные клетки откладывают лигнин в стенках, окружающих и удерживающих их вместе.

Лигнин поднимает растения над землей двумя разными способами. Он образует сплошной жесткий молекулярный скелет, способный поддерживать структуры весом в несколько тонн. И он отталкивает воду и, таким образом, является идеальной жесткой внутренней оболочкой для трубок, проводящих воду от корней до листьев. Лигнин дал растениям возможность развивать большие участки собирающих свет тканей — пологи листьев, которые могут занимать сотни квадратных ярдов, — и поднимать их над близлежащими заграждениями, включая другие растения. Первыми экспериментально древовидными растениями были мхи, папоротники и хвощи. В течение нескольких сотен миллионов лет они распространились по массивам суши, создали почвы, растворяя камни своими кислотами и сбрасывая свои собственные остатки, выросли до пятидесяти ярдов в высоту и сформировали густые леса. Из растительных семейств, с которыми мы знакомы сегодня, хвойные деревья и гинкго возникли примерно сто миллионов лет спустя после этих ранних лесов, а первые цветущие растения и лиственные деревья — спустя сто миллионов лет после этого, за сто миллионов лет до настоящего времени.

Лигнин был таким удачным изобретением, что в наши дни он составляет треть всей биомассы на планете; и большая часть индустриализованного мира работает на энергии, извлеченной из окаменелых остатков первых превратившихся в древесину лесов, углеродных отложений, которые мы называем углем. Как мы увидим, хотя лигнин и его строительные элементы сами не являются летучими молекулами, они источник многих знакомых

запахов в наши дни, как противных, так и приятных.

ПРЕИМУЩЕСТВО РОСТА: ИЗОБИЛИЕ ЭНЕРГИИ И УГЛЕРОДНЫХ ЦЕПОЧЕК

Обильные запахи царства растений не существовали бы без обильных ресурсов, которыми оно обладает для создания углеродных цепочек и колец. Как потомки водных микробов, которые изобрели фотосинтез миллиарды лет назад, наземные растения могут собирать обширные количества энергии из солнечного света и углерода из оксида углерода (IV) в воздухе. Самое внушающее благоговение свидетельство этой мощи — массивность деревьев. Рекордсмены, секвойи в приморских и горных лесах Калифорнии, весят множество тысяч тонн^{**} и высотой превышают двадцатипятиэтажные здания. Почти вся эта масса — Герой-Углерод в обличье поддерживающих древесных колец и цепочек, лишь с крошечной долей фотосинтезирующих клеток листьев и активно растущих кончиков веток. Эта экстравагантная конструкция была названа «обломками фотосинтеза»: до тех пор, пока солнце светит, и температура подходит для работы всех химических структур, из листьев продолжают потоком излучаться новые углеродные цепочки, гораздо больше, чем необходимо для поддержания работы живых клеток, и растению нужно что-то с ними делать. Деревья превращают многие из них в древесину, которая такая долговечная, что она накапливается, год за годом, кольцо за кольцом.

Это изобилие энергии и углерода также предоставляет растениям свободу действий, чтобы направить часть этого на создание других молекул, позволить Герою-Углероду исследовать новые структуры, новые строительные элементы, которые могут пригодиться для той или иной цели. Одним из способов того, как это может произойти, как если рас-

^{**} Вес древесины, получаемой с одного растения, может достигать 1000–2000 тонн, но редко когда превосходит эти цифры.

тения создадут дополнительные копии своих генов, одна копия одного гена мутирует, и измененный продукт этой мутации в конечном итоге приведет к какому-нибудь улучшению или полезному дополнению. У некоторых растений вдвое больше генов, чем у нас, и большинство растений синтезируют куда большее разнообразие молекул, чем мы, несмотря на отсутствие мозга и мышц.

Среди этих различных растительных молекул есть те самые летучие молекулы, наделяющие деревья и душистые травы, цветы и плоды их запахами. Они не являются частью жизненно важных фотосинтезирующих структур, или вырабатывающих клетки структур, или поддерживающих материалов, но они вырабатываются обходами путей выработки этих важнейших элементов. Эти обходы продолжают существовать, поскольку их летучие продукты оказались адаптивными: они помогли растениям процветать на суше, успешно справившись с местными трудностями.

ТРУДНОСТИ РАСТИТЕЛЬНОЙ ЖИЗНИ НА СУШЕ: САМОЗАЩИТА

Величайшей угрозой успеху ранних наземных растений было присутствие других форм жизни, которые могли воспользоваться их продуктивностью и неподвижностью и поглотить их в качестве пищи. Приспосабливающиеся микробы последовали бы за ними из воды, и есть ископаемые свидетельства того, что некоторые из первых земных животных, предки племени насекомых, жевали листья и пронзали проводящие жидкости трубки очень рано в истории растительной жизни, когда она все еще ограничивалась мокрыми прибрежными участками.

Растения преодолели свою физическую уязвимость, вложив часть своих значительных ресурсов в антимикробные и антиживотные

средства защиты, как физические — укрепленные лигнином ткани, — так и химические. Они были зрелищно изобретательны с химическими средствами защиты, реагирующими и вредящими жизненно важным системам их врагов: считается, что количество растительных токсинов составляет десятки тысяч. Многие из них нелетучие. Танины, молекулы, вызывающие во рту сухое, жесткое ощущение, испытываемое нами, когда мы пьем чай и красное вино, — древние нелетучие токсины; более новые включают в себя горькие алкалоиды типа кураре*, стрихнина и никотина и молекулы, высвобождающие цианид.

Однако летучие средства защиты имеют то преимущество, что они запускаются в воздух, словно снаряды, они распознаются животными сенсорными системами на некотором расстоянии и в следовых количествах и, таким образом, вероятно, останавливают пожирателей до того, как они успеют причинить значительный ущерб. И, поскольку многие насекомые полагаются на летучие молекулы, чтобы распознавать своих собственных друзей и врагов, растительные летучие молекулы, имитирующие их сигналы, могут запутать их и направить в ложном направлении. По факту большая часть летучих молекул, испускаемых растительными листьями и семенами, а также древесиной и корой деревьев, — предупреждение и оружие, помогающее им защищаться от животных и болезнетворных микробов. Запахи свежескошенной травы, мяты и лаванды, ванили и гвоздики, сосны, кедра и корицы — все пары химического оружия!

Комбинация жесткого лигнина и состоящих из маленьких молекул химических средств защиты хорошо сработала для наземных растений. В океанах большая часть дикой растительной биомассы, производимой каждый год, поглощается животными, но на

* Кураре не является самостоятельным веществом. Это собирательное название ядов Стрихноса ядоносного. Один из основных компонентов яда — тубокурарин. Он изучен наиболее хорошо.

суше съедается меньше пятой части. В океанах, по подсчетам, животные перевешивают растения в коэффициенте тридцати; на суше растения перевешивают животных в коэффициенте тысячи. Сладкие запахи вносят вклад в это различие.

ТРУДНОСТИ НАЗЕМНЫХ РАСТЕНИЙ: ПОЛОВОЕ СНОШЕНИЕ И ЦВЕТОК

Вторая главная побуждающая выработку запахов трудность для растений, застрявших на месте на суше: как бы им суметь передать свои хрупкие репродуктивные клетки друг другу, чтобы те слились и породили следующее поколение? Водные растения могли бы просто высвобождать частички самих себя в окружающую воду, но клетки, подвергнувшиеся влиянию воздуха, быстро теряют влагу и умирают. Ранние растущие в болотистой местности мхи и папоротники обходились тем, что вверяли обнаженную сперму, яйцеклетки и плодородные споры стоячей воде и каплям дождя и росы. Позже растительные формы разработали бронированные транспортные средства для спор и затем для сперматозоидов, структуры, которые мы называем семенами и пыльцевыми зернами; и посредством них и при помощи ветра гинкго, саговники и предки хвойных деревьев колонизировали более сухие регионы и стали господствовать на протянувшемся через всю планету континенте Пангее. Затем Герой-Углерод переключил свое внимание на яйцеклетку и придумал удивительную структуру, которую мы называем цветком. Когда Пангея раскололась, цветущие растения начали свой путь к господству в царстве растений и внесли свой особый вклад в запахи Земли.

Важная отличительная черта цветка — завязь, оболочка растительной ткани, обволакивающая яйцеклетки и образуемые ими семена. В то время как хвойные деревья и саговники защищают яйцеклетки в тайниках жестких шишек, цветковые завязи обнажен-

ные и незатвердевшие. Они предоставили новую репродуктивную платформу, которую растения могли формировать и украшать и, таким образом, исследовать новые способы комбинирования генов разных родителей.

Для нас именно украшающие структуры определяют цветок, прежде всего лепестки, чье английское название *petals* происходит от древнего корня, обозначающего «расширяться» (раскрываться). Лепестки — скопление листообразных полосок, крепко покрывающих цветок в то время, пока он созревает, затем раскрывающихся и обнажающих изящные пыльценосные тычинки, стебельки под названием «рыльца», принимающие пыльцу и передающие ее яйцеклеткам в завязи, — и внутренние поверхности самих лепестков, зачастую красиво окрашенных, узорчатых и ароматных. Эти визуальные и обонятельные черты, так мощно импонирующие нашему чувству прекрасного, имеют очень практическую функцию. Они рекрутируют специальных агентов, чтобы переносить пыльцу с одного растения на другое куда более эффективным и избирательным способом, чем могут вода и ветер.

Этими агентами были по большей части насекомые, которые летали над землей с эпохи ранних семенных растений. Первыми насекомыми-опылителями, возможно, были жуки и мухи; последующими рекрутами, когда Пангея раскалывалась, стали предки современных мотыльков и бабочек и в конце концов ранние пчелы. Визуальные узоры и летучие молекулы помогают привлечь внимание насекомых, пока они все еще находятся на некотором расстоянии от цветка, привести их к нему и помочь им узнать и найти надежные источники сахарного нектара, их главного побуждающего стимула для того, чтобы прилетать и случайно переносить пыльцевые зерна. Есть много вариаций на эту тему рекрутирования насекомых на роль посредников, и многие цветущие растения — особенно травы — все еще полагаются на ветер, и поэтому они ни показ-

ные, ни ароматизированные. Но цветочная платформа предоставила растениям доступ к крупнейшей животной группе на планете (есть где-то примерно три миллиона различных видов насекомых), а с ним и уникальную способность исследовать новые партнерства и репродуктивные стратегии.

Результаты этого исследования впечатляют. Сегодня есть примерно 1000 видов нецветковых хвойных деревьев и их близких родственников, но 250 000 видов цветущих растений. Запахи цветов как сладкие, так и пленительные; мы погрузимся в изучение их десятков в главе 10.

ТРУДНОСТИ НАЗЕМНЫХ РАСТЕНИЙ: ПОТОМКИ И ПЛОДЫ

Третья проблема, которую было необходимо решить наземным растениям: как бы им распространить свое потомство по миру? У водных растений нет такой проблемы: репродуктивные клетки водорослей встречаются в воде рядом со своими родителями и развиваются независимо от них. Но зародышевые потомки наземных растений развиваются, будучи крепко прикреплены к сидящим в земле родителям. Если семена просто отсоединяются и падают, когда они созревают, они соревнуются друг с другом и со своими родителями за один и тот же маленький клочок почвы. Поэтому наземные растения разработали несколько разных систем транспортировки семян, чтобы помочь своим потомкам покинуть дом. Цветущие растения были особенно изобретательны. Некоторые придумали переносимые ветром пушинки, другие — цепляющиеся за шерсть и растения колючки. Опять же, другие пользуются животным миром по полной — его подвижностью, и чувствительностью, и голодом, — они сопровождают свои семена показными массами питательных веществ, чтобы животные их обнаружили, унесли прочь и поглотили, а в процессе рассеяли невредимое семя

или два. Эти массы — мясистые плоды, определенно самые вкусные продукты питания в мире природы благодаря их обеспеченности вкусными сахарами, кислотами и ароматными летучими молекулами.

Ботаники определяют плод как любую структуру, произведенную от завязи цветущего растения и несущую семена, включая пушинки и колючки, орехи в скорлупках и зерна пшеницы и кукурузы. Мясистые плоды — просто обычные плоды (фрукты) в повседневной речи и в последующем в этой книге; они стали особенно популярными сопровождающими семян с относительно недавним появлением птиц и млекопитающих. Плоды, нацеленные на этих животных, имеют тенденцию сначала быть терпкими на вкус и незаметными, зелеными, как окружающая листва, до тех пор пока семена не созреют. На этой стадии они привлекают местных животных службы наливом: изменяют цвет, испускают летучие молекулы и становятся мягкими и сладкими внутри. В высшей степени эффективная, эта система побуждает животных поглотить плодовую мякоть, не повреждая все семена; те, что были проглочены целиком, даже имеют то преимущество, что их отложат в питательной куче помета.

Растения развили наборы цветочных запахов, чтобы установить опылительные отношения с насекомыми, а плодовые летучие молекулы — чтобы установить соглашения о рассеивании семян с более крупными животными, включая наших предков. «Цветочный» и «фруктовый» — широкие категории для описания запахов, и они действительно накладываются друг на друга, но различие заложено в биологии и полезно. Цветочные запахи не имеют немедленной биологической значимости для нас. Фруктовые запахи и вкусы, с другой стороны, — наш первозданный шаблон для чувственного богатства продуктов, для сладости и, таким образом, для наших собственных возможностей создания сладости. Куда больше о цветах, плодах и готовке — в следующих главах.

ЛЕТАЮЩИЕ ЦВЕТКИ И ПОЛЗАЮЩИЕ ПРЯНОСТИ

Помните амазонскую повариху Дону Бразил бразильского шеф-повара Алекса Аталы, думавшую, что его азиатские имбирь и лимонник на вкус были совсем как ее местные муравьи? Для любого, кто закупается в супермаркете, направление ее сравнения звучит абсурдно. Но отступите от случайности личного опыта, спросите, муравьи ли или растения должны быть точкой отсчета, и оказывается, что точка зрения Доны Бразил ближе к истине первоначального взаимоотношения между растениями и насекомыми. Вполне возможно, что насекомые первыми выработали многочисленные летучие молекулы с пряными, цветочными и фруктовыми запахами, задолго до того, как появились травы, лимоны и имбирь. По крайней мере, насекомые побудили растения вырабатывать многие из летучих молекул, испускаемых ими в наши дни, и заслуживают доли признания за то удовольствие, что приносят нам растения.

Насекомые — потомки креветкообразных существ, которые были первыми животными, выползшими из воды на сушу. Когда они это сделали, эти первопроходцы и растения, предшествовавшие им, вынуждены были приспосабливаться к присутствию друг друга. И те и другие развили системы парящих в воздухе сигналов, чтобы общаться со своими сородичами и друг с другом.

Неподвижные растения в основном нуждались в способах отбить у животных охоту кормиться ими, и они могли и сумели это сделать при помощи откровенно токсичных молекул, летучих и нелетучих. Но они также могли предотвратить первый укус, испуская собственные тревожные или отпугивающие летучие молекулы самих вредителей, чтобы сбить их с толку, или летучие молекулы, привлекающие других животных, питающихся видом вредителей. И преимущество, возможно, досталось ранним растениям, сумевшим привлечь животную компанию.

Их потомки, мхи и печеночники, — продуктивные летучие химики, способные синтезировать членов всех основных семейств растительных летучих молекул. Некоторые из этих летучих молекул привлекают крошечных «микроартроподных» родственников насекомых, ногохвосток и клещей, чье присутствие, похоже, способствует передаче репродуктивных клеток от одного растения к другому. Звучит знакомо? Это примитивная версия опыления насекомыми, возможно предшествовавшая эволюции цветка на сотни миллионов лет.

Австрийский биолог Флориан Шистль произвел изыскания, какие линии наследования растений и насекомых способны производить какие летучие молекулы, и предполагает, что «растения используют собственный химический язык самих насекомых, чтобы влиять на их поведение». Он обнаружил особенно явное свидетельство этому в случае цветков и насекомых, специализирующихся на их опылении. Предки мотыльков и бабочек развили химические структуры для выработки характерных цветочных летучих молекул под названием бензоиды задолго до того, как это сделали цветущие растения. (Неприметные угождающие мхам ногохвостки тоже вырабатывают бензоиды.) Менее очаровательно, но некоторые сородичи филодендрона и диффенбахии испускают те же самые летучие молекулы, которые привлекают жуков и мух к помету и падали животных и таким образом рекрутируют их в качестве опылителей и даже распространителей семян (см. с. 182).

Держа в уме эти удивительные взаимоотношения, вернитесь к главе 5, чтобы оценить перечень запахов насекомых — вонючих и прокислых, но также травянистых, фруктовых, цветочных — и особенно описание Фрицем Мюллером ароматной бразильской бабочки. Летящие цветы и ползающие амазонские пряности — отличные символы разделенного авторства летучих удовольствий растительного мира.

ЗНАКОМСТВО С РАСТИТЕЛЬНЫМИ ЛЕТУЧИ- МИ МОЛЕКУЛАМИ: ЗАПАХИ И АССОЦИИЦИИ

В следующей главе я представлю подборку летучих молекул, которые растения вырабатывают, чтобы выжить на планете, кишашей пожирателями и потенциальными партнерами. Ученые изолировали множество тысяч различных летучих молекул растений, хотя лишь несколько десятков из них ответственны за большинство запахов, которые мы бы узнали. Несколько десятков — это все равно много молекул и запахов, хотя они подразделяются на горстку характерных семейств, и между членами этих семейств часто есть семейное сходство.

Когда дело доходит до определения характерных пахучих качеств характерных молекул, вы заметите, что большинству приписывается более одного запаха. И часто эти несколько запахов не просто незначительные вариации основного запаха; они могут быть очень разными. Запах восьмиуглеродного спирта октанола, например, описывается как апельсиновый, гриб и дыня. Схожим образом одно пахучее качество может применяться к нескольким различным молекулам, как дыня — к октанолу, ноненолу и ноненалу. Не беспокойтесь: неразбериха заключается в самой природе цветов и в том, как мы ощущаем запахи. Растения откладывают бесчисленные различные молекулы в своих древесине, листьях, цветах и плодах просто потому, что они могут. Запах любого конкретного объекта — совокупность многих различных летучих молекул, из которых, возможно, преобладает десяток-другой. Поэтому несколько различных молекул могут напоминать нам один и тот же объект. А затем, с нашей стороны, мы встречаем многие из одних и тех же молекул в различных растениях — одна молекула может напоминать нам несколько различных объектов. Отчасти именно поэтому интересно об-

ращать близкое внимание на аромат. Когда мы это делаем, мы замечаем отголоски и созвучия в очень различных предметах.

В любом ощущении запахов задействуется субъективный элемент: у разных людей разная чувствительность к молекулам и разные связанные с ними ассоциации. Мало кому из нас, за исключением профессиональных дегустаторов ароматов и парфюмеров, когда-либо выпадает шанс понюхать чистые версии молекул, с которыми мы познакомимся. В последующих таблицах я основывался на широких описательных характеристиках молекул на сайте perflavory.com, распрекрасной сетевой базе данных, перечисляющей пахучие качества, указанные в профессиональной литературе о душистых и ароматизирующих веществах.

«ХИМИЧЕСКИЕ» ЗАПАХИ В ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Большинство растительных летучих молекул, с которыми мы познакомимся, обладают запахами, напоминающими нам их знакомые растительные источники, и они часто названы в честь этих источников. Например, ванилин — основная летучая молекула ванили; ментол — мяты; тимол — тимьяна; эвкалиптол — эвкалиптовых листьев; все пахнут как ваниль, мята, тимьян и эвкалипт соответственно. Однако некоторые растительные летучие молекулы, включая тимол и эвкалиптол*, обладают запахами, напоминающими нам менее приятные «химические» или «медицинские» источники: бытовые и промышленные средства типа скипидара, растворителей краски, дезинфицирующих средств и репеллентов от насекомых; и продукты для личной гигиены типа антисептиков, ополаскивателей для полости рта и обезболивающих мазей.

Для этих ассоциаций есть хорошая причина: мы, люди, используем растительные летучие молекулы многими разными способами, и

* Он же цинеол.

мы делаем это еще с доисторических времен. Прежде всего богатые летучими молекулами растения помогают отпугивать или убивать микробов, насекомых, грызунов и других вредителей, которые иначе наводнили бы наши жилища, склады и тела. Подумайте, например, о хранении одежды в сундуках из отпугивающей моль кедровой древесины. Даже эффективней самих растений концентрированные экстракты их летучих молекул. Мы знаем от римского писателя Плиния, что египтяне извлекали летучие молекулы из кедрового дерева, нагревая его и собирая вытекающее «масло», версию того, что мы знаем сегодня как скипидар. Три тысячи лет назад египтяне использовали кедровое масло для мумификации, чтобы предохранить человеческие и животные тела от разложения и вредителей (они использовали сырые древесные смолы за два тысячелетия до этого). В какой-то момент маслоподобные характеристики скипидара привели к его использованию человечеством в качестве первого хорошего растворителя жирных и смолистых материалов. Сосновый скипидар в конце концов стал стандартным ингредиентом всевозможных очищающих жидкостей, которым он также придал сосновый аромат, ставший ассоциироваться с чистотой.

Летучее масло эвкалиптовых деревьев появилось гораздо позже, его производство промышленного масштаба началось в Австралии примерно в 1850 году, но с тех пор оно использовалось как антисептик и репеллент от насекомых. Примерно в 1880 году доктор из Сент-Луиса смешал эвкалиптовое масло со спиртом и летучими маслами мяты, грушанки и тимьяна и создал универсальный антисептик, позже продаваемый как первый коммерческий ополаскиватель для полости рта (см. с. 101). По сей день производители стандартно используют ключевые летучие молекулы этих масел — эвкалиптол, ментол, метилсалицилат и тимол, чтобы составить рецептуру широкого ряда гигиенических и очищающих продуктов.

Так что определенные растительные летучие молекулы просто действительно пахнут как промышленные растворители, очистители и медикаменты. Большинство людей сегодня, вполне вероятно, встречают эти молекулы впервые и наиболее часто в ванных комнатах, больницах и торговых центрах, не в дикой природе и саду, где человечество впервые обнаружило и культивировало их. Чувствовать запах растения в продукте и продукта в растении — получать напоминание о том, что эти молекулы были изобретены растениями эпохи назад, играют центральную роль в растительной жизни и являются наследием, на которое мы продолжаем полагаться и по сей день, даже если мы производим некоторые из них сами.

НЕ СВЯЗАННЫЕ С ЗАПАХОМ ЛЕТУЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ: ОХЛАЖДАЮЩАЯ, СОГРЕВАЮЩАЯ, РАЗДРАЖАЮЩАЯ, УСПОКАИВАЮЩАЯ

Растительные летучие молекулы — одни из лучших антимикробных агентов, которые у нас есть, но есть другая, изумительно извращенная причина, по которой мы добавляем их в медикаменты. Точно так же, как они поражают микробов, они поражают нас: мы тоже существа, от которых растения защищаются. У нас, в свою очередь, есть несколько систем, оповещающих нас о потенциально токсичных химических веществах, и обонятельные рецепторы у нас в носу — часть как раз одной из них. Другие более широко распределяются по нашим открытым поверхностям — коже, глазам и внутренней оболочке рта, носа и каналов к легким. Они отправляют мозгу сигналы о том, что мы воспринимаем как ощущения раздражения, боли, физического прикосновения, а также тепла и холода. Так что запахи некоторых растительных летучих молекул сопровождаются не связанными с запахами ощущениями, тоже ставшими важной

частью нашего опыта с ними. И, как народная медицина признала тысячелетия назад, эти предупреждающие реакции на потенциальные токсины могут, как ни странно, быть полезными для нас.

Наиболее знакомые из этих имеющих не только запах летучих молекул — это те, с которыми мы сталкиваемся в безрецептурных лекарствах для облегчения кашля и боли. Ментол, характерная летучая молекула перечной мяты, вызывает ощущение прохлады и, как было доказано, уменьшает кашель и создает ощущение, что раздраженные дыхательные пути более открыты. Камфора, летучая молекула, содержащаяся в нескольких деревьях и душистых травах, создает ощущение тепла и даже раздражения, но, когда камфора в мази наносится на кожу, эти ощущения помогают облегчить мышечную боль. Эвкалиптол, тимол и метилсалицилат оказывают похожий эффект, и еще на наши нос и дыхательные пути. Так что, когда химики, специализирующиеся на ароматизаторах и парфюмерии, описывают сенсорные характеристики летучих молекул типа ментола или камфоры, они часто добавляют к запаху ощущения типа охлаждающий, согревающий, раздражающий, стимулирующий и успокаивающий.

Это феномен того, что растительные химические вещества вызывают другие ощущения, помимо запаха и вкуса, который называется «общее химическое чувство» (*chemesthesia*), *esthesia* от греческого слова «чувство». Оно все еще не очень хорошо понимается, но, поскольку боль — центральная проблема в медицине, это тема многих активных исследований. Один ключевой элемент — это то, что некоторые из тех же самых кожных молекул, ощущающих растительные летучие молекулы, также ощущают необычные изменения в температуре, или физическое давление — прикосновение, или реальный вред клеткам вокруг себя. Когда эти многофункциональные детекторы активируются, они, в свою очередь, вызывают ощущения, чтобы довести до нашего сведения то, что изменилось что-то

значимое. Сигнал может быть двусмысленным — то ли воздух стал прохладней, то ли мы только что вдохнули ментол, — но как бы то ни было, нас призывают обратить больше внимания на движение воздуха через наши нос и дыхательные пути.

Кажется, есть два ключа к успокаивающим и облегчающим боль эффектам растительных летучих молекул. Первый — это то, что, хотя некоторые летучие молекулы активируют конкретные детекторы, они также могут перегрузить и деактивировать их или же блокировать работу других, совершенно отличных детекторов. Второй ключ — это то, что многие различные детекторные системы влияют друг на друга, поэтому одна система может активировать другие или же предотвратить активацию других. Конкретные растительные летучие молекулы с заметными эффектами общего химического чувства каким-то образом оказались исключительно эффективны в активации конкретных детекторов и систем, и некоторые из них помогают замаскировать или снизить дискомфорт, вызванный травмой или болезнью. Так что в состав мазей, предназначенных для снижения мышечной боли, уже давно входят камфора, эвкалиптол, ментол, тимол и другие активаторы детекторов.

В таблицах растительных летучих молекул ниже я включил некоторые эффекты общего химического чувства, которые парфюмеры и дегустаторы ароматов приписывают этим специальным молекулам. Но не воспринимайте их слишком буквально или абсолютно. Например, ученые продемонстрировали, что камфора активирует те же детекторы, что и капсаицин, нелетучая молекула в стручковых перцах, которую мы ощущаем во рту как «горячую». Однако же некоторые эксперты по ароматам описывают камфору как охлаждающую. Учитывая то, что мы знаем о сложности детекторных систем, нет ничего удивительного в том, что наши ощущения и восприятия порой двусмысленны. Для исследователя запахов появление не связанных с запахами терминов общего химического чувства долж-

но быть просто наводящим на размышления общим предупреждением: эта молекула заставит вас почувствовать ваше дыхание. И помните, что они относятся к отдельным летучим химическим веществам, которые растения на самом деле испускают в богатых смесях. Когда мы сталкиваемся с ними в мире, мы можем заметить эти характеристики тепла или свежести, а можем и не заметить. Если мы замечаем, мы получаем намек на то, что они порой могут сделать более ясно и сильно в основанных на них медикаментах.

СЛАДОСТЬ РАСТЕНИЙ И ИХ ХИМИЧЕСКОЕ ОРУЖИЕ

Мое первое столкновение с отдельной растительной летучей молекулой в чистой форме произошло почти тридцать лет назад, когда я заказал образец тимоло, основной летучей молекулы тимьяна, у компании химических поставок. Он прибыл в маленькой бутылочке, устроенной на подкладке в крепко закрытой крышечке жестянке, с этикеткой, на которой была изображена выделяющаяся черная буква X на красно-оранжевом фоне, а также следующее предупреждение:

ИНГАЛЯЦИОННАЯ ТОКСИЧНОСТЬ,
ПРИ КОНТАКТЕ С КОЖЕЙ
И ПРОГЛАТЫВАНИИ.
ВЫЗЫВАЕТ РАЗДРАЖЕНИЕ ГЛАЗ, ДЫ-
ХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И КОЖИ.
ПОЛЬЗУЙТЕСЬ ЗАЩИТНОЙ
ОДЕЖДОЙ

Но троганье руками, вдыхание и проглатывание — это именно то, что мы делаем с тимьяном и другими душистыми травами и пряностями! Ничто не могло сделать ясней защитную природу растительных летучих молекул и наши парадоксальные взаимоотношения с ними: многие — опасные материалы, но все же мы наслаждаемся ими и используем их, чтобы ароматизировать свои продукты и даже самих себя.

Почему же это оружие не травмирует и не отпугивает нас? Частично по той причине, что мы сталкиваемся с этими веществами в малых дозах, как крохотные запахи в воздухе или акценты в наших продуктах, а не глотаем их огромными кусками, как это сделали бы жук или козел. Когда мы готовим или создаем отдушки, мы имитируем спелые плоды, смешивающие и разбавляющие многие растительные летучие молекулы, поэтому они служат в основном как сигналы, а не как оружие. Пожуйте побег тимьяна, заряженный тимолом, и вы на самом деле почувствуете боль. Но, разумеется, даже боль не обязательно отпугивает; многие люди любят черный и стручковый перцы именно из-за боли. Вот и другая причина: наши сенсорные системы существуют для того, чтобы быть простимулированными, и, когда мы не высматриваем опасность, сильные или сложные ощущения могут быть более привлекательными и приятными, чем их отсутствие.

Еще одной причиной, почему мы находим большинство растительных летучих молекул приятными, может быть то, что они просто отличаются от обычных животных и микробных летучих молекул. Вместо этих по большей части маленьких, случайных, вонючих отходов продуктов метаболизма растительные летучие молекулы обычно более крупные молекулы, от шести до пятнадцати углеродных атомов в длину, активно созданные самими продуктивными химиками-синтетиками на планете. Они символы изобретательности и роста, а не поглощения и опорожнения. Частично эта идея поддерживается исследованиями как Института Вейцмана в Израиле, так и Рокфеллеровского университета в Нью-Йорке, где изучили воспринимаемые характеристики летучих молекул, прося людей поочередно обнюхивать их широкий ряд и описать, на что похожи их запахи. Чем крупнее была молекула, тем с большей вероятностью нюхачи описывали ее как приятную.

Многие из растительных летучих молекул, с которыми мы познакомимся, имеют

приятную, успокаивающую характеристику, которая будет названа кодовым обозначением «сладкая», совсем как Джон Мильтон описал деревья и цветы Эдема как «девственную природу сладости». Сегодня слово «сладкий» обозначает в основном вкус сахара, а не запахи, и многие ароматические химики считают его применение к запахам ошибочным термином, возникшим из-за ассоциации некоторых запахов со сладкими вкусами. Тем не менее с ранних времен в староанглийском *sweet* значило «приятный» и применялось не только к съедобным сладостям, но практически ко всему в мире, что было каким-то образом благоугодным: виды, звуки, люди, их

характеры, обстоятельства. Есть апрельские сладкие дожди в первой строчке «Кентерберийских рассказов» Чосера и целые дюжины примеров у Шекспира, помимо розы Ромео, хоть розой назови ее, хоть нет. Сегодня специалисты по ароматизаторам и вкусовым добавкам стандартно применяют его к отдельным молекулам. В базе данных *perflavory.com* сотни различных молекул описаны как сладкие.

Царство растений — богатый источник ощущений, сладости и значимости, и все они возникают из углеродных цепочек и колец, некоторых из наших лучших молекулярных друзей. Пришло время познакомиться с ними.

ГЛАВА 8.

СЕМЕЙСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ: ЗЕЛЕННЫЕ, ФРУКТОВЫЕ, ЦВЕТОЧНЫЕ, ПРЯНЫЕ

Ранние яблоки начинают созревать примерно первого августа, но я думаю, что ни одно из них не так хорошо на вкус, как на запах. Яблоко более достойно того, чтобы надушить им свой платок, чем любой парфюм, которым торгуют в магазине. Аромат некоторых фруктов забываем, вместе с ароматом цветов. Какое-то жалкое яблоко, которое я поднимаю с дороги, напоминает мне своим ароматом все богатство Помоны...

Есть, таким образом, во всех природных продуктах некое летучее и невесомое качество, которое представляет их наивысшую ценность и которое нельзя опощить или же купить и продать. Ни один смертный никогда не наслаждался идеальным вкусом любого фрукта, и только богоподобные среди людей начинают вкушать эти амброзические качества. Ибо нектар и амброзия лишь эти изысканные вкусы каждого земного фрукта, которые наши грубые вкусовые рецепторы неспособны ощутить, совсем как мы занимаем небеса богов, даже не зная об этом.

Генри Дэвид Торо, «Дикие яблоки», 1862 год

В то время как английский поэт Джон Мильтон воображал Эдем как давно потерянный рай экзотических благоуханий, американский эссеист Генри Дэвид Торо обнаружил небесный запах в повседневном здесь и сейчас, в упавших на обочину яблоках. Для Торо запахи фруктов и цветов — земные наслаждения во всей красе, источник каких бы то ни было наших идей о рае или небесах. Его заскорузлое яблоко — уместный совет для исследователя запахов: есть много чего, чем можно насладиться в простейших вещах.

Именно во времена жизни Торо химиками в Германии и Англии были опознаны первые специфические молекулы амброзии Земли. Эти и тысячи открытых с того времени стали основой для крайне прибыльной химической промышленности и синтетических запахов произведенных продуктов и духов, продаваемых, и покупаемых, и опощенных,

несмотря на идеализм Торо. По большей части именно благодаря этой промышленности мы столько знаем сегодня о летучих молекулах царства растений в целом, от самых крошечных из мхов до гигантских секвой. Заимствуя из этой совокупности знаний, чтобы получить информацию о растениях, рядом с которыми мы живем и которыми наслаждаемся в пище, питье и парфюмах, мы можем предпринять попытку, косвенным образом предлагаемую Торо, чтобы культивировать наши вкусовые рецепторы и лучше оценить наш земной рай.

В этой главе я сначала опишу основные семейства растительных летучих молекул и как они вырабатываются. Затем я представлю конкретных членов каждого семейства, заметно фигурирующих в осмокозме и в последующих главах. Я кратко перечислю их названия, их пахучие характеристики и некото-

рые из объектов и материалов, в которые они вносят свой вклад.

Это не должно быть перебором с информацией для исследователя запахов, но это много информации, втиснутой в несколько страниц, и больше, чем кто-либо действительно может воспринять, читая все по порядку. Я предлагаю вам сперва бегло просмотреть ее, чтобы получить общее представление о семействах и объединяющих характеристиках их членов: некоторые «зеленые», некоторые пряные, некоторые фруктовые, некоторые «экзотические». Затем полистайте и найдите несколько конкретных характеристик или ароматических веществ, которые вас заинтересуют, и обратите внимание на названия молекул, входящих в их состав. Не зацикливайтесь на специфических химических названиях. Но, когда вы прочитаете последующие главы и заинтересуетесь конкретными молекулами, помните, что вы можете найти их в этой главе. Возвращайтесь в любой момент, когда вам захочется вновь познакомиться.

ТРАССЫ РАСТИТЕЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА

Давайте начнем с общего обзора того, где место летучих молекул в совокупном метаболизме растения. Растения получают энергию от солнца и сырые материалы из почвы и воздуха. Почва предоставляет воду и минералы, включая азот и серу, которые растения используют для постройки своих белковых структур. Воздух предоставляет оксид углерода (IV) для образования углеродных цепочек и кислорода, чтобы сделать этот процесс эффективным. Поскольку у растений нет анаэробной пищеварительной системы и мышечных структур, случайным образом ароматизирующих животное тело, среди их летучих молекул и запахов преобладают молекулы, специально изготавливаемые самими растениями.

У растения есть несколько основных систем для построения и поддержания самих себя. Я думаю о них как о трассах растительного метаболизма, их основных дорогах,

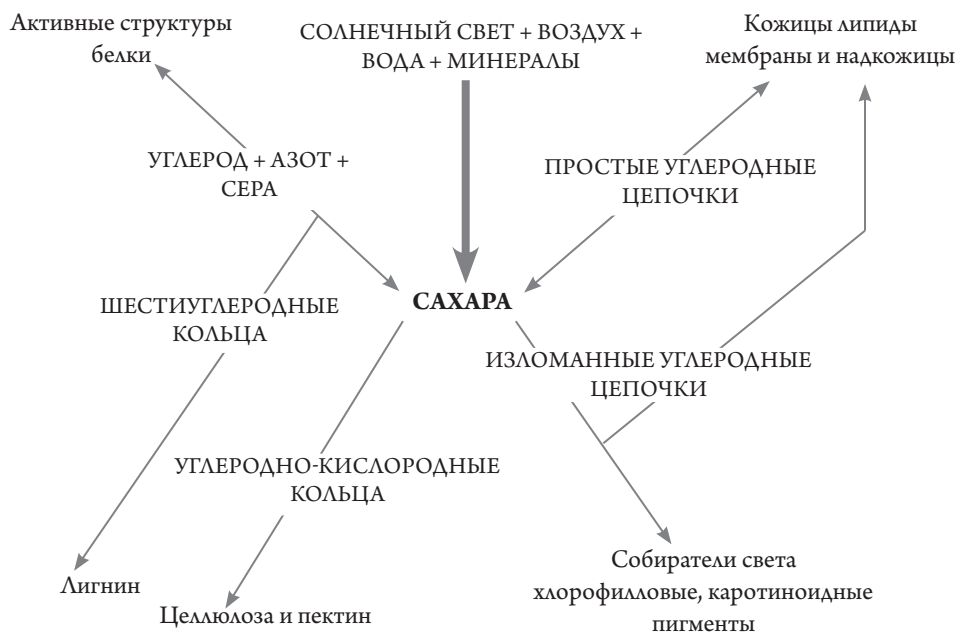
по которым многочисленные формы Героя-Углерода путешествуют, чтобы преобразовать почву, воздух и солнце в определяющие материалы растений. Чертеж ниже демонстрирует эти метаболические трассы в схематичной форме. Давайте коротко взглянем на общую карту.

Центральная вертикальная стрелка обозначает определяющий процесс фотосинтеза, в котором растения собирают отдельные углеродные атомы оксида углерода (IV) из воздуха в шестиуглеродные, шестикислородные сахарные молекулы. Эти сахара служат растению сырьем для построения большинства из его других бесчисленных углеродных цепочек и колец. Вот почему сахара в центре диаграммы.

Из Сахарного Центра лучами исходят стрелки, представляющие трассы растительного метаболизма. Каждая представляет множество индивидуальных биохимических реакций, постепенно преобразующих сахара, происходящие из фотосинтеза, в различные конечные материалы, составляющие живое растение. Я сгруппировал эти жизненно важные материалы в четыре основные категории: собирающие свет пигменты, структурные конструкции, защитные оболочки и активные структуры, поддерживающие функционирование клеток и растения в целом.

Начнем с трассы, идущей в верхний правый угол. Она приводит к физическим **кожицам** растений, оболочкам, которые покрывают индивидуальные клетки и отделяют их друг от друга, и тем, которые покрывают все растение и отделяют его от окружающей среды. Оба набора молекул кожиц — липиды, в числе простейших структур углерода, цепочки со случайным атомом-другим кислорода и, таким образом, типичный источник стартового набора летучих молекул жизни. Простые углеродные цепочки плохо смешиваются с водой (см. с. 32), и это делает их идеальными материалами для изолирования одной водянистой клетки от другой и целых организмов от дождей и иссушающих ветров. Объединяясь для образования материалов, которые мы называем маслами и жирами, они также

Растительные метаболические трассы



эффективная форма запасенной химической энергии.

Теперь вернемся к Сахарному Централу и последуем по трассе, ведущей в нижний правый угол. Углеродным атомам на этой дороге предназначено стать либо украшающими оболочными молекулами, либо **собирателями света**, пигментными молекулами, задействованными в процессе фотосинтеза. Зеленые хлорофилловые молекулы захватывают порцию энергии в солнечном свете, а оранжевые и желтые каротиноиды и ксантофиллы поглощают и рассеивают избыточную световую энергию, которая повредила бы хлорофилловым структурам. Эти молекулы более сложные, чем барьеры, все так же особенно длинные углеродные цепочки, но с изломами и изгибами.

Назад к Сахарному Централу, и теперь направляемся в нижний левый угол: углеродным атомам, путешествующим по этой трассе, предназначено сформировать **скелеты**, структурные конструкции, придающие растительным клеткам и растениям в целом

механическую прочность, чтобы противостоять силам гравитации и ветра. Одна ветка вырабатывает целлюлозу и пектины, длинные нити сахарных молекул, которые мы в общем называем волокном и которые растение откладывает в стенках своих клеток, чтобы склеить их вместе. Другая ветка вырабатывает жесткий лигнин, бесконечно расширяющиеся массы особенно жестких шестиуглеродных колец, покрывающих внутреннюю циркуляционную систему растения и связывающих целлюлозы и пектины вместе, чтобы образовать древесину.

Последняя трасса из Сахарного Центра, ведущая в верхний левый угол, — это дорога, которую углеродные атомы выбирают, чтобы стать аминокислотами и затем белками, **активными структурами**, исполняющими всю работу по созданию и расщеплению молекул растения. Это трасса, на которой к углеродным атомам присоединяются азотные и порой серные атомы, два элемента, повышающих вонь богатых белками животных тел.

А летучие молекулы? Они по большей части производятся на обходах этих главных трасс. Когда сахара путешествуют по той или иной трассе, подвергаясь изменениям атом за атомом и шаг за шагом, некоторые из переходных структур отклоняются во вторичные линии сборки, вырабатывающие другие наборы молекул, менее важные, чем конечные материалы, но все равно полезные. Именно на этих обходных дорожках Герою-Углероду предоставлена особая свобода действий, чтобы попробовать вариации и новаторские структуры, не ставя под угрозу основное функционирование растения, и он проделал это на целом множестве тысяч маленьких молекул. Эта гибкость позволяет растениям осуществлять специальные перестройки, необходимые для выживания в широком ряде вариантов окружающей среды. Характерные запахи разных растений возникли вследствие постепенного отбора летучих молекул, оказавшихся полезными для их предков.

ЛЕТУЧИЕ ОБХОДНЫЕ ПУТИ

Давайте освежим в памяти карту метаболических трасс и на этот раз наложим на нее сверху обходные пути, вырабатывающие значимые летучие молекулы и запахи. Начнем, двигаясь по верхней правой трассе к растительным и клеточным кожицам. Собственно говоря, мы попробовали первый обходной путь еще в главе 3, он включает простые углеродные цепочки стартового набора жизни — спирты и альдегиды с короткой цепью. Вернитесь к таблице на с. 58–60, и вы увидите запахи скошенной травы, огурца и дыни, фруктов, разделяющих эту свежую характеристику. Далее на этой же самой трассе — отклонения, вырабатывающие два разных набора фруктовых запахов: персик и кокос, а затем яблоко, груша, клубника и банан. А затем следует цветочный поворот, дуновение жасмина.

Уже упоительный букет запахов — и всего лишь с одного уголка карты!

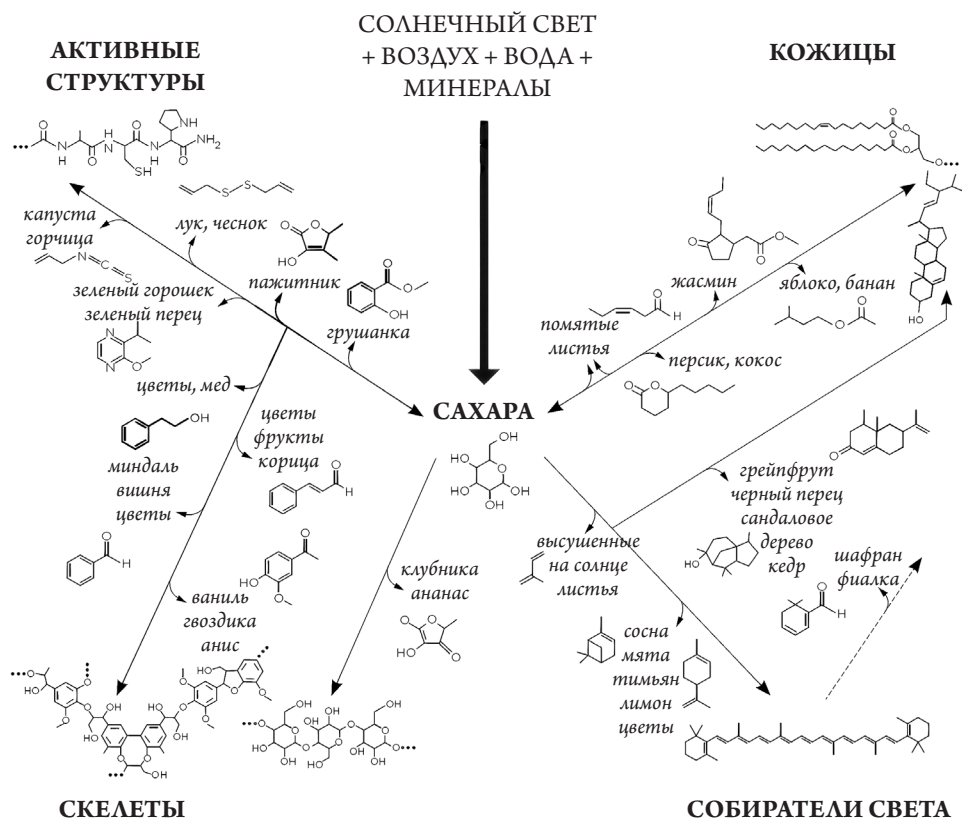
Теперь вернемся к Сахарному Централу и отправимся по трассе к нижнему правому

углу и собирающим свет хлорофилловым и каротиноидным пигментам. Следуйте первому повороту налево, к ветке, ведущей к растительным липидам, родственным животным холестерину и стероидным гормонам. Тут вы увидите обходной путь, включающий древесные и пряные запахи, а также грейпфрут. Теперь поверните обратно к основной трассе, и вы придете на обходной путь с сосной и эвкалиптом, а также мятой и тимьяном, лимоном и розой, диапазон от травянистых до цитрусовых и опьяняющих! А затем мимо пигментов к парочке их фрагментов, интенсивным и экзотическим цветочным запахам фиалки и шафрана.

Снова вернитесь к Сахарному Централу и на этот раз начните движение по ведущей вверх и влево трассе, где по пути формируются аминокислоты, чтобы послужить строительными элементами для конечных белков. Помните, как богатые белками животные испускают кое-какие довольно-таки неприятные продукты расщепления, содержащие азот и серу? Растения используют те же самые атомы для постройки своих собственных мощных летучих молекул. Один обходной путь выдает серные чесночные и луковые запахи; второй — серно-азотные горчицу, хрен и васаби. Но среди их агрессивности есть настоящие исключения. Более согласуются с другими растительными летучими молекулами обходные пути, отводящие азоту главную роль в зелено-овощных запахах, а также в характерных ягодных и цветочных запахах.

Теперь проследуйте по средней ветке от белковой трассы, ведущей в нижний левый угол. Она начинается с одной характерной кольцевой аминокислоты, фенилаланина, и ведет к лигнину, древесному поддерживающему материалу, состоящему в основном из углеродных колец. В начале этой ветки азот изымается из фенилаланина, поэтому летучие отклонения, следующие далее, не содержат азот. Вдобавок к еще одному набору цветочных и фруктовых запахов они вырабатывают молекулы, определяющие некоторые

Растительные летучие обходные пути: образцы запахов



из наших любимых пряностей: корицу, гвоздику, анис, ваниль.

Наконец мы возвращаемся к Сахарному Централу и трассе, ведущей к целлюлозе и пектину, структурным материалам, поддерживающим все растения, древесные или нет. Ее обходной путь может казаться относительно урезанным, но вырабатываемые им летучие молекулы — ключевые ингредиенты к двум нашим наиболее интенсивно ароматным плодам — ананасу и клубнике. Довольно-таки поразительно: эти чудесные молекулы создаются в ходе готовки без каких-либо плодов! Мы часто с ними сталкиваемся.

Итак, запахи растительного мира происходят из семейств сходных молекул, собираемых на обходных путях растительного метаболизма. Теперь, когда мы получили этот общий об-

зор их источников, давайте взглянем поближе на каждое из этих семейств и познакомимся с некоторыми из их членов.

ПРОСТЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ ЦЕПОЧКИ: ЗЕЛЕННЫЕ, СВЕЖИЕ АЛЬДЕГИДЫ И СПИРТЫ

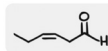
Мы начнем с трассы кожиц и ее по большей части простых прямых углеродных цепочек. Мы уже повстречали многих из них как членов стартового набора жизни. «Зеленый» и «свежий» — необычные описания для запахов. Мы видим зеленые цвета нашими глазами и чувствуем свежесть на коже. Но это типичные и подходящие термины для запахов, вырабатываемых спиртами и альдегидами с прямой цепью длиной от шести до десяти

углеродных атомов. Шестиуглеродные цепочки известны как **летучие молекулы зеленой листвы**, или **GLVs***, потому что это молекулы, испускаемые живыми листьями большинства растений, поэтому мы ассоциируем их с зеленым цветом этих листьев и их жизненной силой. Старые листья выглядят поблеклыми или коричневыми, у них нет GLVs и они пахнут совсем по-другому, как солома или лесная подстилка. Мы часто встречаем GLVs, в недавно скошенной траве, на лугу солнечным летним днем, в зеленом салате.

Несмотря на наши приятные ассоциации, для растений GLVs — сигналы урона и опасности. Они испускают эти молекулы, чтобы отогнать или отравить атакующих насекомых и микробов и активировать усиление химических средств защиты в соседних листьях того же растения и даже в соседних растениях. Большинство живых растительных клеток, но особенно клетки в зеленых листьях, забиты мембранами, сделанными из углеродных цепочек липидов. В одних и тех же клетках, но изолированные от мембран в отдельных ячейках, находятся растительные ферменты, которые могут расщепить липидные цепочки на маленькие фрагменты и окислить их. Когда ткань листа повреждается и ячейки взламываются, ферменты смешиваются с липидными цепочками, и начинают выделяться маленькие летучие фрагменты, как дым от пожара. Этот процесс может быть активирован укусом гусеницы, обдиранием улитки, заражением грибом, топчущей человеческой ногой или даже сильными летними солнцем и жарой.

Конкретные летучие фрагменты, высвобожденные из поврежденных листьев, зависят в определенной степени от растения. Но подавляющее большинство растений вырабатывают фрагменты длиной в шесть углеродов, часть из них — с двойной связью между двумя углеродами цепочки и с кислородами на одном конце, что делает их членами семейств либо спиртов, либо альдегидов. Первые летучие молекулы зеленой листвы, сформирован-

ные высвобожденными ферментами, включают шестиуглеродные альдегиды — **гексеналь** и **гексанааль****.

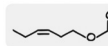


Альдегиды — химически активные молекулы, особенно по отношению к белкам. Альдегиды листвы препятствуют выработке пищеварительных белков, используемых насекомыми и болезнетворными микробами, чтобы поедать растительные ткани, и поражают самих поражающих, порой насмерть.

Пока альдегиды листвы выполняют свою работу, другие растительные ферменты преобразуют некоторые из них в их соответствующие шестиуглеродные спирты, **гексенол** и **гексанаол**.



Спирты менее химически активны, чем альдегиды, и распространяются по листу и даже другим частям растения, где они побуждают здоровые ткани запустить их другие заранее сформированные химические средства защиты. Летучие спирты также выделяются из листа в окружающий воздух, где они могут предупредить соседние растения о присутствии насекомых и привлечь хищных насекомых типа ос, чтобы они прилетели и поразили поражающих.



Спирты листвы также с готовностью соединяются с обычной двухуглеродной уксусной кислотой, формируя другую летучую молекулу зеленой листвы, **гексенилацетат**, члена фруктового семейства эфиров (в следующем разделе). Он тоже запускает средства защиты соседних растений и привлекает насекомых.

Различные GLVs объединяет свежая, зеленая характеристика, но у них есть свои собственные нюансы: **некоторые травяные, некоторые лиственные, некоторые похожие на растворитель, некоторые похожие на незрелые яблоки или бананы**, что, вероятно, отражает их преобладание в этих различных растительных материалах. У гексенилацетата также есть **сладкие, похожие на тропические фрукты** грани. И благодаря действиям

* Green-leaf volatiles.

** Далее по тексту речь идет о классе сложных эфиров.

Шестиуглеродные летучие молекулы зеленой листвы, GLVs, и их запахи

Углеродная цепочка	Альдегид	Спирт
6 углеродов, нет двойных связей	гексаналь свежий, зеленый, травяной	гексанола зеленый, фруктовый, растворитель
6 углеродов, 1 двойная связь	гексеналы резкий, зеленый, травяной, фруктовый	гексенолы свежий, зеленый, лиственный, жирный

Некоторые 8-, 9- и 10-углеродные цепочки и их запахи

Углеродная цепочка	Альдегид	Спирт
8 углеродов, нет двойных связей	октаналь восковой, цитрусовые корки, зелень	октанола апельсин, грибной, дыня
8 углеродов, 1 двойная связь	октенали свежий огурец, зелень	октенолы грибной, землистый, зеленый
9 углеродов, нет двойных связей	нонаналь восковой, роза, цитрусовые корки	нонанола свежий, цветочный, апельсин
9 углеродов, 1 двойная связь	ноненали зелень, огурец, дыня	ноненолы восковой, зелень, дыня
10 углеродов, нет двойных связей	деканаль сладкий, восковой, цитрусовые корки	деканол восковой, цветочный, апельсин
10 углеродов, 1 двойная связь	деценали кориандр, цитрусовые корки, цветочный	деценолы цветочный, роза, свежий

растительных энзимов и кислорода в воздухе, пропорции и совокупный запах заданного листа или плода могут быстро изменяться, от простого и свежего до сложного и более тяжелого. Вот почему аромат только что покрошенной, измельченной или протертой зелени уже не такой спустя всего лишь несколько минут.

Вдобавок к шестиуглеродным GLVs мы часто сталкиваемся с некоторыми из их более длинных родственников. **Восьми- и девятиуглеродные альдегиды** тоже производятся энзимами, когда растения повреждены; они пахнут свежо, как зеленые цитрусовые корки и как **огурец**, плод, которым мы наслаждаемся как зеленым овощем. **Восьмиуглеродные спирты** ведут нас в другом направлении: к **землистому** запаху **грибов**. Более длинные

цепочки обычно напоминают **цветы** и **цитрусовые корки**, часто описываемые как обладающие свежим запахом, но в своем собственном нетравяном стиле.

ФРУКТОВЫЕ ЭФИРЫ И ЛАКТОНЫ

Каким бы невесомым и амброзическим ни было заскорузлое яблоко, его аромат вместе с эссенцией фруктовых запахов, в общем, начинается на обходе трассы кожиц с кое-каких наименее невесомо эфирных летучих молекул на Земле. Это кислоты с короткой углеродной цепью: уксусная кислота, сырная масляная кислота и другие, дополненные потными, похожими на «пальцевый сыр» остатками

кислот с разветвленной цепью после расщепления белков (см. с. 53, 38). Растения вырабатывают эти простые молекулы не как в основном метаболические отходные продукты, а как строительные элементы для более крупных молекул под названием **эфир**^{*}. Эфиры — гибридные молекулы, возникающие в результате, когда одна кислотная молекула и одна спиртовая молекула соединяются вместе своими концами через кислородную связь, в процессе выдавливая молекулу воды (H_2O). Плоды — основные заводы по производству эфиров царства растений. Они ускоряют темпы выработки продукции, чтобы просигнализировать об их спелости, когда их семена созревают.

Поскольку растения производят десятки различных кислот и спиртов, они также могут производить сотни различных комбинаций двух молекул. Большинство плодов имеют тенденцию производить смесь где-то десятка более маленьких эфиров. Это значит, что разные плоды испускают многие из одних и тех же эфиров, но в варьирующихся пропорциях, придающих им их собственные совокупные запахи. Вот почему, когда дегустаторы ароматов оценивают индивидуальные эфирные молекулы сами по себе, они склонны описывать их запахи как обобщенно фруктовые, с намеками на плоды, в которых они наиболее преобладают.

Здесь я составил таблицу эфиров, произведенных из простых спиртов и кислот до восьми углеродов в длину — с этого момента и впредь сокращенно указывая количество углеродов в цепочке как C_1 , C_2 и т.д. Быстро просмотрите таблицу, и вы получите представление о возможных вариациях на тему фруктоности — и как же сильно отличаются эфиры от своих кислотных родителей! Эфиры названы по их двум родительским цепочкам, сперва спирт и затем кислота, с кислотным термином, оканчивающимся на суффикс -ат. Один из наиболее типичных сочетает одноуглеродный метиловый спирт и четырехуглеродную масляную кислоту, об-

разуя **метилбутират**, эфир, вносящий вклад в запахи яблока, ананаса и клубники. Замените метиловый спирт метилбутиловым спиртом с разветвленной цепью (также называемый изоамиловым спиртом) и масляную кислоту уксусной, и у вас получится **метибутил (изоамила) ацетат**, больше напоминающий банан. В дополнение к этой схеме: комбинация этилового спирта и десятиуглеродной декадиеновой кислоты дает **этилдекадиеноат**, специфическую нотку обыкновенных груш.

В эфирной таблице можно увидеть всевозможные интересные закономерности, и одна в особенности подчеркивает важный факт о фруктовых запахах и запахах вообще. Плоды типа яблока, банана, ананаса и клубники появляются в нескольких разных ячейках, потому что индивидуальные эфиры вносят вклад в запахи более чем одного плода, а индивидуальные плоды содержат более одного эфира. Большинство запахов пиксельные, как мозаика, где несколько различных летучих молекул соединяются, создавая совокупную идентичность, и любители фруктов уже в течение веков признавали, что различные фрукты могут объединять важные характеристики. Возьмите, например, клубнику и ананас, у которых в эфирной таблице четыре общие ячейки. Одни из повсеместно выращиваемых сортов клубники — варианты гибридного вида *Fragaria x ananassa*, названного от латинского слова «клубника» и латинизированной версии южноамериканского слова «ананас». Почему такая комбинация? Как написал в 1766 году французский приверженец клубники Антуан Дюшен:

«Одно из достоинств запаха и вкуса ананаса заключается в том, что его запах и вкус такие же, как у клубники; клубничные же, в свою очередь, ближе к ананасу, чем к любому другому фрукту, своим лакомым парфюмом, от которого произошло название *fraise-ananas* (клубника-ананас)».

Такие обонятельные отголоски и созвучия очень весело находить и делиться ими с окружающими.

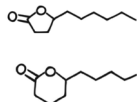
* Далее по тексту речь идет о классе соединений сложные эфиры.

Не все эфиры приятно фруктовые. Некоторые формиатные и ацетатные эфиры также пахнут растворителями — жидкостью для снятия лака, лаком, клеем, потому что мы сталкиваемся с ними в этих продуктах промышленности. Оттенок растворителя в **гексилацетате** (которому недостает двойной связи, как в GLV гексенилацетате), возможно, вносит вклад в тяжелую, не такую уж и свежую характеристику, со временем развивающуюся в помятой и поврежденной зеленой листве. Более того, поскольку они составные молекулы, эфиры могут расщепиться на их родительские спирт и кислоту или их образование может не поспеть за производством их родителей, поэтому у некоторых плодов могут развиваться уксусные и сырные нотки, когда они переспели или хранятся плотно обернутыми.

Среди эфиров есть отдельное подсемейство, отвечающее за характерный набор фрук-

товых запахов. **Лактоны** — это технические эфиры**, но они совсем не похожи на прямые цепочки, которые мы обнюхивали. Растения изготавливают лактоны, начиная с одиночной кислоты с длинной цепью, имеющей похожую на спирт кислородно-азотную группу, отходящую от одного из средних углеродов. Они сгибают молекулу дугой, чтобы приблизить несущий кислород конец к этой группе и сжать их вместе, создавая молекулу с кольцом и прямым хвостом и снова высвобождая молекулу воды. У наиболее распространенных лактонов от восьми до двенадцати углеродных атомов и общая жирная характеристика, у индивидуальных лактонов есть характерные нотки кокоса, персика или абрикоса, а также орехов, молочных продуктов и животных жиров (лактон происходит от латинского слова «молоко»). Подайте персики со сливками — и вы сделаете особый акцент на лактоновой жирности.

Некоторые кольцевые эфиры, или лактоны



Лактон	Запахи
гамма-окталактон	кокос, фруктовый, зеленый
дельта-окталактон	кокос, молочные продукты
гамма-ноналактон	кокос, кремовый
гамма-декалактон	свежий, персик, кремовый
дельта-декалактон	кокос, молочные продукты, персик
гамма-ундекалактон	персик, абрикос, жирный
гамма-додекалактон	молочные продукты, фруктовый, ореховый
дельта-додекалактон	кокос, молочные продукты, фруктовый, ореховый

Используемые химиками греческие буквы гамма и дельта обозначают количество углеродных атомов в кольце, гамма значит 4, а дельта — 5. Остальные из 8–12 углеродов в первоначальной кислоте образуют хвост.

** Не существует термина «технический эфир». Лактоны — это циклические сложные эфиры, цикл которых образован с помощью карбоксильной группы. Лактоны имеют общую формулу.

Некоторые комбинации спиртов и кислот — эфиры и их запахи

Кислоты → Спирты	C ₁ формиат (едкий, фруктовый)	C ₂ ацетат (уксус)	C ₃ пропионат (уксус, сырный)
C ₁ метил (спиртовой)	фруктовый, слива	зелень, растворитель	свежий, растворитель, фруктовый, клубника, яблоко
C ₂ этил (спиртовой)	лимон, клубника	растворитель, фруктовый, виноград, зелень	эфирный, фруктовый, сладкий, яблоко, виноград
C ₃ пропил (спиртовой)	эфирный, сладкий, зеленый, ягодный	фруктовый, растворитель, банан, груша	резкий, сладкий, фруктовый, ананас
C ₃ изопропил (спиртовой)	сладкий, растворитель, фруктовый	эфирный, фруктовый, банан	фруктовый, сладкий, эфирный, ананас, банан
C ₃ + 1 метилпропил (изобутил) (фруктовый, абрикос)	сладкий, растворитель, фруктовый	сладкий, фруктовый, банан, груша	сладкий, фруктовый, банан, зелень
C ₄ бутил (виски)	фруктовый, слива, растворитель	растворитель, яблоко, груша, спелый банан	сладкий, землистый, банан, цветочный
C ₄ + 1 метилбутил (изоамил) (виски, фруктовый)	растворитель, зелень, слива	сладкий, банан, яблоко, растворитель	сладкий, банан, спелый, тропический
C ₅ пентил (амил) (виски)	сладкий, свежий, растворитель, фруктовый	растворитель, фруктовый, банан, груша, яблоко	сладкий, абрикос, ананас
C ₆ гексил (зеленый, фруктовый, яблоко)	растворитель, сладкий, зеленый банан, зеленая слива	фруктовый, зеленый банан, яблоко, груша	груша, зеленый, прокислый
C ₇ гептил (свежий, цветочный, лимон)	зеленый, восковой, цветочный	зеленый, свежий, спелый фрукт	роза, абрикос
C ₈ октил (цитрус, гриб)	фруктовый, роза, огурец	зеленый, землистый, гриб	фруктовый, сладкий, джем

C₄ бутират (сырный, рвота)	C₅ пентаноат (сырный, потный)	C₆ гексаноат (сырный, прогорклый)	C₇ гептаноат (восковой, сырный, грязный)	C₈ октаноат (жирный, прогорклый, сырный)
ананас, яблоко, клубника	сладкий, фруктовый, потный	фруктовый, ананас	сладкий, фруктовый, зеленый	зеленый, фруктовый, восковой, цитрус
банан, ананас, клубника	яблоко, клубника, ананас	ананас, зеленый банан, груша	ананас, банан, клубника	фруктовый, восковой, абрикос, жирный
фруктовый, сладкий, ананас, потный	эфирный, фруктовый, ананас, животный	фруктовый, сладкий, ананас, зелень	свежий фруктовый, яблоко, груша, ананас	кокос
свежий фруктовый, зеленый	фруктовый, ананас	фруктовый, ананас, ягодный	—	фруктовый, банан, кокос
сладкий, фруктовый, ананас, яблоко	эфирный, фруктовый, яблоко, клубника	сладкий, фруктовый, ананас, зелень	зеленый, травянистый, фруктовый	фруктовый, зеленый, масляной, цветочный
свежий, банан, ананас, груша	сладкий, ананас, банан	фруктовый, ананас, ягодный	травяной, календула, яблоко, кокос	масляный, растворитель, сырой
фруктовый, зеленый, яблоко, груша	спелое яблоко, клубника	фруктовый, зеленый, ананас, банан	травянистый, травяной, неспелый фрукт, банан	сладкий, восковой, мыльный, ананас, кокос
сладкий, фруктовый, банан, ананас	спелое яблоко	зеленый, восковой, яблоко, ананас	растворитель, банан, кокос	цветочный, сладкий, растворитель
зеленый, фруктовый, восковой	масло, фруктовый, зеленый	фруктовый, зеленый, тропический	зеленый, сырой	зеленый, яблоко, фруктовый
фруктовый, тропический, цветочный	фруктовый	зеленый, помятые листья	зеленый, травяной	восковой, зеленый, тропический фрукт
фруктовый, зеленый, кремовый	—	фруктовый, травянистый	фруктовый, жирный	кокос, фруктовый

ЖАСМОНОИДЫ: СИГНАЛЫ, ЗАЩИТА, ЦВЕТОЧНОЕ УДОВОЛЬСТВИЕ

Вдобавок к летучим молекулам зеленой листвы и фруктовым эфирам есть еще одно примечательное семейство летучих молекул, которые растения создают из простых углеродных цепочек на трассе кожиц. Оно маленькое, но мощное, и оно служит как удивительное звено между запахами цветов и чайных листьев. Чтобы изготовить эти молекулы, растения начинают с обычного компонента их мембран — восемнадцатилуглеродной линоленовой кислоты. Энзимы отстригают шесть из этих углеродов и вырабатывают пятиуглеродное кольцо с двумя исходящими от него короткими цепочками. Эта модифицированная кислота и ее эфир были впервые открыты в цветках жасмина и поэтому были названы **жасмоновой кислотой и метилжасмонатом**. Есть еще одна незначительная вариация под названием **жасмон**, а также похожая на лактон версия — **жасмолактон**. Жасмоновая кислота не очень летучая, но метилжасмонат, жасмон и жасмолактон летучие. Эти три **жасмоноида** все цветочные и напоминающие жасмин, но с разными нюансами, отражающими их конкретные структуры: эфир — фруктовый и зеленый, лактон — персиковый, жасмон — пряный.

Мы наиболее часто сталкиваемся с жасмоноидами в жасмине, гардении, жимолости и других цветах, но их скрытое присутствие есть также в зеленых тканях, где они служат как общие гормоны и химические защитные сигналы для растений в целом. Нормальные низкие уровни жасмоновой кислоты и метилжасмоната помогают регулировать рост растительных тканей и процессы цветения, со-

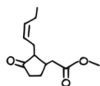
зревания плодов и опадания листьев. Высокие уровни вырабатываются, когда растительные листья напряжены или повреждены. Затем нелетучая жасмоновая кислота циркулирует за пределами поврежденного участка, включая соседние ткани, чтобы подхлестнуть их химические средства защиты, в то время как летучий метилжасмонат передает тот же тревожный сигнал соседним листьям и другим растениям.

Как оказывается, эта оповещающая система — секрет того, как производителям чая улун удастся добиться опьяняюще цветочных ароматов от зеленых листьев куста камелии; смотрите изощренные подробности в главе 19. Когда бы мы ни замечали запах жасмина, в цветах или в чае, мы обнаруживаем некоторые из молекул, лежащих в самом сердце растительной жизни.

ПРОДУКТИВНЫЕ ИЗЛОМАННЫЕ ЦЕПОЧКИ: ЗНАКОМСТВО С ТЕРПЕНОИДАМИ

На трассе кожиц мы повстречали в основном свежие и фруктовые запахи вместе с несколькими цветочными. Теперь мы возвращаемся к Сахарному Централу и отправляемся в путь по трассе растительного метаболизма, выдающей определенно самый разношерстный набор летучих молекул и запахов: цветочных, фруктовых и куда более того. Несколько его индивидуальных молекул даже хорошо известны по именам ценителям каннабиса и пива! Эта метаболическая трасса была проторена рано в истории жизни, и сегодня все живые существа полагаются на нее, чтобы создавать молекулы для различных жизненно важных функций. В растениях у нее есть два основных

Жасмоноиды



Жасмоноид	Запахи
метилжасмонат	жасмин, зеленый, фруктовый
жасмон	цветочный, травянистый, древесный
жасмолактон	жирный, кокос, персик, цветочный

разветвления, одно ведет к молекулам, стабилизирующим клеточные мембраны, другое — к собирающим свет пигментам фотосинтеза.



Ее молекулы собираются из **пяти-углеродных строительных элементов**, включающих двойные связи и ответвления, таких непохожих на простые цепочки стартового набора, они изломанные и ошетилившиеся, а не прямые. Они могут поворачиваться и загигаться на самих себя и перекручиваться во всевозможные затейливые структуры — химики каталогизировали десятки тысяч. Из их обширного количества молекулы, построенные из двух-трех строительных элементов, достаточно малы, чтобы быть летучими и, таким образом, обладать запахами.

Эти молекулы с изломанной цепью называются **терпенами и терпеноидами** в честь материала, из которого химики впервые изолировали их. Это был скипидар (терпентин), пахучая, легкоподвижная, многофункциональная жидкость, которую можно выпарить в наши дни из некоторых древесных смол, в особенности из сосновых. Терпентин, в свою очередь, был назван в честь смолистого терпентинного дерева, родственника фисташки, широко распространенного в древних средиземноморских регионах. Терпены по строгому определению — углеводороды, состоящие лишь из водородных и углеродных атомов, в то время как терпеноиды — вариации на эту тему, включающие несколько других атомов, обычно кислорода. Я буду использовать терпеноид для всех членов этого семейства.

Похоже, что летучие терпеноиды, вполне возможно, развились для подачи сигналов ранними наземными насекомыми, затем были приняты в качестве сбивающих насекомых с толку средств защиты ранними наземными растениями (см. с. 127). Именно общие терпеноиды делают имбирь и лимонник похожими на амазонских муравьев. Растения также вырабатывают некоторые маленькие терпеноиды в качестве гормонов, чтобы контролировать свой собственный рост и развитие, а также как средства для противостояния негативному воздействию засухи, сильной

жары и света. Запахи хвойных деревьев — сосен, пихт и кедров — определяются их терпеноидными летучими молекулами, но именно цветущие растения наиболее тщательно исследовали многочисленные возможные обходные пути терпеноидной трассы. Сегодня летучие терпеноиды преобладают в запахах многих растительных материалов, от роз и мяты до марихуаны и хмеля и до цитрусовых корок и плодов личи. Вместе с летучими молекулами зеленой листвы они наиболее распространены в растительном мире химическое средство защиты. И они эффективно отравляют разнообразные жизненно важные системы их врагов. Они так хорошо срабатывают против насекомых-вредителей и вызывающих порчу и болезнетворных микробов, что наши предки задействовали их тысячи лет назад, чтобы заботиться о своих жилищах и своих собственных телах.

Растения имеют тенденцию вырабатывать терпеноиды в группах, и многие из одних и тех же терпеноидов появляются в разных растениях и разных частях растений. Как мы уже видели с эфирами и плодами, эта молекулярная беспорядочность объясняет, почему отдельная терпеноидная молекула может напоминать несколько различных характеристик дегустатору ароматов, пытающемуся описать ее, или казаться обобщенно травянистой или цветочной. Также именно поэтому лайм может напомнить нам сосновое дерево, личи — розу, именно поэтому мы называем лимонник в честь фрукта. Терпеноиды многое привносят в запах и предоставляют богатую сеть отголосков и отзвуков для работы. Некоторые также активируют ряд разных химических детекторов в наших дыхательных путях, ощущения охлаждающие и согревающие, раздражающие и успокаивающие, вдобавок к их запахам. Знакомые примеры — ментол, обладающий мятным запахом и охлаждающим качеством, и камфора, обладающая медицинским запахом и кажущаяся согревающей.

В следующих двух разделах можно понюхать два основных класса терпеноидных летучих молекул: более легкие монотерпеноиды,

десятиуглеродные молекулы, созданные из двух строительных элементов, и более тяжелые пятнадцатуглеродные сесквитерпеноиды, созданные из трех. В каждом классе я сгруппировал индивидуальные летучие молекулы ориентировочно по сходству обонятельной характеристики.

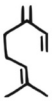
МОНОТЕРПЕНОИДЫ: ДЕРЕВЬЯ, ДУШИСТЫЕ ТРАВЫ, ЦИТРУСОВЫЕ ПЛОДЫ, ЦВЕТЫ

Монотерпеноидные летучие молекулы изготавливаются на обходном пути в начале трассы собирателей света, и у них впечатляющий диапазон характеристик и исходных материалов, с которыми мы их ассоциируем. Вот несколько групп: древесные, травянистые, цветочные и фруктовые.

Давайте начнем с монотерпеноидов, наиболее типичных для хвойных деревьев и напоминающих их. Возможно, они действительно первобытные, берущие начало со вре-

мен ранней истории семенных растений, еще до появления на сцене цветущих растений. Дегустаторы ароматов описывают эти молекулы как сосновые, древесные, смолистые и «терпкие», обобщенная скипидарная характеристика, напоминающая растворители и жидкое топливо, включая нефтесодержащие продукты, по большей части вытеснившие скипидар в современном мире. У этих летучих молекул самоочевидные названия типа пинен (pine — сосна), терпинен и терпинеол. **Пинен** особенно широко распространен, и хвойные леса высвобождают его в огромных количествах в воздух, где он вступает в реакцию с солнечным светом, озоном и летучими молекулами человеческой деятельности, производя сложную, пахучую, заметно дымчатую смесь молекул. Вдобавок к их основным источникам в смолистых хвойных деревьях эти терпкие терпеноиды также содержатся и придают свои нотки широкому ряду душистых трав и плодов. Смола, выделяющаяся из листьев каннабиса, богата **мирценом** и пине-

Некоторые сосново-древесные монотерпеноиды

	Терпеноид (C ₁₀)	Запахи	Составляет запахи
	пинен	сосновый, древесный, терпкий	сосна, кипарис, цитрусовые плоды, душистые травы, пряности, мастика
	терпинеол	сосновый, терпкий, цветочный	сосна, кипарис, эвкалипт, многие душистые травы, пряности, фрукты
	терпиненол	древесный, землистый, охлаждающий	кедр, майоран, тимьян, лаванда
	терпинолен	древесный, терпкий, цитрус	лаймовые корки, имбирь и калган, пряности
	цимол	древесный, терпкий, резкий	эвкалипт, лаванда, орегано, тимьян
	мирцен	древесный, смолистый, зеленый, цитрус	хвойные деревья, эвкалипт, марихуана, цитрусовые корки
	фелландрен	зеленый, терпкий	хвойные деревья, укроп, фенхель, хризантема, лесная земляника
	туйон	кедровая хвоя	туя, кедр, полынь, шалфей
	ментатриен	древесный, терпкий, камфора	петрушка, цитрусовые корки, лавр благородный

Некоторые согревающие, едкие монотерпеноиды

Терпеноид (C ₁₀)	Запахи	Составляет запахи
камфора	медицинский, древесный, согревающий/охлаждающий	корица, лаванда, цитрус, душистые травы, пряности
борнеол	древесный, согревающий	сосна, кипарис, имбирь, лаванда, цитрусовые корки, пряности
сабинен	древесный, сосновый, согревающий	кедр, тимьян, орегано, майоран
умбеллулон	мятный, раздражающий/охлаждающий	лавр калифорнийский
цинеол (1, 4-)	мята, сосна, согревающий	цитрус, лавр благородный, розмарин, лаванда
карвакрол	орегано, согревающий	орегано, чабер садовый, тимьян
тимол	тимьян, согревающий	тимьян, орегано, чабер, майоран

ном. Мирцен также важный ингредиент запахов множества цветов и плодов, а **ментатриен** в основном отвечает за древесную характеристику свежей зеленой петрушки.

Еще одна группа монотерпеноидов тоже в основном содержится в деревьях и кустарниках и описывается как древесная, но они также обладают согревающими или раздражающими характеристиками. Здесь выделяется **камфора**, редкая растительная летучая молекула, которую мы можем попробовать в почти что чистой форме, поскольку она продается в облегчающих боль и кашель лекарствах. Она используется сама по себе в кулинарии в Юго-Восточной Азии и придает свои качества корице, другим пряностям и некоторым цветам и душистым травам. **Борнеол** придает сходную древесную теплоту многим хвойным деревьям, а также пряностям и цитрусовым коркам. **Умбеллулон**, который, похоже, вызывает ощущения тепла, холода и раздражения, в основном характерен для лавра калифорнийского. **Карвакрол** и **тимол** знакомы из кухни: они защищают кустарниковые душистые травы орегано и тимьян.

Третью группу монотерпеноидов объединяют мятные и/или охлаждающие качества, и они содержатся в растениях, которые мы

культивируем как душистые травы как раз-таки из-за этих качеств. Они включают **ментол**, знакомый ароматизатор в мятных конфетах, жвачках и сигаретах, и **мятный карвон**, придающий мяте колосистой ее отличную версию мятности. Карвон бывает в двух разных структурах, каждая — зеркальное отражение другой, одна с характеристикой мяты колосистой, другая особенно ярко выражена в тминных семенах. (Их химическая номенклатура сбивает с толку; я буду называть их мятным и тминным карвонами.) **Фенхон** придает сходное свежее качество фенхелю, **перилловый альдегид** — листьям периллы, часто входящим в состав суши, **укропный эфир*** — укропу огородному, а **эвкалиптол** — своим тезкам-деревьям и некоторым душистым травам. **Куминальдегид** придает семени кумина его очень индивидуальное качество. А умбеллулон снова появляется в этой группе, потому что он как раздражающий, так и охлаждающий.

Терпеноидная группа номер четыре: цветочные. Эти летучие молекулы куда чаще встречаются в цветах, чем жасмоноиды, произведенные из простых углеродных цепочек. Большинство цветочных терпеноидов — спирты, включая **цитронеллол** (кузен цитру-

* Он же диллэфир.

Некоторые мятно-травянистые монотерпеноиды

	Терпениод (C ₁₀)	Запахи	Составляет запахи
	ментол	мятный, охлаждающий	мята перечная и другие сорта мяты
	ментон	мятный	мяты, некоторые герани
	пулегон	мятный, едкий	мята болотная, чабер Дугласа
	мятный карвон	мята колосистая	мята колосистая и другие сорта мяты, лаванда, цитрус
	тминный карвон	тмин, укроп	тмин, укроп, мята полевая, лаванда
	фенхон	охлаждающий, мятный, землистый, камфорный	фенхель, лаванда, кедр
	оцимен	зеленый, древесный, тропический	мята, многие цветы, лаванда, тархун
	перилловый альдегид	свежий, зеленый, древесный, цитрус	листья периллы, мята перечная, цитрусовые корки
	куминальдегид	кумин, зеленый, потный	кумин, корица, некоторые цитрусовые корки, полынь, тысячелистник
	укропный эфир	укроп огородный, зелень	укроп, грейпфрут
	эвкалиптол (1,8-цинеол)	эвкалипт, охлаждающий, свежий	эвкалипт, лавр благородный, лавр калифорнийский, шалфей, хризантема
	умбеллулон	мятный, едкий, раздражающий	лавр калифорнийский

сового альдегида цитронеллала), и **гераниол**, и **нерол**^{*}, кузенов лимонных альдегидов гераниала и нерала соответственно. Все три имеют тенденцию быть преобладающими терпеноидами в цветах и менее выраженными в цитрусовых плодах. **Розеноксид** довольно-таки специфичен для роз и пахнущих розой листьев герани, но это также именно то, что делает азиатский плод личи таким цветочным.

Самый важный из цветочных терпеноидов, тот, с которым мы часто сталкиваемся, — это странно названный **линалоол**, название которого можно произносить в английском несколькими разными способами. Я предпочитаю лин-АЛ-лоу-ол, что лучше всего отражает его происхождение в девятнадцатом веке: спирт (суффикс -ол), впервые идентифицированный в экстракте мексиканской аромати-

ческой древесины (латинское *lignum*), похожей на азиатскую ароматическую древесину (алоинное дерево, см. с. 172). Линалоол присутствует где-то в 75% всех проанализированных цветов (гераниол и нерол составляют примерно половину этого) и, таким образом, предоставляет цветочную характеристику чему угодно, в чем он ярко выражен, включая многие бытовые продукты, продукты личной гигиены и произведенные пищевые продукты. Он также вносит свой вклад в ярко выраженную цветочность плодов папайи. Несмотря на приятность линалоола для нас, его источники в химических средствах защиты очевидны из его применения в качестве активного агента для лечения питомцев от клещей и блох. Менее очевидный признак: ученые обнаружили, что клубника реагирует на плесневые инфек-

^{*} Являются изомерами друг друга.

Некоторые цветочные монотерпеноиды

Терпеноид (C ₁₀)	Запахи	Составляет запахи
	линалоол (кориандрол, ликареол)	цветочный, сладко-цитрусовый; лавандово-древесный
	цитронеллол	цветочный, роза, герань, зелень
	гераниол, нерол	сладкий, цветочный, роза, цитрус
	розеноксид	роза
		роза, герань, личи

ции, повышая выделение линалоола, и что эта повышенная цветочность наносит существенный урон мембранам и вырабатывающим энергию системам клеток плесени.

Линалоол бывает в двух различных структурах, зеркальных отражениях друг друга, обе цветочные, но с разными вторичными качествами: одна преобладает в семени кориандра, другая — в лаванде.

Теперь пятая и любимая группа терпеноидов: те, что по большей части определяют характерное качество цитрусовых плодов. В отличие от яблок, клубники и бананов, цитрусовые плоды — лимон, лайм, апельсин, грейпфрут — относительно бедны на эфиры, но они богаты на терпеноиды, особенно в их корках. Несмотря на его название, **лимонен** не особо-то лимонный; это зачастую самая изобилующая летучая молекула в цитрусовых плодах и предоставляет стандартную свежую фоновую нотку. **Гераниаль** и **нераль** — зер-

кальные отражения друг друга и предоставляют истинную лимонную нотку в лимонах, а также во множестве душистых трав. **Цитронеллаль** лимонный, но с цветочным аспектом. А что насчет апельсина и лайма? Их характерные запахи возникают из-за добавлений к цитрусовой основе альдегидов с простой цепью и основных терпеноидов соответственно.



Последняя монотерпеноидная группа — горстка эфиров, молекул, возникающих в результате соединения терпеноидного спирта с кислотой. Самые важные терпеноидные эфиры все образованы из уксусной кислоты. Они не просто фруктовые; они составляют запахи ряда богатых терпеноидами материалов, от деревьев до душистых трав и цветов и цитрусовых плодов. Самый выраженный среди них — **линалилацетат**, характерная нотка лаванды и чая «Эрл Грей», ароматизированного маслом из корки бергамота.

Некоторые цитрусовые монотерпеноиды

Терпеноид (C ₁₀)	Запахи	Составляет запахи
	лимонен	цитрус, травянистый, терпеновый
	гераниаль, нераль	лимон
	цитронеллаль	лимонник, цитрусовые корки, лимонная вербена, эвкалипт, имбирь
		лимонник, цитрусовые корки, лимонная вербена, эвкалипт, имбирь

Некоторые монотерпеноидные эфиры

Терпеноидный эфир	Запахи	Составляет запахи
терпенилацетат	травянистый, бергамот, лайм, лаванда	цитрусовые плоды, кедр, лавр благородный, мускатный орех, шалфей, можжевельник, кориандр
борнилацетат	камфора, древесный, сосновый	сосна, лиственница, ель, кипарис
линалилацетат	лаванда, бергамот, шалфей	лаванда, бергамот (чай «Эрл Грей»), корки цитрусовых плодов, жасмин, мяты
геранилацетат	фруктовый, цветочный, роза	цитрусовые корки и соки, цветок апельсинового дерева, лимонник, лимонное сорго, герань, эвкалипт

СЕСКВИТЕРПЕНОИДЫ И ТЕРПЕНОИДНЫЕ РОДСТВЕННИКИ: ДРЕВЕСИНА, ПРЯНОСТИ, ФИАЛКИ, АБРИКОСЫ

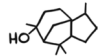
Теперь мы покидаем забитый монотерпеноидный обходной путь ради двух других групп летучих молекул с изломанной цепью. Сесквитерпеноиды изготавливаются на разветвлении изломанных цепей, ведущем к стабилизаторам мембраны, похожим на холестерин в животных мембранах. Поскольку они более массивные молекулы, чем монотерпеноиды, они обычно менее летучие и медленнее покидают свой источник, но они также более навязчивые в носу. Многие объединяет древесная характеристика, и некоторые по большей части специфичны для конкретных деревьев: **цедрол** и **гимахалены** — для кедров и подобных хвойных деревьев, **санталолы** и **сантален** с их интересной молочностью — для экзотического сандалового дерева. **Кариофиллен**, возможно, самый распространенный сесквитерпеноид, придает древесную характеристику множеству пряностей, душистых трав и даже цветов. **Нооткатон** был назван в честь разновидности кедра, но он также вносит вклад в необычный цитрусовый запах грейпфрута. **Гумулен** назван от латинского слова для пивного ингредиента хмеля и также придает его характерную древесность марихуане, члену

того же растительного семейства. **Ротундон** известен за придание части древесно-перечного аромата (не остроты) черному и белому перцу, парочке средиземноморских душистых трав, а также винам Сира и обжаренному цикорию. А **зингиберен** и **зингиберенол** предоставляют свежую резкость имбирю и родственной ему куркуме.

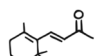
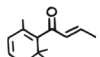
Вернемся к трассе собирателей света и горстке притягательных летучих молекул, возникающих на куда более маленьких обходных путях, ни одна из них не является истинным терпеноидом, но все они близкие родственники. Один, **изопрен**, — близкое пятиуглеродное соответствие терпеноидным строительным элементам и обладает слабым резиновым запахом, поскольку это химический строительный элемент для природного каучука, испускающего его. Изопрен производится многими растениями, от мхов до дубов, и его нередко называли разновидностью газового пота: листья запасают его в своих фотосинтезирующих мембранах и высвобождают его, чтобы справиться с перегревом и кислородной перегрузкой. Это основная причина летней дымки, часто наблюдаемой над лиственными лесами; как пинен над хвойными лесами, он вступает в реакцию с другими молекулами и образует частицы сложных смесей, а также вносит вклад в формирование облаков.

Другая горстка терпеноидных родственников возникает в конце светособираю-

Некоторые распространенные растительные сесквитерпеноиды, ориентировочно сгруппированные по обонятельной характеристике

	Сесквитерпеноид (C_{15})	Запахи	Составляет запахи
	цедрен, цедрол	обычная кедровая древесина	североамериканский кедр, кипарис, можжевельник
	гимахалены, гимахалола	древесный, кедр	ливанский/ средиземноморский кедр
	нуткатон	кедр, грейпфрут	грейпфрут, красный апельсин, кедр
	санталолы, сантален	сандаловое дерево, молочный, потный	сандаловое дерево
	кариофиллен	древесный, камфарный, перечный	гвоздика, корица, марихуана, лист сассафраса, тюльпан
	гермакрен	древесный	жимолость, левкой
	кадинен	древесный	авокадо
	гумулен	древесный	хмель, марихуана
	турмерон	древесный, куркума	куркума
	ротундон	перечный, древесный	белый и черный перец, майоран, розмарин
	фарнезен	цитрус, зелень, травянистый	многие цветы
	неролидол	свежий, цветочный, древесный	цветы апельсинового дерева, цитрусовые корки, клубника
	зингиберен, зингиберенол	свежий, резкий	имбирь, куркума

Некоторые летучие терпеноидные родственники

	Терпеноидный родственник или фрагмент	Запахи	Составляет запахи
	изопрен (C_5)	слабый резиновый	лесной воздух
	иононы (C_{13})	фиалка, цветочный, древесный	фиалка, абрикос, малина, манго, томат
	дигидроактинидиолид (C_{11})	абрикос, фруктовый	абрикос, малина, клубника, томат, арбуз
	дамаскон, дамасценон (C_{13})	древесный, цветочный, фруктовый	яблоко, абрикос, малина, клубника, роза
	сафраналь (C_{10})	шафран, древесный	цветок шафрана посевного
	геранилацетон (C_{13})	цветочный, фруктовый, зеленый	эвкалипт, цитрусовые корки, герань, лимонное сорго, лимонник

шей трассы, как маленькие фрагменты, отломившиеся от конечных каротиноидных пигментов. **Ионы** по большей части ответственны за запах фиалок и вместе с **дигидроактинидиолидом**, **дамасконом** и **дамасценоном** вносят вклад в запахи плодов, особенно ягод. **Сафраналь** преобладает в запахе цветов шафрана посевного, после того как их высушить, что является запахом пряности шафрана. А **геранилацетон** знаменит своим цветочно-фруктовым присутствием как в растительном мире, так и вне его: он вносит вклад в запах нашей собственной кожи (см. с. 104).

УГЛЕРОДНО-КИСЛОРОДНЫЕ КОЛЬЦА: КАРАМЕЛЬНЫЕ ФУРАНОНЫ

На данный момент две трассы пройдены и широкий ряд запахов понюхан: зелень, цитрус, фруктовые, цветочные, древесные. Теперь давайте начнем сначала в Сахарном Центrale и последуем по трассе скелетов, ведущей к целлюлозам и пектинам, углеводам, укрепляющим стенки растительных клеток. Есть незначительный объезд, ведущий к всего лишь парочке летучих молекул, но это и в самом деле чудесные молекулы.

 **Фуранеол** и мезифуран — оба члены группы под названием **фураноны** (латинский корень *furfur* означает отруби зерна). Растения создают их, начиная с сахарных молекул, сладких, но неле-

тучих, и используя энзимы, чтобы перестроить их в летучие молекулы с центральным кольцом из четырех углеродов и кислородным атомом, а также с добавленным кислородным «украшением»: структура, напоминающая лактоны. Их запах напоминает сладкие плоды, а также карамель — жженный сахар, поскольку сильный жар тоже может перестроить сахарные молекулы в фураноны.

По большей части именно фуранеол и мезифуран придают общую карамельную нотку нашим любимым плодам, включая клубнику, ананас, малину и манго.

 Третий важный фуранон — **сотолон** (названный от сото, японского слова для нерафинированного сахара, включающего богатую карамелью патоку). У сотолона точно такая же химическая формула, как у фуранеола, но он создан на другом обходном пути, из аминокислоты, а не из сахара, и у него другое место расположения кислородного украшения, что делает его как фураноном, так и истинным лактоном. Сотолон достаточно сильно напоминает кленовый сироп, так что его часто добавляют в имитации из кукурузного сиропа. В растительном мире это основная летучая молекула семян пажитника, вот почему высокие концентрации пахнут болеепряно и похожи на карри, а также появляется в ананасе. И, как мы увидим в последующих главах, сотолон и фуранеол предоставляют фруктово-карамельные отзвуки во многих приготовленных и ферментированных продуктах.

Некоторые сладко пахнущие растительные фураноны

Фуранон	Запахи	Составляет запахи
фуранеол (диметилгидроксифуранон)	карамель, фруктовый	клубника, ананас, малина, виноград «конкорд», манго, томат
мезифуран (диметилметоксифуранон)	карамель, прокислый	клубника, ананас, малина, манго
сотолон (диметилгидроксифуранон)	карамель, кленовый сироп, пажитник	пажитник, гриб млечник камфорный, ананас

ЖЕСТКИЕ УГЛЕРОДНЫЕ КОЛЬЦА: ЗНАКОМСТВО С БЕНЗОИДАМИ*

Теперь мы возвращаемся в Сахарный Централ и начинаем движение по последней основной трассе растительного метаболизма, где углеродные цепочки соединяются с азотными и серными атомами и образуют аминокислоты, строительные элементы активных молекулярных структур под названием белки. Но сперва проследуем по разветвлению, которое отклоняется от белковой прямой беговой дорожки по направлению к скелетным молекулам и пунктом назначения которого является упрочняющий древесину лигнин. Лигнин строится из бесчисленных жестких шестиуглеродных колец от аминокислоты фенилаланин минус ее азотный атом. И обходные пути на трассе лигнина — источник многих из наших любимых пряных запахов.

Шестиуглеродное кольцо — основной мотив в растительном метаболизме, и его название отражает важность ароматических растений в человеческой культуре.



Оно называется **бензольным** кольцом, а основанные на нем вариации — **бензоидами**, в честь **бензоина**, ценной смолы, собираемой из определенных деревьев в Юго-Восточной Азии, которую алхимики шестнадцатого века изучали, нагревая ее и собирая ароматные пары. Слово бензоид, в свою очередь, происходит от арабского словосочетания лубан яви, «благовоние Явы»; и по сей день бензоин и его углеродные кольца остаются важными компонентами благовония, сжигаемого в католической и православной церквях (см. с. 153).

Невозможно переоценить важность **бензольного кольца** в жизни растений. Каждый из его шести углеродных атомов обобщает

несколько электронов с ближайшими соседями, а несколько — совместно, расположение, обычно обозначаемое чередующимися двойными связями**. Это необычное электронное обобщение придает кольцу физическую жесткость, которой не хватает прямым и изломанным цепочкам, а также способность поглощать ультрафиолетовое излучение солнца, заготовка химического солнцезащитного экрана, вероятно жизненно важного для водорослей, чтобы переселиться из воды на незащищенную поверхность суши. Маленькие соединения нескольких колец обладают свойством поглощения видимого светового излучения и действуют как пигменты, придавая листьям, цветам и плодам часть их желтых, красных, фиолетовых и синих расцветок.

Чтобы построить бензольное кольцо и его многочисленные вариации, растения начинают с сахарной молекулы, преобразуют ее за пару десятков шагов, чтобы сформировать кольцо, и включают его как боковую цепочку в аминокислоту фенилаланин для постройки белков. Затем, чтобы создать жизненно необходимые солнцезащитные экраны и лигнины, растения удаляют бензольное кольцо из содержащей азот части фенилаланина, а затем продолжают «украшать» кольцо различными группами атомов, включая другие кольца. Именно на этой постаминовой, свободной от азота трассе растения и разработали обходы для создания многих полезных летучих молекул.

Бензоидные летучие молекулы образуют несколько семейств, определенных их «украшениями». Их названия могут сбивать с толку, и по факту у каждого есть несколько псевдонимов. Я буду придерживаться названий, наиболее часто употребляемых в мире вкусовых добавок и парфюмерии, и кратко объясню, откуда они взялись.

* В данном контексте речь идет об аренах — классе соединений, содержащих в составе бензольное кольцо.

** Несколько двойных связей в бензольном кольце обобществлены между всеми атомами углерода, поэтому наиболее точно ситуацию описывает формула шестичленного цикла с кольцом внутри.

ДО АМИНОВЫЕ БЕНЗОИДЫ: ГРУШАНКА И МУСКУСНЫЕ ПЛОДЫ

Мы начнем с двух необычных летучих молекул, которые растения в действительности создают из недавно отчеканенных бензольных колец до того, как они включаются в аминокислоту фенилаланин. Я не включаю сам бензол, потому что, хотя он присутствует в межзвездном пространстве и в нефтехимических продуктах (см. с. 337), он не является значимой растительной летучей молекулой. (Вот и повезло нам: он токсичен.) Оба до аминовых бензоида — эфиры, образованные метиловым спиртом.



Метилсалицилат — летучий родственник аспирина (ацетилсалициловой кислоты), чей запах обычно называется «грушанкой» в честь вечнозеленого американского кустарника, чьи цветы и листья высвобождают его, когда повреждены: очевидно, это защитная функция. Мало кто из нас когда-либо сталкивался с этим кустарником, но его летучая молекула знакома по конфетам, корневому пиву и освежителям для полости рта и в Британии по бытовым чистящим средствам. Его английское название *wintergreen*, по счастливой случайности, предполагает охлаждающее качество, и по факту он активирует рецепторы как для прохлады, так и для общего раздражения.

Вторая до фенилаланиновая бензоидная летучая молекула — **метилантранилат**, «украшенный» азотным атомом. У него мускусная разновидность фруктоности. Это важная нотка в маленькой и насыщенной лесной землянике и в цветах цитрусовых, и

она помогает придать «конкорду», «мускатному», «скуппернонгу» и другим местным американским сортам винограда запах, отличающий их от столовых сортов винограда европейского происхождения.

ФЕНИЛОВОЕ, КОРИЧНОЕ И БЕНЗИЛОВОЕ КОЛЬЦА: МЕДОВЫЕ, ФРУКТОВЫЕ, БАЛЬЗАМИЧЕСКИЕ

После того как бензольное кольцо включается в аминокислоту фенилаланин и затем отсекается от содержащей азот цепочки, короткий обходной путь ведет к маленькой группе летучих молекул, известных как **фенилы**. Они названы от греческого слова «свет», потому что французский химик девятнадцатого века изолировал несколько бензоидов в остатках угольного газа, который использовался для зажигания ранних уличных фонарей (отсюда также фенилаланин). Фенилуксусная кислота, фенилэтанол и фенилацетальдегид — бензольные кольца, «украшенные» двухуглеродными цепочками стартового набора. Все они содержатся в цветах и обладают цветочным запахом.



Фенилэтиловый спирт — очень распространенная летучая молекула в цветах, ярко выраженная во многих благоухающих розах, и вместе со столь же вездесущим терпеноидом линалоолом помогает определить общую характеристику цветочности. **Фенилуксусная кислота** и **фенилацетальдегид** обладают более тяжелой сладостью, напоминающей мед, который, разумеется, пчелы производят из цветочного нектара (см. с. 415).

Некоторые до аминовые бензоидные кольца

Бензоидное кольцо	Запахи	Составляет запахи
метилсалицилат	грушанка, корневое пиво, согревающий	грушанка, тубероза, гвоздика садовая, тюльпан
метилантранилат (метиламинобензоат)	цветок апельсинового дерева, виноград	виноград «конкорда», земляника, цветы и корки цитрусовых, тубероза

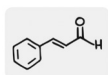
Некоторые фениловые кольца, цветочные и медовые

Фениловое кольцо	Запахи	Составляет запахи
фенилуксусная кислота	цветочный, мед, животный	цветок апельсинового дерева, роза, манго
фенилацетальдегид	мед, цветочный	многие цветы и плоды
фенилэтанол	роза, цветочный	роза, цветок апельсинового дерева, нарцисс, герань, многие плоды

Некоторые коричные кольца, сладкие, пряные, цветочные, фруктовые

Коричное кольцо	Запахи	Составляет запахи
коричная кислота	бальзамический, сладкий	бензойная смола
циннамальдегид	корица, едкий	корица
коричный спирт	цветочный, зеленый, бальзамический, корица	корица, бензойная смола, клюква
метил-, этилциннаматы	фруктовый, корица, мед	бензойная смола, цветы клевера, коричный базилик, клюква, гвоздика
циннамилацетат	мед, бальзамический, цветочный	корица, гуава
ацетофенон (метилфенилкетон)	экстракт миндаля, цветочный, пудровый	цветы лобулярии и клевера
аминоацетофенон	виноградный, сладкий	виноград «конкорд» и мускатные сорта

Бензольные кольца, которые не отклоняются в фениловое семейство, движутся дальше по трассе, но некоторые отклоняются, образуя более крупную группу летучих молекул с менее неясным названием семейства, **циннамилы**, впервые изолированные из корицы (cinnamon). Корица — это кора деревьев Юго-Восточной Азии из рода Коричников (Cinnatomum), и она обязана большей части своего характера **циннамальдегиду**, бензольному кольцу с трехуглеродной альдегидной цепочкой, «украшающей» один угол, молекуле, которая сейчас эффективно рекламирует присутствие выпечки во многих торговых центрах и аэропортах.



Циннамальдегид также активирует наши сенсоры холода и боли, поэтому на высоком уровне он охлаждающий и едкий. Его более широко распространенные кузены-молекулы, **коричная**

кислота, коричный спирт и их эфиры, напоминают смолы бензойного дерева стиракса, цветы и плоды, особенно пряную клюкву.

Короткий обходной путь от коричной кислоты ведет к двум другим цветочно-фруктовым летучим молекулам с названиями, опять основанными на слове «фенил».



Кетон **ацетофенон** помогает придать популярному цветку лобулярии ее богатый аромат, а также цветам клевера. Тот же кетон с дополнительной азотно-водородной группой, «украшающей» один угол кольца, — это фруктовый, мускусный **аминоацетофенон**, молекула, которая, в комбинации со сходно «украшенным» азотом метилантранилатом, делает североамериканские сорта винограда — и их соки, желе и вина — моментально узнаваемыми.

Второй обходной путь от коричной кислоты ведет бензольные кольца к семейству, с ко-

торым у них общее название, к **бензилам**. Их тезка, древесная смола бензоин, тоже дает нам более распространенные слова «бальзам», «бальзамин» и «бальзамический», что предполагает успокаивающие, умиротворяющие, приятные характеристики смолы и ее индивидуальных бензиловых летучих молекул. Эти молекулы состоят из основного бензольного кольца, украшенного одноуглеродной группой на углу. Они образуют обычную серию бензиловых соединений — спирта, альдегида и кислоты, а также различных эфиров. Ничего удивительного, что **бензиловый спирт** и **бензойная кислота** пахнут как древесные смолы, не сосновые, как богатые терпеноидами смолы хвойных деревьев, а ароматические, с их собственным характерным сладким, бальзамическим образом. **Бензиловые эфиры**, как и большинство эфиров, обладают фруктовой характеристикой, но также часто бывают цветочными. Они — ярко выраженные летучие молекулы в цветах, где они, похоже, особенно важны для привлечения бабочек и мотыльков.



Из всех бензиловых летучих молекул самая интригующая — **бензальдегид**. Он обладает характерным запахом экстракта миндаля и является заметным компонентом запаха вишни. Но он пахнет совсем не как обычный миндаль! Это потому, что миндаль, из которого изготавливают натуральный экстракт, — это горький миндаль. Горький потому, что, помимо выработки ароматического бензальдегида, он вырабатывает

горькую — и смертельную — цианистоводородную (синильную) кислоту. Погрызите нежное ядрышко твердой вишневой, абрикосовой или персиковой косточки — это близкие родственники миндаля, — и вы попробуете как аромат, так и горечь. Они вырабатываются вместе, когда ядрышко повреждается, как двузубое химическое средство защиты: токсин цианид в компании летучего предупреждающего сигнала.

В природе запах эссенции миндаля символизирует опасность и возможную смерть. Химически отделенный от цианида в экстракт миндаля, или присутствующий в малом количестве горький миндаль, ароматизирующий традиционный марципан, или вносящий вклад в следовых количествах во вкусы плодов с косточкой, он доставляет удовольствие.

ПРЯНЫЕ КОЛЬЦА: СЕНО, АНИС, ГВОЗДИКА, ВАНИЛЬ

Теперь вернемся на трассу к древесине, и парочка обходных путей приводит нас к кумаровой кислоте, основной структуре для последней группы бензоидных летучих молекул. «Украшения» на их кольцах довольно разнообразны, поэтому они на самом деле не составляют близко связанное семейство. Но они дают нам некоторые из наших любимых во все времена запахов.



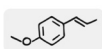
Начнем с **кумарина**, от которого кумаровая кислота получила свое

Некоторые бензиловые кольца, смолистые, цветочные, фруктовые

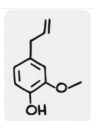
Бензиловое кольцо	Запахи	Составляет запахи
бензойная кислота	смолистый, сладкий	бензойная смола
бензальдегид	экстракт миндаля, вишня	миндаль горький, вишня, персик, гелиотроп, петунья
бензиловый спирт	цветочный, смолистый	многие цветы, вишня, дыня канталупа
метил-, этилбензоаты	фруктовый, цветочный	многие цветы, гуава
бензилацетат	жасмин, фруктовый	жасмин, нарцисс, гиацинт, гелиотроп, дыня канталупа
бензилбензоат	бальзамический, фруктовый	гвоздика садовая, петунья, тубероза

название. Его структура сходна с лактонами, и он предоставляет теплый запах измельченных клевера и сена, часто смешивающийся с летучими молекулами зеленой листвы, когда косят газоны и луга. Некоторые другие евроазиатские растения, включая подмаренник настоящий и подмаренник душистый (род *Galium*), ценятся за то, что испускают те же самые летучую молекулу и запах, и используются как подстилка, отгоняющая насекомых, и в кулинарии (сладости, чай, ароматизаторы для пива и вина). Тропические американские бобы тонка диптерикса душистого (кумару на языке тупи Бразильской Амазонии) — концентрированный источник кумарина, используются как пряность и порой как дешевое подобие ванили. Однако кумарин в больших количествах может причинить вред печени и почкам, и некоторые страны запрещают его использование в продуктах питания.

Среди других бензоеидов-индивидуалистов у нескольких есть сходная характеристика, которую мы ощущаем в наиболее чистом виде в семенных пряностях анисе и звездчатом анисе.



Анетол и эстрагол — идентичные молекулы, за исключением позиции одной двойной связи на трехуглеродном «украшении», и каждая вносит общую анисовую, но слегка индивидуальную характеристику в разный набор пряностей и душистых трав: анетол — в основном в семена типа аниса и звездчатого аниса, **эстрагол** — в основном в душистые травы типа тархуна (по-французски *estragon*), базилика и фенхеля. У анисола вообще отсутствует эта боковая цепочка, и он обладает более резкой, похожей на растворитель, характеристикой вместе с некоторым анисовым характером, в то время как другой вариант, **анисальдегид**, слаще и придает легкую анисовую нотку некоторым цветам.



Эвгенол — ключевая летучая молекула в гвоздике, высушенных цветочных почках дерева из азиатских тропиков (род *Eugenia*). Концентрированные источники типа гвоздики и

гвоздичного масла также едкие и вызывающие онемение, поскольку эвгенол активирует несколько разных рецепторов боли. В следах он играет вспомогательную роль в других пряностях, в спелых бананах, в гвоздике садовой и других цветах. Его кузен **метилэвгенол** (не сложный, а простой эфир) пахнет как смесь корицы и гвоздики, он важен для гвоздики садовой и душистого перца. **Миристицин** получил свое загадочное название от тропического азиатского мускатника душистого (*Myristica*) и несет многое от характерного аромата этого древесного семени, который также придается зеленой петрушке и огородному укропу. **Сафрол** — основная летучая молекула в корне сассафраса, был первоначальным ароматизатором корневого пива, пока его не заподозрили в том, что это токсин для печени. Сегодня его сложно почуять самого по себе, разве только вы сумеете найти душистую траву *hoja santa*, «священный лист» (*Piper auritum*) (см. с. 217).



Ванилин — ключевая летучая молекула в ванили, одна из самых популярных пряностей в мире. Теплая и сладкая, похожая на кумарин, она была одной из самых первых вкусовых молекул, произведенных промышленно. В природе она встречается в нескольких плодах и цветах, а также в некоторых видах древесины, особенно когда ее нагревают; это частично причина продолжающегося использования деревянных бочек для выдерживания вин и других спиртных напитков.

И последняя летучая молекула, происходящая от кумаровой кислоты, совершенно не похожая на другие пряные молекулы: кетон малины, бензольное кольцо, «украшенное» одной кислородно-водородной группой и четырехуглеродной кетонной группой, названное в честь плода, столь явно несущего его метку.

Вот и все об основных бензоеидных летучих молекулах. Они расширяют вселенную запахов до хвойных древесных смол, вносят новое измерение в царства цветов и плодов и по большей части создают царство пря-

Некоторые в основном пряные кольца из кумаровой кислоты

Дериват кумаровой кислоты	Запахи	Вносит свои запахи в
кумарин	сладкий, клевер, сено	клевер, люцерна посевная, бобы тонка, подмаренник душистый, зубровка душистая, кассия
анетол	анис, медицинский	анис, звездчатый анис, фенхель
анисальдегид	сладкий, цветочный, бальзам	анис, звездчатый анис, базилик, цветы
анисол	газолин, медицинский, анис	цветы
эстрагол	анис, зеленый, травянистый	тархун, базилик, фенхель
эвгенол	гвоздика, согревающий	гвоздика, базилик, корица, мускатный орех, древесина дуба, гвоздика садовая, левкой, роза, банан
метилэвгенол (простой эфир)	корица, гвоздика	душистый перец, базилик, гвоздика садовая
миристицин	смолистый, древесный, мускатный орех	мускатный орех, мацис, петрушка, укроп
сафрол	корень сассафраса, корневое пиво	сассафрас, мускатный орех, hoja santa
ванилин	ваниль	ваниль, древесина дуба, вишня
малиновый кетон (гидроксифенилбутанон)	сладкий, ягодный, цветочный	малина, логанова ягода

ностей. Хотя они и могут быть приятными, большинство или все бензоиды прежде всего химическое оружие, предназначенное, чтобы отогнать и отпугнуть. Метилантранилат винограда «конкорд» — доказанное средство для отпугивания птиц. Бензоаты — типичные пищевые добавки, потому что они хорошо убивают микробов, как это делают коричный альдегид и эвгенол. Бензальдегид не является остротоксичным сам по себе, но он предупреждающий сигнал, что в запасе есть цианид.

Подводя итоги, бензоидное разветвление белковой трассы поднимает растения к солнцу, защищает их от солнечных ожогов, поражает их врагов — и приобрело бесчисленных человеческих друзей.

АКЦЕНТЫ АЗОТА И СЕРЫ

Теперь давайте вернемся к прямой трассе, ведущей к активным белковым структурам: еще

всего лишь несколько обходных путей, и мы завершим наш тур. И эти привносят новые измерения в растительные запахи. Все летучие молекулы, с которыми мы повстречались до этого момента, были построены из всего лишь трех элементов — углерода, водорода, кислорода, и их запахи были по большей части приятными. Теперь на белковой трассе в смесь вступают азот и сера. Как мы увидели, животные и их микробы расщепляют свои избыточные белки на пахучие содержащие азот и серу фрагменты. Растения, к счастью, другие. У них нет такого большого количества белковых структур, и им не нужно пользоваться этими структурами для энергии. Их азотные и серные летучие молекулы — это не отходы; они строят молекулы, умножающие летучий арсенал для борьбы с животными и случайным образом умножающие наше удовольствие в еде.

Давайте начнем с относительно немногочисленных летучих молекул, включающих азот. Одна совсем не приятная. «Марь вонючая» — общееупотребимое название сорной родственницы шпината, вырабатывающей рыбно-пахнущий **фенилэтиламин**, «украшая» бензольное кольцо короткой цепочкой, оканчивающейся азотным атомом. Но поместите азот непосредственно на один угол бензольного кольца, и вы получите **метилантранилат** и **аминоацетофенон** (см. выше среди бензоидов), которые содержатся в плодах и цветах и имеют необычный мускусный аспект их характерной фруктовой цветочности. А помните пирролин, кольцо из четырех углеродов и азота, придающее человеческой сперме ее запах? Растения добавляют двухуглеродную цепочку к пирролину и образуют



ацетилпирролин, молекулу, ответственную за характерное цветочно-мускусное, похожее на попкорн, качество риса басмати и листьев тропического растения пандан, а также за похожую на попкорн нотку в приготовленных продуктах.

Некоторые растения строят **пиразины**, шестиугольные кольца с двумя азотными атомами напротив друг друга. Растительные пиразины с простыми метиловыми и этиловыми «украшениями» на кольце обычно имеют

землистые, прокислые запахи, в то время как **изобутил** и другие **метоксипиразины**, с кислородными атомами в боковых цепочках, обладают как землистой, так и тяжелой, похожей на зеленые овощи характеристикой, которую они придают гороху, зеленому стручковому перцу и спарже.



Метоксипиразины также придают овощные нотки некоторым сортам винограда и вина, которые порой ценят в случае Совиньон Блан, но о которых обычно сожалеют в Каберне Совиньон и Мерло.



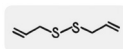
Последняя группа содержащих азот растительных летучих молекул также включает серу. **Аллил-** и другие **изотиоцианаты** — характерная специальность большого семейства капустных, и они производят на нас сильнейшее впечатление, когда бы мы ни причиняли самим себе жгучую боль от ядерной горчицы, хрена или японского васаби. Вдобавок к этой остроте они придают характерный серный аромат этим приправам, а также капусте и другим членам семейства, среди которых листовая горчица, рукола и редис. Несколько более дальних родственников растений тоже вырабатывают следы тиоцианатов и, таким образом, имеют сходные серные нотки без остроты; они включают почки

Некоторые растительные летучие молекулы, содержащие азот

Азотные летучие молекулы	Запахи	Составляют запахи
фенилэтиламин	рыбный	марь вонючая
метилантранилат	цветок апельсинового дерева, виноградный	цитрусовые цветы и корки, гардения, тубероза, виноград «конкорд», клубника
аминоацетофенон	виноградный, сладкий	винограды «конкорд» и мускатный, каштановый мед
ацетилпирролин	рис басмати	ароматические сорта риса, листья пандана
метил-, этилпиразины	землистый, прокислый, кожура орехов	спаржа, орехи, картофель
метоксипиразины	зеленый, землистый	свежий горох, зеленый стручковый перец, спаржа, салат-латук, винные сорта винограда

и плоды каперсов колючих, листья и цветы настурции и — самые странные из всех — плоды тропического дерева папайи.

Серные акценты довольно-таки распространены среди растений, включающих серные атомы во многие различные молекулярные структуры. Среди простейших — **сульфиды**, группа, включающая первобытный и сернистый сульфид водорода и двухуглеродный диметилсульфид, становящиеся ярко выраженными, когда многие овощи подвергаются термической обработке. Оба семейства капустных и амариллисовых вырабатывают их вместе со многими другими сульфидами с более чем одним серным атомом и различными более длинными углеводными цепочками. Конкретные сульфиды обладают своими собственными конкретными запахами и кажутся нам более-менее похожими на капусту, более-менее похожими на лук или чеснок в зависимости от того, в каком растении они наиболее ярко выражены (**диаллилдисульфид** — «визитка» чеснока), но у них всех смутно сернистый запах.



Дуриан, печально известный тропический азиатский фрукт (см. с. 272), тоже накапливает необычные сульфиды и имеет характерно луково-чесночный аромат, как и центральноазиатская пряность асафетида*.

Разнообразный набор других серных летучих молекул обеспечивает более необычные акценты. **Тиолы** — углеводные цепочки с серно-водородной парой на одном конце. Метантиол — первобытный тиол со всего лишь одним углеродным атомом, формирующийся в открытом космосе и микробном метаболизме и резко пахнущий. Но растения могут добавлять серно-водородные группы к более длинным цепочкам, прямым и изломанным, и образовывать многообразие тиоловых спиртов, кетонов, эфиров и терпеноидов — совсем, как мы видели, как это делают коты, скунсы и наши собственные тела!



Тиолы типа **метентиола** придают то, что часто описывается как «экзотические», порой «животные» нотки черной смородине и нескольким тропическим фруктам, в частности грейпфруту, гуаве и маракуйе. Они также важны в аромате вин, сделанных из винограда «совиньон блан».

Затем есть особенные серные летучие молекулы удивительного рода *Allium* (лук), названного от латинского слова «чеснок» и, таким образом, включающего лук, лук-шалот, лук-порей и лук-резанец. Представители рода *Allium* — серные виртуозы царства растений, и в числе их специализаций — смешанные цепочки под названием **сульфинаты**, включающие кислородные атомы. Они придают луку, чесноку и их родственникам раздражающий, слезоточивый эффект и добавляют свои характерные версии сернистости сульфидному семейству.

Из всех растительных летучих молекул, что мы обзрели в этой главе, луковые сульфинаты, чесночные сульфиды и горчичные тиоцианаты наиболее очевидно защитные. Они вызывают у нас жжение во рту и в глазах, кашель. Поэтому иронично, что они все такие ценные ингредиенты в продуктах людей по всему миру! Мы наслаждаемся ими именно потому, что они придают измерения аромату, вкусу и ощущению, которых нет у других продуктов, поскольку их агрессивные качества можно модулировать, сочетая их с другими ингредиентами, и поскольку готовка превращает их в еще одни ароматические и вкусовые молекулы.

Азотными и серными летучими молекулами мы завершаем наш тур по растительному метаболизму и его вырабатывающим запахи обходным путям. Быстро перелистайте предыдущие страницы и обратите внимание, насколько разнообразен и широк растительный репертуар по сравнению с выхлопами животных и микробных моторов, их простыми цепочками, сульфидами и тиолами. Зеленые,

* Асафетида — высушенный млечный сок из корневища или стержневого корня нескольких видов ферулы (*F. foetida* и *F. assa-foetida* — разновидности ферулы вонючей). Эти травы принадлежат к семейству зонтичных и произрастают в пустынях Ирана и в горах Афганистана.

Некоторые растительные летучие молекулы, содержащие серу

Серные летучие молекулы	Запахи	Составляет запахи
изотиоцианаты (также содержат азот)	резкий, горчица	семейство капустных (горчица, редис, хрен, васаби, рукола...), каперсы, папайя, настурция
сульфиды	капустный, приготовленные овощи, луковый	семейство капустных (брокколи, цветная капуста, репа...), семейство амариллисовых (лук-порей, чеснок, лук-резанец), дуриан, асафетида
тиоловые спирты, кетоны, эфиры	тропический фрукт, серный, потный, кошачий	грейпфрут, маракуйя, гуава, черная смородина, стручковый перец, хмель, самшит, дуриан
метен (терпеноид) тиол	грейпфрут, серный	грейпфрут, помело, апельсин
сульфинаты	луковый, чесночный, едкий	лук, лук-порей, чеснок, лук-резанец

смолистые, древесные, травянистые, цветочные, фруктовые, сладкие, пряные, экзотические, агрессивные — ингредиенты земных нектара и амброзии.

Столько страниц, столько трасс и обходных путей, столько молекул! И вся эта организация и головокружительное дорожное движение, а также невообразимо больше, содержатся в крупинках, являющихся индивидуальными растительными клетками, едва

заметными глазу. Теперь, когда мы имеем представление о том, чем там занимался Герой-Углерод, пришла пора отвести камеру назад к нашему собственному повседневному опыту с деревьями, душистыми травами, цветами и плодами. Вооружившись этим внутренним знанием, давайте посмотрим, сколько еще их изысканных ароматов мы сможем ощутить.

ГЛАВА 9.

МХИ, ДЕРЕВЬЯ, ТРАВЫ, СОРНЯКИ

Их страна называется «Аравия Благословенная»: природный сладкий аромат пропитывает всю страну, поскольку почти все растения, отличающиеся благоуханием, растут там вперемешку. Вдоль побережья растет бальзамовое дерево, а также кассия... Внутри страны густые леса с большими деревьями, приносящими ладан и мирру, вместе с финиками, аиром, корицей и всеми другими подобными ароматическими веществами... Аромат задевает и будоражит чувства каждого приезжего: он кажется божественным, его невозможно описать словами. Те, кто плывет вдоль побережья, даже на некотором расстоянии, получают свою долю удовольствия, поскольку летом, когда с берега дует бриз, ароматы, исходящие от мирры и других таких деревьев, доносит так далеко: это не те продукты, что известны нам, высушенные, подвергавшиеся хранению и выдохшиеся по прошествии лет, но свежие живые растения в самом расцвете сил.

Агатархид, «Об Эритрейском море», примерно 150 год до нашей эры

Я сомневаюсь, есть ли какое-либо ощущение, возникающее от зрения, более восхитительное, чем запахи, фильтрующиеся через нагретые солнцем, раскачиваемые ветром ветки, или же прилив запахов, нарастающий, убывающий, вновь поднимающийся одной волной за другой, наполняющий весь белый свет незримой сладостью.

Хелен Келлер, «Мир, в котором я живу», 1908 год

Эти крошечные растительные клетки, от которых мы только что сбежали, с их забытыми молекулами трассами и обходными путями, которые ароматизируют весь белый свет. Они ароматизировали арабский бриз, описанный греческим географом Агатархидом, реалистичная модель того, что Джон Мильтон воображал как свой земной рай. Они наполняют благоуханием бриз американской сельской местности Хелен Келлер. Когда нам удастся сбежать из наших жилищ, городов и их запахов и глубоко вдохнуть свежий воздух, мы наслаждаемся неприкрытыми коллективными испарениями зеленых аватаров Героя-Углерода, их животворным кислородом вместе со слабыми следами летучих молекул, помогающих поддерживать в них жизнь.

Мы начнем нашу оценку царства растений с обитателей лесов и лугов, вносящих

вклад в сладкие приливы всего белого света. Я организовал эту главу и следующую как виртуальный ботанический сад. Вообразите несколько акров земли, засаженной ароматическими образцами со всего света, коллекция, которую можно неторопливо обойти за несколько часов. Именно этим мы здесь и займемся. В следующей главе мы перейдем в цветочный сад с его более задушевыми, насыщенными, скоротечными запахами. Затем мы перейдем на продуктовые рынки, затем в помещение на кухню с ее всеобщей коллекцией ароматических веществ. Не стесняйтесь пролететь через все эти главы, как Рафаил через Эдем, чтобы быстро обозреть различные антуражи. Или медленно прогуляйтесь, остановитесь, когда наткнетесь на что-то, что вам нравится, не нравится или кажется интересным, и загляните в сопутствующую таблицу, чтобы найти составляющие

запахи, помогающие сделать это что-то тем, чем оно является.

Разумеется, воображаемые сады и кухни — негодная замена для настоящих растений, молекул и ощущений. Я надеюсь, эти главы сподвигнут вас покрутить в пальцах настоящие сосновые иголки или стебли травы, остановиться и понюхать розы, попробовать различные сорта мяты и яблок и поискать то, что вы никогда раньше не пробовали. Торо сказал о небесах, что эти удовольствия доступны везде вокруг нас. Мы можем найти их сегодня в парках и лесах, цветочных магазинах и теплицах, супермаркетах и бакалейных лавках, в отделе пиломатериалов магазинов строительных товаров. Необычные предметы часто можно заказать в интернете. Итак, просмотрите виртуальные сады и рынки ниже, найдите что-нибудь интересное, затем отправляйтесь в свой мир и нюхайте.

Когда вы действительно будете нюхать, не переживайте, если вы не сможете сразу же выделить никакие составляющие запахи. Растения — продуктивные химики. Любой лист, цветок или плод испускает от десятков до сотен различных летучих молекул, и наши сенсорные системы не предназначены для того, чтобы замечать каждый из них. Совокупная смесь летучих молекул сообщает нам то, что нам необходимо знать. Большинство листьев испускают «зеленый» запах, если покрутить их в пальцах или помять, благодаря нескольким летучим молекулам зеленой листвы; большинство цветов — «цветочный» благодаря горстке терпеноидов и ароматических соединений, большинство плодов — «фруктовый» благодаря гроздьям эфиров.

Однако обычно есть несколько летучих молекул, выделяющихся из общего гула, порой потому, что они содержатся в необычных пропорциях, порой потому, что это необычные ингредиенты для листа, цветка или плода. Именно на этих летучих молекулах я и делаю акцент, полагаясь, когда возможно, на опубликованные исследования живых или свежих материалов, не измененных сушкой или перегонкой в эфирное масло. Чтобы сделать

таблицы как можно более простыми, я буду называть всеобщие летучие молекулы зеленой листвы только тогда, когда они — преобладающий или основной компонент запаха растения.

Один или несколько составляющих запахов растения могут привлечь ваше внимание при первом обнюхивании; другие могут стать ощутимыми после еще нескольких раз или даже спустя месяцы, когда вы вообще их не выискиваете. Или они могут навсегда остаться слишком слившимися со смесью, чтобы их отличить. У вас все это будет. Что делает важным каждый опыт, так это то, что лежит в основе их всех: внимание к тому, что вы ощущаете, ваше осознание его сложности и расширение вашей базы данных ощущений и точек отсчета.

Не говоря уж об удовольствии от распознавания тонкостей, закономерностей и тем. Летучие молекулы и запахи кедра отличаются от сосновых, то же самое касается коло-систой и перечной мяты, дамасской и чайной роз. Но деревья, зелень и семена также имеют общие летучие молекулы, и их запахи зачастую напоминают друг друга. Помните об этом, и вы начнете замечать и наслаждаться запахами леса. Сходным образом во множестве зелени, корней и семян есть цветочные и фруктовые нотки. Некоторые летучие молекулы, которые производят на нас впечатление привлекательно цветочных, были изобретены как защитное оружие задолго до того, как на Земле появился первый цветок, крошечными растениями, чьи потомки сегодня в основном затаптываются под ногами и игнорируются.

Любознательное и информированное обнюхивание может приподнять завесу обыденности, так что мы заново ощущаем растения и их творения. Оно также может напомнить нам об их значении в человеческой культуре: запахи древесной смолы, вдохновляющие на мысли о стародавних временах и бессмертии; церемониальные цветы, символизирующие насыщенность, хрупкость и краткость жизни; плоды, предоставляющие, будучи тщательно

приготовленной и ароматной пищи для существ из иного царства, модель сотрудничества — и золотой стандарт кулинарии.

Итак, начнем с того, что получим представление о многообразии и богатстве растительной творческой деятельности. Остановитесь и помедлите, когда вы увидите запах или источник, созвучный вашему опыту или интересу. Просто следуйте за своим носом.

МХИ, ПЕЧЕНОЧНИКИ, ХВОЩИ, ПАПОРОТНИКИ

Давайте вступим на садовую дорожку, ведущую нас к скоплению высоких деревьев, чьи кроны пропускают солнечный свет; его лучи сверкают на поверхности медленно текущего ручья. Мы начнем не с деревьев, а с легко игнорируемых растений под ногами, далеких от уровня носа, покрывающих участки камней, почвы и древесных стволов. Это мхи и печеночники, современные версии очень ранних наземных растений. Их клан так никогда и не развил циркуляционную систему, несущую воду из корней через стебли к листьям:

у них нет настоящих корней, и они не могут выжить без обильной влажности. Но они и не смогли бы пережить эпохи без эффективных средств защиты от насекомых и микробов. Само собой разумеется, мхи и печеночники вырабатывают многие из тех же самых летучих молекул, которые мы ассоциируем с благоухающими деревьями, цветами и плодами.

То, что они это делают, — знак древней истории виртуозности растительных летучих молекул. Запахи, которые мы ценим сегодня, вероятно, впервые испускали древние растения, чтобы бороться со своими врагами, и они сохранились и по сей день, потому что они продолжают быть эффективными средствами защиты. Эти растения разработали нечто вроде летучего эквивалента синтезаторов звука и открыли нотки, сбивающие с толку, раздражающие, оглушающие или убивающие их врагов. С тех пор их потомки приспособливали как нотки, так и аккорды под стать своим развивающимся, все более сложным отношениям с животными и микробами. **Печеночники**, чьи прямые предки возникли почти что 400 миллионов лет назад, разработали специализиро-

**Некоторые примитивные наземные растения
(GLVs – летучие молекулы зеленой листвы)**

Растение	Составляющие запахи	Молекулы
печеночники (семейство Hepaticae)	зеленый, грибной, древесный, пряный, скипидар, морковь, водоросли	GLVs, октенол, терпены (пинен, камфен, лимонен, фелландрен, ментенол)
мхи (семейство Musci)	зеленый, грибной, сосновый, землястый	GLVs, октенол, нонаналь, нонаналь, терпены (пинен, лимонен, гумулен, ионон, борнилацетат, геосмин), бензоиды (бензальдегид)
хвощи (Equisetum)	зеленый, грибной, фруктовый, цветочный, пряный	GLVs, октенол, терпены (ионы), бензоиды (фенилэтанол, винилгваякол)
папоротники (Polystichum, Dryopteris, Phegopteris, Pteridium)	зеленый, сладкий, цветочный, пряный, сено	GLVs, нонаналь, деканаль, терпены (пинен, терпинеол, лимонен, линалоол, ионон), бензоиды (бензальдегид, ацетофенон, кумарин)
курчавый папоротник (Adiantum capillus-veneris)	зеленый, пластиковый, мыльный, щитник	GLVs, децаналь, декадиеналы

ванные масляные капельки для накопления летучих молекул в своих клетках, и в них химики идентифицировали более семисот различных терпеноидных молекул и двести бензоидов. Специалисты по печеночникам сообщают, что эти растения могут пахнуть древесиной, скипидаром, морковью, грибами и водорослями. **Мхи** обычно не обладают особенно сильными запахами, но они узнаваемо растительные, с летучими молекулами зеленой листвы и другими простыми углеводными цепочками, наборами терпеноидов и бензоидов, а также диметилсульфидом, который, как мы увидим, более распространен среди водорослей, чем наземных растений. Было обнаружено, что их восьмиуглеродные цепочки отгоняют насекомых, а их девятиуглеродные цепочки подавляют рост грибов.

В этом влажном тенистом уголке над мхами и печеночниками возвышаются **хвощи**, прямые зеленые лишненные листья перья, и **папоротники** с их кружевными, резными листьями. Их семейства более продвинуты, чем мхи и печеночники, все еще лишненные настоящих корней, но с сосудистыми системами для перемещения воды и способностью вырастать довольно-таки высоко — первые леса планеты состояли в основном из предков хвощей высотой сто футов (тридцать метров). Они тоже имеют обобщенно зеленые запахи, хотя некоторые папоротники примечательны сладкими, похожими на сено, цветочными запахами, помогающими определить целую категорию парфюмов, *fougeres*, фужеров (см. с. 380). Среди папоротников стандартное комнатное растение **курчавый папоротник** примечательно тем, что оно решительно не похоже на парфюм. Оно испускает те же самые альдегиды с простой цепью, придающие душистой траве кориандру ее характерный противоречивый запах, напоминающий как мыло, так и жуков (см. с. 215).

ХВОЙНЫЕ ДЕРЕВЬЯ

Теперь давайте обратим взор и мысли к деревьям, различным группировкам игло-

листных хвойных деревьев: кедром, соснам, пихтам, секвойям и иже с ними. Деревья — знакомые украшения парков, дворов и городских улиц, но попробуйте вообразить, что вы встречаете их заново как странных и чудесных созданий, которыми они и являются. Возвышающиеся, нависающие, порой в возрасте сотен или тысяч лет, они существуют в совершенно ином масштабе, отличном от нашего. Два вида калифорнийских секвой включают самые высокие и самые массивные живые организмы на сегодняшней Земле. Деревья внушали благоговение человеческой культуре и вдохновляли ее воображать высшее царство могущественных существ, на которое они указывают и представителями которого являются. В версии «Эпоса о Гильгамеше», написанной вавилонским священником более трех тысяч лет назад на основе более ранних шумерских источников, герой и его спутник Энкиду достигли Кедровой Горы, «обители богов, трона богинь», и «стояли там, дивясь лесу, / Созерцая высоту кедров»:

*«Кедр был покрыт комками смолы в высоту шестидесяти локтей,
смола вытекала, капая вниз, словно дождь,
свободно стекая в ущелья, уносившие ее».*

Благоухания, источаемые деревьями и их смолами, часто принимались за способы общения с высшими царствами посредством нюханья их здесь, на Земле. Странно, что существа, застрявшие в трясине и движущиеся только под влиянием ветра, вдохновляли бы идеи о невесомом и сверхопытном — идеи, ставшие частью нашего опыта с их запахами.

Наша первая роща деревьев включает группы кедров и их источающих смолу родственников, всех членов древнего несущего шишки племени, чей период расцвета был за 100 миллионов лет до господства цветущих растений и их широколиственных лесов. Их запахи будут знакомы любому, кто оказывался на обонятельном расстоянии от свежей рождественской елки или отправлялся в поход в горы. Многие хвойные деревья вырабатывают тот вид смолы, которую Гильгамеш видел

и чуял на Кедровой Горе, клейкую, липкую, благоухающую жидкость, защищающую их от нашествий микробов, жуков-древоточцев и других насекомых и залатывающую раны их тканей. Смолы — сложная смесь защитных химических веществ. Их основные компоненты — терпеноиды, углеродные цепочки длиной в десять, пятнадцать или двадцать углеродов, непригодные для взаимодействия с водными молекулами и, таким образом, в основном водонепроницаемые. Есть дитерпеноидные молекулы из двадцати атомов углерода, слишком крупные, чтобы быть летучими, но придающие жидкости основу и липкость. Есть также монотерпеноиды и сесквитерпеноиды, более мелкие и летучие, разбавляющие дитерпеноиды и придающие жидкости ее текучесть и ее запах. Когда дереву наносится физический урон, запасенная смола вытекает из ближайших каналов или «бугорков» на поврежденную поверхность, где она ловит или отгоняет вредителей и создает пломбу, которая медленно затвердевает по мере того, как летучие терпеноиды испаряются в окружающем воздухе. Даже деревья, не истекающие смолой, все равно запасают защитные терпеноиды в своей древесине, чтобы сделать ее менее подверженной нашествиям насекомых и гнили, название, которое мы даем урону, причиненному грибами, специализирующимися на том, чтобы поражать лигнин.

Древесные смолы — древние, гениальные, эффективные материалы, предоставляющие как физическую, так и биологическую защиту. Они ценились как таковые самыми ранними человеческими цивилизациями, от Шумера Гильгамеша до Индской долины дальше к востоку, которые использовали смолы, соскребаемые с различных хвойных деревьев или выпаренные из древесины, чтобы обрабатывать раны на человеческой плоти, мумифицировать мертвых и придавать водонепроницаемость контейнерам, крышам, корпусам лодок и даже ткани. Позже, с развитием городов, государств и торговли, бесчисленные хвойные деревья вырубались, чтобы защитить древесину странствующих по океанам кораблей,

и скипидар — экстракт смолы и древесины, обычно сосны, обогащенный более мелкими терпеноидами, идеальными для разжижения и растворения смолы, а также других маслянистых, жирных материалов типа краски — стал важным предметом потребления для человеческой промышленности в целом (см. с. 335). Скипидар все еще находит некоторые применения, и его продолжительное присутствие, далеко удаленное от леса, объясняет, почему, каким бы свежим и приятным ни мог быть запах древесных смол, они также могут напомнить нам растворители краски и чистящие средства для пола.

Хотя среди хвойных смол есть широкое семейное сходство, все они обладают своими собственными типичными терпеноидными смесями и запахами. Кедр Гильгамеша пах совсем не так, как ароматические, отпугивающие моль кедровые сундуки, которым мы вверяем нашу специальную одежду. Его прославленный, но сейчас редкий **ливанский кедр** принадлежит к совершенно иному роду, чем североамериканские деревья, дающие нам кедровое масло и кедровую древесину, которые на самом деле виды **можжевельника** и **туи** (Thuja). Как и настоящий кедр, так и можжевельник под названием **виргинский** содержат пахнущие древесиной сесквитерпеноиды, но это различные наборы молекул. **Туя складчатая** содержит еще один набор сесквитерпенов, но их подавляют числом монотерпеноиды, добавляющие характерно свежую сосновую, скипидарную нотку.

Это более легкое сосновое впечатление типично для многих знакомых хвойных деревьев, **сосен, пихт, елей и секвой**, и мы встречаемся с ним в пиломатериалах, фанере и рождественских елках. Похожие на иголки и чешую листья хвойных деревьев имеют общие фоновые летучие молекулы зеленой листвы, но содержат различные смеси своих характерных терпеноидов и порой других летучих молекул. Например, листва секвойи включает древесный бензозид сафрол и зеленый содержащий азот метокси-пиразин. Зелень хвойных особенно ароматна, когда она молодая и активно растущая.

Некоторые хвойные деревья

Дерево	Составляющие запахи	Молекулы
ливанский (он же атлантический) кедр (<i>Cedrus</i>)	смолистый, древесный, сладкий	пинен, гимахалены, гимахалолы, атлантон
техасский, мексиканский можжевельник виргинский (<i>Juniperus</i>)	древесно-камфорный, зеленый	цедрен, цедрол
туя складчатая (<i>Thuja</i>)	камфорно-мятный, древесный, сосновый	туйон, сабинен, терпиненол
сосна (<i>Pinus</i>), можжевельник (<i>Juniperus</i>), пихта (<i>Abies</i>), ель (<i>Picea</i>), секвойя (<i>Sequoia</i> , <i>Sequoiadendron</i>)	сосновый, скипидар, свежий, древесный	пинен, лимонен, карен, фелландрен, мирцен, терпинил- и борнилацетаты, сабинен

Когда мы вынориваем из хвойной рощи на ее границе, обратите внимание на обращенные наружу сосновые стволы, где комки смолы пекутся под солнцем по несколько часов за раз. Испускаемый ими запах не просто сосновый и свежий; у него есть богатая характеристика, теплая, словно солнце. Годы назад этот запах привлек внимание Романа Кайзера, именитого химика из швейцарской ароматической компании Givaudan, когда он совершал пеший поход вдоль средиземноморского берега Лигурии в западной Италии. Кайзер десятки лет изучал и красноречиво описывал летучие молекулы и запахи растительного мира. Он проанализировал образец нагретой солнцем сосновой смолы и обнаружил, что в нем содержались необычные пятнадцатитуглеродные цепочки, высоко ценимые в парфюмерии! Таким образом, хвойные смолы сами придают благоухание лесному воздуху, а также предоставляют ингредиенты для новых летучих молекул, которые, возможно, случайны для деревьев, но доставляют большое удовольствие внимательным прохожим. Подробнее об открытии Кайзера в главе 17.

СМОЛЫ ДЕРЕВЬЕВ С ТВЕРДОЙ ДРЕВЕСИНОЙ: ЛАДАН, БАЛЬЗАМЫ, КОПАЛЫ

Теперь мы переходим из впечатляющей тени хвойных деревьев в более открытую рощу по

большой части низких деревьев с широкими листьями. Они принадлежат к более молодому и куда более разношерстному племени цветущих растений, чьи деревья называются твердой древесиной, чтобы отличить их от хвойных с (зачастую) более мягкой древесиной. Как и хвойные, деревья в этой роще тоже вырабатывают ароматические смолы, когда они ранены. Они представляют нашу более понятную версию пряного леса в Эдеме, который поэт Джон Мильтон заставил Рафаила преодолеть на его пути к Адаму для разговора. Мильтон засадил лес миррой, кассией и бальзамом, поскольку вместе с ладаном они фигурируют в Библии как материалы для помазания и курения благовоний, редкие дары Создателя, несравненные запахи которых переносят нас из обыденной жизни на более духовный, медитативный уровень. Некоторые из этих материалов — все еще ингредиенты курительных благовоний в католической и православной церквях, и они также легкодоступны для заказа в интернете для ароматерапии и в качестве необычных ингредиентов продуктов и напитков. Чтобы узнать, как окуривание усиливает смолистые и древесные ароматы, перейдите на раздел о курении благовоний (см. с. 354).

Ладан и мирра — смолы, получаемые из родственных кустарникообразных деревьев родом с засушливого Аравийского полуострова и из северо-восточной Африки. В те-

чение тысячелетий ценимые в большей части Старого Света, они собираются посредством нанесения порезов стволам деревьев, чтобы стимулировать выработку смолы, затем соскабливания смолы, собирающейся на порезе, когда она достаточно затвердевает, чтобы иметь с ней дело.

Ладан, также известный как ливан, — это определяющий материал благовоний Римско-католической церкви. Он получается из деревьев рода *Boswellia*, один основной вид отмечен сосновыми и пряными нотками, другой — свежими и цветочными нотками. Объединяющий их характерный запах ладана берется от необычных **олибановых кислот**, восьмиуглеродных цепочек с трехуглеродным кольцом на одном конце.



Химики, обнаружившие их роль в 2016 году, описали их запахи как типичную для благовоний «бальзамическую, староцерковную конечную нотку» и обнаружили, что они сохраняются на поверхностях в течение месяцев, так что, когда они испускаются из раскаленных углей курительницы в ходе религиозных обрядов, они «оседают на стенах, мебели и шторах и затем обеспечивают продолжительное распространение своего запаха».



Мирра часто упоминается в одном ряду с родственным ей ладаном и считается самой высокопробной из всего подсемейства смол от родственных видов, включающих галаадский бальзам и таких буквально выдающихся субъектов, как

Некоторые древесные смолы

Смола	Составляющие запахи	Молекулы
ладан, Ливан, al-luban (<i>Boswellia sacra</i> и <i>carterii</i> ; Оман и Сомали)	благовоние, старая церковь, древесный, сосновый, перечный	олибановые кислоты, пинен, мирцен, линалоол, крезол, мустакон, ротундон
ладан, Ливан, al-luban (<i>Boswellia papyrifera</i> ; Судан, Эфиопия, Эритрея)	благовоние, старая церковь, свежий, зеленый, землистый, грибной, цветочный	олибановые кислоты, октилацетат, октанон, лимонен, гераниол, линалоол
мирра (<i>Commiphora myrrha</i>)	теплый, сладкий, кожаный, грибной, подлесок	фуранозевдесмадиен, линдестрен, курзерен (3-кольцевые фуранесквитерпеноиды)
мастика (<i>Pistacia lentiscus</i>)	сосновый, древесный, свежий, цветочный	пинен, мирцен, лимонен, линалоол
бензоин, Сиам и Суматра (<i>Styrax tonkinensis</i> и <i>benzoin</i>)	Сиам: бальзамический, фруктовый, цветочный, сладкий, ваниль Суматра: бальзамический, цветочный, фруктовый, пластиковый, сладкий	Сиам: бензойная кислота и бензоаты, ванилин Суматра: коричная кислота и циннаматы, бензойная кислота и бензоаты, стирол
«стиракс» ликвидамбара смолоносного, сторакс, восточные и американские (<i>Liquidambar orientalis</i> и <i>styraciflua</i>)	сладкий, пластиковый, сосновый, древесный, цветочный, фруктовый	стирол, пинен, кариофиллен, циннаматные эфиры
копалы (виды <i>Bursera</i> , <i>Hymenaea</i> , <i>Protium</i> , <i>Pinus</i>)	древесный, пряный, сосновый, смолистый	копаен, гермакрен, пинен, лимонен
смола копайского дерева, копайский бальзам (<i>Copaifera</i>)	древесный, камфора, бальзамический	кариофиллен, гермакрен, селинен

бдолах, опопанакс и смола гутгул. Она слаще и более земаистая, чем ладан, с необычными грибными и кожаными гранями, возникающими за счет модифицированных сесквитерпеноидов, включая **фуранозвдесмадиены**.

Менее экзотическая и литургическая, чем ладан и мирра, — **мастика**, смола родственника фисташкового дерева, произрастающего на греческом острове Хиос и в соседних регионах. Она используется как ароматизатор в греческой и турецкой кухнях и в качестве упорной, склеивающей зубы жевательной резинки, как сосновая смола в северных регионах. Среди ее летучих молекул преобладают терпеноиды пинен и мирцен.

Ароматический материал, названный Джоном Мильтоном «бальзамом», — это защитное древесное выделение, как смолы хвойных деревьев, ладан и мирра, но его химический состав и запахи очень сильно отличаются. Бальзам сейчас означает нечто успокаивающее и целебное. Это слово пришло через греческое *balsamon* от ивритского и арабского слов, означающих «пряность» или «парфюм» — ароматические растительные материалы, также использовавшиеся для бальзамирования, предотвращения разложения человеческого или животного тела и замещения запахов смерти запахами удовольствия и обряда. Эти скрытые намеки на исцеление и сохранение мелькают в названии «бальзамического» уксуса, традиционно изготавливаемого посредством медленной ферментации сладкого винного уксуса в бочках, сделанных из ароматической древесины (см. с. 460). Сегодня растительные биохимики используют бальзам для конкретного обозначения древесных смол, в которых преобладают не сосново-древесные терпены, а сладкие, мягкие, успокаивающие, «бальзамические» бензольные кольца, включающие бензойную и коричную кислоты и их эфиры, а также ванилин.

Бальзамы были важными ингредиентами благовоний в течение многих веков и во многих культурах, от Азии через Средний Восток и до Европы. **Сиамские и суматровские бен-**

зоины происходят от азиатских видов деревьев-собратьев, в суматровском ярче выражены фруктово-цветочные коричные летучие молекулы. Характерный сорт бальзама добывается из **ликвидамбаров**, декоративных деревьев рода *Liquidambar* из Северного полушария, чьи листья в форме рук осенью становятся темно-красными. Это типичные уличные и парковые деревья, и на их стволах часто есть бусины смолы. Смолы ликвидамбара содержат значительные количества обладающего бальзамическим запахом винилбензола, молекулы, состоящей из шестиуглеродного бензольного кольца плюс двухуглеродная боковая цепочка. Поскольку он был изначально открыт в бальзаме стиракса, винилбензол был назван **стиролом**, название, известное большинству из нас по полистирольным пластмассам, синтетическому материалу легких губчатых упаковочных материалов и контейнеров для продуктов и напитков навынос. Полистиролы часто сохраняют следы стирольного строительного элемента и его запах, поэтому богатая стиролом смола прямо от дерева может казаться обладающей искусственным, пластиковым качеством. Учитывая приоритет дерева, нам действительно следует называть запах пластика бальзамическим.

Цивилизации Нового Света тоже дорожили древесными смолами, и некоторые из их наиболее важных источников — субтропические и растущие в засушливых регионах члены того же ботанического семейства, что ладан и мирра Старого Света (виды *Bursera*, *Hymenaea*, *Protium*). Они известны как **копалы**, от корня из языка науталь, и использовались и продолжают использоваться как консервирующие вещества, средства народной медицины, фумиганты и благовония для почитания богов и могущественных людей, а также для изготовления превосходного лака. За исключением тех, что собираются с сосен, в копалах преобладают пахнущие древесиной сесквитерпеноиды, в особенности древесно-пряно-медовый копаен.

Последнее вырабатывающее смолу дерево, которое мы обнюхаем, происходит из юж-

ноамериканского рода *Sorapifera*, название, означающее «несущий копайский бальзам», **копайский бальзам** — название данного характерного вида копалов. Но в английском его также называют дизельным или керосиновым деревом, и оно менее известно своими летучими молекулами, чем своим обильным урожаем легко воспламеняемой пахнущей древесиной смолы. Оно обычно выше, чем другие смолистые деревья с твердой древесиной, и отдельные деревья за отдельный год дать могут более десяти галлонов (сорока литров) копайского бальзама. Копайское дерево — живой памятник поразительной производительности этих аватаров Героя-Углерода, которых мы называем растениями, превращающих солнечный свет и воздух в осязаемую, обоняемую, полезную материю.

АРОМАТИЧЕСКИЕ ДЕРЕВЬЯ С ТВЕРДОЙ ДРЕВЕСИНОЙ: КОРИЧНИКИ И ЛАВРЫ, ЭВКАЛИПТЫ, ДРЕВЕСИНА ДЛЯ БЛАГОВОНИЙ

Кассия, чье благоуханье архангел Рафаил уловил в прямом лесу, растет в следующей роще деревьев в нашем саду, группе деревьев с твердой древесиной, которые не выделяют смолы из раненой ткани, но действительно защищают свои древесные части и листья изобилующими защитными летучими молекулами. Вместе с кассией большинство из них используются в качестве пряностей, чтобы привнести интересные запахи в наши продукты. Первые пять охватывают планету от Азии до Средиземноморья и до Калифорнии и, кроме того, все принадлежат к одному и тому же растительному семейству *Lauraceae* (Лавровые), названному в честь средиземноморского члена, лавра благородного, дающего нам благородные листья для нашей полки для приправ. Лавровый клан можно проследить до очень ранних времен цветущих растений, и, вероятно, выработка летучих молекул — их общая

ароматическая характеристика — была одним из ключей к их долгожительству.

Хотя кассия когда-то была такой же редкой и экзотической, как мирра и бальзам, сейчас это очень даже повседневный ингредиент: это нечто вроде корицы, внутренняя кора азиатских деревьев средней высоты из рода *Cinnamomum*. Торговля пряностями различает несколько отличных видов, а вот этикетки на продуктах — нет. Вкусовые различия в основном зависят от пропорций бензоида циннамальдегида*, основной летучей молекулы и также активатора рецепторов жара и боли, а еще источника вкуса и жара конфеток «Ред Хот». **Истинный коричник** имеет мягкий и сложный запах, с фруктовым эфиром и цветочным терпеноидом, дополняющими умеренный, не особенно едкий уровень циннамальдегида. Кассия более насыщенно коричная и едкая от двойной дозы циннамальдегида, со сладкой, похожей на сено ноткой кумарина, еще одного бензоида. А **индонезийский коричник** и **коричник Лоурейра** содержат циннамальдегид на раскаленном докрасна уровне. Третий вид *Cinnamomum* известен как **камфора**, он дал свое название и был основным источником данного характерного монотерпеноида, одновременно свежего и медицинского, охлаждающего и согревающего. Летучая молекула-камфора давно извлекалась из древесины и листьев деревьев путем их нагревания и собирания паров, из которых она затвердевает в форме восковых белых кристаллов. Ее использовали с древних времен как лекарство и ингредиент в кулинарии, в основном в южно-восточноазиатских и арабских традициях. Шесть вариантов вида камфоры в действительности специализируются вместо этого на какой-нибудь другой летучей молекуле — например, есть линалооловые деревья и эвкалиптовые деревья — и культивируются для создания ароматических экстрактов.

Лавр благородный — средиземноморское дерево средней высоты, которое легко можно

* Имеется в виду коричный альдегид, он же 3-фенил-2-пропеналь.

Некоторые ароматические деревья с твердой древесиной из семейства лавровых

Дерево	Составляющие запахи	Молекулы
коричник (<i>Cinnamomum verum</i>)	корица, мед, цветочный, древесный, гвоздика	циннамальдегид 5–15%, циннамилацетат, линалоол, кариофиллен, эвгенол
кассия, индонезийский коричник, коричник Лоурейра (<i>Cinnamomum cassia</i> , <i>burmannii</i> , <i>loureiroi</i>)	корица, едкий, сладкий, сено	циннамальдегид 15–20%, 20–50%, 55–70%; коричная кислота, кумарин
камфорный лавр (<i>Cinnamomum camphora</i>)	камфора, свежий, медицинский, цветочный, древесный, теплый, пряный	камфора, эвкалиптол, линалоол, неролидол, сафрол, борнеол
лист лавра благородного (<i>Laurus</i>)	камфора, лаванда, сосна, древесный	эвкалиптол, терпинилацетат, пинен, сабинен
лист лавра калифорнийского (<i>Umbellularia</i>)	свежесрезанный, медицинский, древесный, сосна	умбеллулон, звкаиптол, терпинеол, тимол
кора корня, лист сассафраса (<i>Sassafras</i>)	кора: корневое пиво, камфора, мускатный орех, гвоздика; лист: лимон, сосна, древесный	кора: сафрол, камфора, миристицин, эвгенол; лист: нераль, гераниаль, пинен, кариофиллен
лист авокадо (<i>Persea americana</i> , мексиканский сорт)	анис, древесный, сосна, корица	эстрагол, кариофиллен, пинен, метилэвгенол

подрезать до садового куста, его жесткие листья содержат удивительно разнообразную терпеноидную смесь эвкалиптовых, сосновых, лавандовых и древесных ноток, придающих дополнительное измерение рагу. Так называемый **лавр калифорнийский** — дальний родственник географически и ароматически, куда менее разнообразный, потому что в его листьях и коре обычно преобладает резкий едкий/охлаждающий терпеноид умбеллулон, вероятно, ответственный за прозвище этого лавра — «дерево-головняк». Другой член лаврового семейства, захвативший место под солнцем в Северной Америке, — пришедший с Востока **сассафрас**, растущий как дерево или кустарник. Кора корня сассафраса когда-то ароматизировала корневое пиво, пока ее основную летучую молекулу, бензоид сафрол, не заподозрили в том, что она канцероген, и не запретили ее в коммерческих продуктах. Но его характерные трехлепестковые или варежкообразные листья все еще ароматизируют луизианский гамбо лимонными и сосно-

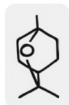
выми терпеноидами в форме порошка филе. А мексиканский сорт дерева **авокадо**, процветающего на более прохладных возвышенностях, чем другие тропические сорта, защищает свои листья похожим на анис эстраголом вместе с парой сосновых, древесных терпеноидов, в то время как его кора содержит значимый копаловый сесквитерпеноид копаен.

Теперь мы пройдем дальше к нескольким ароматическим деревьям, неродственным лавровому семейству и друг другу. Первое, **эвкалипт**, с плакучими хрупкими ветками и продолговатыми листьями, знакомо любому, кто ездил в Австралию, его дом, или Калифорнию, где им засадили обширные территории, чтобы заменить местные секвойи и дубы. Эвкалипты — продуктивные производители терпеноидов с большим числом энзимов, посвященных этой функции, чем у любого другого известного растения. Есть несколько сотен видов с различными формами и летучими смесями. Большинство могут вырастать довольно-таки высокими, и в большинстве

Некоторые другие ароматические деревья с твердой древесиной

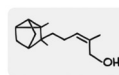
Дерево	Составляющие запахи	Молекулы
лист эвкалипта (<i>Eucalyptus</i>)	эвкалипт, камфора, сосна	эвкалиптол, пинен, цимен
сандаловое дерево (<i>Santalum album</i>)	древесный, кремовый, пудровый, потный, дымный, мочево	санталолы, санталали (сесквитерпеноиды)
агаровое дерево, алойное дерево, удовое дерево, джинко, кьяра (виды <i>Aquilaria</i>)	богатый, древесный, сладкий, цветочный, ваниль, животный	уникальные и бесчисленные сесквитерпеноиды, бензопираны, фураны
palo santo (<i>Bursera graveolens</i>)	сладкий, мятный, цветочный, древесный, сосновый	мятный карвон, мятные лактоны (бензофураноны), пулегон, терпинеол, бисаболен

содержится эпонимический монотерпеноид **эвкалиптол**^{*}, обладающий свежей, охлаждающей характеристикой вдобавок к его характерному запаху.



Он не особо-то используется в кулинарии, но дистиллированные эвкалиптовые летучие молекулы были важным коммерческим продуктом с девятнадцатого века, и как эвкалиптовое масло, так и эвкалиптол — вездесущие ингредиенты в бытовых и личных продуктах.

Рядом с эвкалиптами две группы азиатских деревьев малой и средней высоты, ценимых с древних времен за их ароматическую древесину. Название **сандалового дерева**, как считается, произошло от санскритского корня, обозначающего «светящийся» или «сияющий», отражающего использование его более старой сердцевинной и корневой древесины в качестве благовония; его древесина также традиционно перемалывается с водой в благоухающую пасту для использования в обрядах, медицине и продуктах и дистиллируется для получения эфирного масла, используемого в парфюмерии и для ароматизации табака. Это дерево паразитическое, как и родственная ему омела, и эксплуатирует корневые системы других деревьев; сейчас оно культивируется на плантациях, в особенности в Австралии. Оно обязано своим уникально



мягким, молочным, несколько животным, мочевым запахом необычным сесквитерпеноидам, **санталолам**^{**}.

Вторая группа азиатских деревьев посвящена **агаровому дереву**, также известному как алойное дерево, джинко, кьяра и удовое дерево; последнее название — само арабское слово «древесина», агар происходит из древнего санскрита. Это по большей части южно-восточноазиатские виды рода *Aquilaria*. Когда они ранены и их внутренние ткани открыты грибкам и бактериям, эти деревья (возможно, с помощью своего резидентного микробиома) реагируют, вырабатывая защитную богатую терпеноидами смолу, постепенно пропитывающую окружающую рану древесину. Агаровое дерево — самый изумительный материал для благовоний, самый редкий и самый дорогой, настолько выискиваемый в течение такого долгого времени, что он стал вымирающим видом. Превосходные образцы стоят сотни долларов за грамм, и в данное время осуществляются попытки стимулировать искусственное производство смолы.

Запах агарового дерева совсем не похож на любую другую древесину или смолу, со столькими многочисленными дополняющими гранями, от древесин и смол до цветов,

* Он же цинеол.

** Санталол — смесь двух изомеров: α -санталола и β -санталола.

пряностей и кожи, что ароматический химик Роман Кайзер описал его как «мать всех запахов». Его богатство отражает его химическую сложность, которая, возможно, отражает атаки микробов, используя слишком много различных химических видов оружия, чтобы их смог преодолеть любой микроб. Химики каталогизировали десятки сесквитерпеноидов, больше нигде не встречающихся, вместе с двухкольцевыми бензопиронами, близкими родственниками сладко-сенного кумарина.

Последнее дерево в этой ароматической роще — южно- и центральноамериканский родственник деревьев, вырабатывающих копал и ладан. Менее известная в качестве благовоний, чем сандаловое дерево и агаровое дерево, но вполне достойная того, чтобы ее знать, сердцевинная древесина **palo santo**, «священная древесина», разрезается на палочки, зажигается, и пламя задувается так, чтобы она тлела. Запах palo santo знаменит своей уникальной и удивительной ноткой мяты: это растение содержит карвон, пулегон и мятные лактоны, общие с членами травянистого мятного семейства.

МЯГКИЕ ДЕРЕВЬЯ С ТВЕРДОЙ ДРЕВЕСИНОЙ: ДУБ, КЛЕН, ВИШНЯ

Теперь мы подходим к последней роще деревьев, зрелых и величавых, более распространенных и знакомых в Европе и Северной Америке, чем любые из тех, которые мы пока

что обнюхали, и не столь характерно ароматические, а именно: дубы, клены и другие, населяющие широколиственные леса умеренных климатов Земли. Эти деревья испускают сходные и довольно-таки универсальные запахи, когда их древесина надрезается: сперва свежие и зеленые альдегиды стартового набора от расщепления различных углеродных цепочек, а позже — уксусную кислоту и хлебный фурфурол (см. с. 280) по мере того, как более сложные материалы клеточных стенок высыхают и отваливаются.

Среди деревьев с твердой древесиной умеренного пояса наиболее хорошо изучен дуб. Английское слово tree (дерево) и многие из его европейских исконно родственных слов произошли от праиндоевропейского слова, обозначающего «дуб», это показатель того, насколько он был важен в человеческой жизни. Есть несколько сотен различных видов дубов, распространенных по всему Северному полушарию, и вместе с большинством их компаньонов в хвойных лесах объединяет отсутствие характеризующих летучих молекул. Они не особо-то напрягаются с терпеноидами. Вспомните, что молекулярная основа древесины — лигнин, сложная масса взаимосвязанных бензольных и других углеродных колец. Как оказывается, летучие молекулы дуба и многих деревьев с твердой древесиной включают альдегидные формы этих строительных элементов вместе с кучкой летучих бензоеидов, включая ванилин, похожий на гвоздику эвгенол и гваякол, пахнущий

Некоторые мягкие деревья с твердой древесиной

Дерево	Составляющие запахи	Молекулы
ясень (Fraxinus), клен (Acer)	свежий, зеленый, хлебный, уксус	пентаналь, гексаналь, фурфурол, уксусная кислота
дуб (Quercus)	хлебный, свежий, древесный, сладкий, гвоздика, дымный, кокос	сиреневый альдегид и другие лигнинные альдегиды, ванилин, эвгенол, гваякол, дубовый лактон (метил-гамма-окталактон)
вишня (Prunus)	эссенция миндаля, бальзамический, кокосово-кремовый	бензальдегид, бензиловый спирт, лактон массоей (C ₁₀)

дымно, поскольку это фрагмент лигнина, производимый древесиной, когда она горит (глава 16). Дуб, в частности, также содержит модифицированный восьмиуглеродный лактон, «дубовый» или «вискиобразный» лактон, разделяющий с другими лактонами сладкую, похожую на кокос характеристику. Древесина **вишневого дерева** содержит другой лактон вместе с некоторыми из тех же самых бензиловых летучих молекул, также придающих аромат плодам вишни. Выработка многих из этих летучих молекул углеродных колец стимулируется, когда «зеленая» древесина высыхает, и они становятся еще более ярко выраженными, когда сухая древесина слегка опаливается, обугливается или сгорает. Они привносят желанные ароматы в продукты, приготовленные над тлеющей древесиной, и в напитки — вино, виски, ром, — выдержанные в деревянных бочках. Они даже помогают придавать целлюлозным страницам старых книг и газет их характерные сладкие запахи, в которых ванилин, бензальдегид и фурфурол преобладают над несколькими кислотами и альдегидами стартового набора.

ЛИСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ

Кустистые, травяные и душисто-травянистые члены царства растений, возможно, не внушают благоговения так, как это делают деревья, но у них хорошо получается доставлять удовольствие. Они — наши повседневные спутники, источники пищи, ближе к нам по размеру, стойкости и продолжительности жизни, легкие в обращении. Их надземная масса по большей части листва: тонкие, податливые зеленые листья. Мы видим их повсюду, от города до сельской местности, мы идем по ним, дремлем на них, устилаем ими парковые зоны, массово выращиваем их на фермах, сажаем их вокруг домов и в садах, приносим их на подоконники, в наши кухни, в нас самих.

Те же самые черты, которые делают листовенные растения притягательными и полезными, подталкивают их по-крупному вложиться в химические средства защиты. Они

чувствительные, располагающиеся низко над землей, уязвимые к атакам микробов и всевозможных голодных животных, от слизняков до людей. И их фотосинтезирующие листья жизненно важные ресурсы. Некоторые растения вооружают свои листья нелетучими молекулами, токсичными для животных, или облачают их в броню из колючек и шипов. Но для почти всех первые линии защиты — летучие молекулы зеленой листвы, образуемые и испускаемые, когда клетки листьев повреждены, и это придает зеленым листьям их характерный запах (см. с. 137).

Вдобавок к высвобождению GLVs и подобных летучих молекул с простой цепью многие растительные листья защищают себя так же, как и деревья при помощи заранее смешанных коктейлей изломанных терпеноидов и/или бензолидов шестиугольными кольцами. Некоторые запасают это оружие в специальных внутренних каналах, а другие — во внешних, похожих на волоски структурах, видимом пушке на поверхностях листьев мяты и базилика, растений томата, а также каннабиса. Эти внешние железы хрупкие, и они ломаются и высвобождают свое содержимое при легчайшем физическом контакте даже до того, как повреждается сам лист.

Когда речь заходит о нашем опыте с их запахами, листовенные растения подразделяются на три группы. Есть дикие растения и растения, которые мы используем для озеленения, их летучие молекулы сильно рассеиваются на открытом воздухе. Есть растения, листья которых мы едим как овощи, они в основном полагаются на GLVs и имеют относительно узкий ряд зелено-овощных ароматов. И есть растения, которые мы называем душистыми травами, они усиливают GLVs терпеноидами, бензоидами, фуранонами и другими летучими молекулами, они обладают широким рядом сильных запахов, и мы используем их в малых количествах, чтобы приправить нашу пищу. Мы попробуем каждую из этих групп и увидим, что, хотя они и скромного роста, зеленые растения — химические виртуозы. Сейчас в программе дикие и озеленительные

растения; овощи и душистые травы — в следующих главах.

АРОМАТИЧЕСКИЕ КУСТАРНИКИ, ТЕРПЕНОИДНЫЕ И ВОНЮЧИЕ

Оставив позади себя тень дубов, теперь мы переходим к участку в основном обнаженной почве, усеянной группами низкорослых, разлохмаченных растений, представителей нескольких распространенных и решительно ароматических кустарников. Первые несколько испускают в основном терпеноиды, объединяющиеся своими запахами с хвойными деревьями. Растительный род *Artemisia* (Полынь) включает десятки богатых терпеноидами видов. Многие из них — сорные обитатели сухих почв — называются разнообразно: чернобыльник, полынь, лебеда и нехворощ. **Полынь обыкновенная** пахнет в основном сосной, эвкалиптом и камфорой (есть также

съедобная полынь, см. с. 205), в то время как **полынь калифорнийская** обладает похожей на растворитель характеристикой и склоняется в направлении кедр и кухонных душистых трав. **Тысячелистник** — декоративный садовый кустарник из семейства астровых, смешивающий камфорные, эвкалиптовые и сосновые терпеноиды.

Несколько следующих насаждений обладают откровенно неприятными запахами, напоминающими животных и нас самих. **Самшит** — мелколистный европейский кустарник, который хорошо подходит для стриженных живых изгородей и топиара, но всегда был печально известен неприятной гранью своего нагретого солнцем запаха. Химики опознали ответственную летучую молекулу как «кошачий кетон», содержащую серную молекулу, также встречающуюся в кошачьей моче (см. с. 83). Несколько видов **руты** — средиземноморские кустарники с сильной, похожей на растворитель, медицинской ха-

Некоторые ароматические кустарники

Растение	Составляющие запахи	Молекулы
полынь (<i>Artemisia vulgaris</i>)	скипидар, свежий	пинен, камфен, камфора, эвкалиптол
калифорнийская полынь (<i>Artemisia californica</i>)	эвкалипт, свежий, кедр, шалфей, растворитель	эвкалиптол, туйон, камфора, кетон полыни
тысячелистник (<i>Achillea</i>)	камфора, эвкалипт, скипидар	камфора, сабинен, эвкалиптол, борнеол, пинен
самшит вечнозеленый (<i>Buxus sempervirens</i>)	зеленый, древесный, потный, кошачья моча	фелландрен, гумулен, метилсульфанилпентанон
рута, бахромчатая рута (<i>Ruta graveolens</i> и <i>chalapensis</i>)	растворитель, проникающий, прогорклый, потный	ундеканон, нонанон, нонилацетат, сульфанилгексанола, метилсульфанилпентанон
марь вонючая (<i>Chenopodium vulvaria</i>)	рыбный	триметиламин
креозотовый куст (<i>Larrea tridentata</i>)	скипидар, едкий, растворитель, сладкий, побережье, прокислый, медицинский, дымный	смешанные монотерпеноиды, метилбутенон и -бутанон, метакролеин, метилацетат, ацетон, диметилсульфид, фенол, гваякол, хлороанисол, тетрагидрид углерода
сушеница, кроличий табак, псевдогнафалиум (<i>Pseudognaphalium</i>)	кленовый сироп, карри, пажитник	сотолон?

рактистикой из-за подобных ацетону кетонов, а некоторые — с полицием серных летучих молекул, включая кошачий кетон и несколько других идентичных или близкородственных молекул, содержащихся в человеческом поте (см. с. 112). Приземистей самшита или руты — **марь вонючая**, родственница киноа и шпината родом из Европы и Западной Азии, но сейчас широко распространенная. Ее листья по форме напоминают перепончатые лапы — отсюда *Chenopodium* («гусиная лапка») — и обладают рыбным, похожим на аммиак запахом из-за необычного запаса триметиламина — отсюда *vulvaria* («похожая на вульву») из-за предположительно сходного запаха женских гениталий при бактериальном вагинозе (см. с. 108).

Далее в стороне от остальных на участке твердой сухой почвы растет удивительный **креозотовый куст**, обитатель обширных территорий пустыни Мохаве и сходных засушливых регионов в Южной Америке. Он так называется за похожее на каменноугольную смолу остатки горения, когда-то использовавшиеся для обработки деревянных железнодорожных шпал (больше о креозоте в главе 16). Его испанское название — *hediondilla*, от *heder* (вонять). Его стебли и листья покрыты блестящей, липкой смолой, которая защищает от потери воды и вреда от ультрафиолетовых лучей солнца и которая, когда ее омывает редкий дождь, насыщает пустынный воздух своим запахом. Смола креозотового куста испускает сборную солянку летучих молекул, которые и в самом деле включают некоторые из тех же самых молекул, что содержатся в каменноугольных смолах и асфальтах: терпеноиды (несколько); бензоиды, медицинский фенол и дымный гваякол; похожие на растворитель кетоны; метилакролеин, родственник едкого альдегида, характеризующего перегретое масло для жарки; сернистый диметилсульфид; множество содержащих хлор летучих молекул, прокислый хлороанисол, а также тетрахлорид углерода и хлороформ, два важных промышленных растворителя. Противная коллекция молекул! И очевидно,

очень эффективная. Неплотное кольцо креозотовых кустов к югу от Барстоу, Калифорния, шестидесяти футов в диаметре (около 18 метров) и впервые замеченное с воздуха, отмечает протяженности клональных колоний давно мертвого растения в их центре, останки которого были датированы возрастом в одиннадцать тысяч лет.

Разумеется, мне пришлось совершить паломничество на родину Кинг Клон. В июле 2014 года я очутился на одинокой дороге Бессемер-Майн-Роуд к востоку от долины Люцерн-Вэлли, взирая на одни только креозотовые кусты, разбросанные от горизонта до горизонта. Это было очевидное свидетельство того, что они сумели защититься от всех пришельцев. Мне их запах показался скорее «химическим», чем растительным, с резкой галогенной — хлорной/бромной — характеристикой чересчур дезинфицированного бассейна. В пустыне!

Чтобы изгнать этот запах и приготовиться к приятности лежащего впереди луга, нагнетись, чтобы понюхать другое калифорнийское дикое растение, обитающее на солнечных открытых местностях холмов Области Залива, годы дразнившее меня своим неуловимым запахом кленового сиропа. Когда я наконец-то опознал его, это оказался вид-собратье сорняка, известного в восточных Соединенных Штатах как **сушеница** или **кроличий табак**. У этих членов астрового семейства на поверхностях листьев есть железы, выделяющие липкую ароматическую смолу. Несколько видов, изученных на данный момент, испускают в основном терпеноиды; готов поспорить, что в нашем есть также немного фуранона сотолона (см. с. 415).

ЛУГОВЫЕ ТРАВЫ И КЛЕВЕРА, ЗЕЛЕННЫЕ И СЛАДКИЕ

Теперь попытайтесь придать нашему воображаемому ботаническому саду намек на это великое удовольствие природного мира: бродить в солнечный день по лугу, зеленому от бесчисленных стеблей травы, а также листьев

**Некоторые имеющие листья травы и представители разнотравья
(GLVs — летучие молекулы зеленой листвы)**

Растение	Составляющие запахи	Молекулы
травя (Festuca, Lolium, Poa и т.д.)	зеленый, травяной	GLVs
донник (Melilotus)	сладкий, свежее сено, ваниль	кумарин, GLVs
подмаренник (Galium)	сладкий, свежее сено, ваниль	кумарин, GLVs
душистый колосок обыкновенный (Anthoxanthum odoratum)	сладкий, свежее сено, ваниль	кумарин, бензойная кислота, GLVs
зубровка душистая (Anthoxanthum nitens, Hierochloa odorata)	сладкий, свежее сено, ваниль	кумарин, бензойная кислота, GLVs

и цветов их сорных спутников, или разнотравья. Влажный воздух и запах, который он несет, травяной, похожий на сено и сладкий, — часть этого опыта, который мы имитируем парковыми зонами, площадками для игры в гольф и газонами перед домами. По факту восхитительные запахи нагретого солнцем луга и недавно покосенного газона — продукты физического и химического урона, нанесенного растениям. Разумеется, есть лезвие косилки и обоюдоострый дар солнца: достаточно энергии, чтобы подпитать жизнь и рост, но также достаточно, чтобы повредить их хрупкие структуры.

Типичные **травы** дерна — принципиально важная зелень сделанного человеком ландшафта, идеальный ковер, потому что они горизонтально распространяются по земле, и их растущие кончики можно близко обрезать, не убивая их. Обилие травы — также принципиально важный зеленый запах, продукт летучих молекул зеленой листвы, высвобождаемых, когда травы срезаются или жуются, а также когда они увядают под сильным солнечным светом. В отличие от остальных листьев в таблице ниже, у трав дерна нет других значимых защитных летучих молекул, чтобы усилить летучие молекулы зеленой листвы. Возможно, это потому, что их привычка постоянно расти действительно позволяет им процветать, несмотря на то что их обгрызают

травоядные животные, поэтому нет никакой особой необходимости.

Различные виды **клевера** — частые спутники трав на лугах, сенокосных угодьях и газонах, и некоторые из них, в частности **донник**, ответственны за наличие бензольного кольца кумарина и его удивительно сладкого, похожего на ваниль запаха. Кумарин — химическое средство защиты, которое растения запасают в инертной форме и высвобождают, когда их ткани повреждаются раздавливанием или высыханием. Он часто описывается как похожий на сено, потому что, даже если донник — незначительный компонент смешанных фуражных культур для животных, он ароматизирует их, когда они сгребаются вместе и высушиваются в амбаре в качестве сена. Хотя он и приятный, запах кумарина в фураже сигнализирует о потенциальной опасности для животных; рост плесени во влажном сене превращает кумарин в крайне токсичный дикумарол, который может вызвать геморрагию и смерть (кумадин — основанный на кумарине антикоагулянт для людей).

Сладкий запах кумарина достаточно приятен, поэтому многие листовые растения культивируются, чтобы принести его в сады и в помещения. Так что на дальнем краю луга мы встречаем несколько отдельных насаждений. **Подмаренник**, запасующий кумарин, — представитель разнотравья, сейчас

распространенный по всей Европе и Азии, выращиваемый на газонах и в садах и высушиваемый, чтобы ароматизировать саше, помещения, парфюмы и напитки. Далее есть парочка обладающих похожим запахом растущих кучками трав: евроазиатский **душистый колосок обыкновенный** и распространенная в Северном полушарии **зубровка душистая**, используемая североамериканскими народами в плетении корзин и ритуальных обрядах, а в северной Европе — для ароматизации продуктов и напитков.

ЛЕТУЧИЕ ПРИЛИВЫ ЛЕСОВ И ЛУГОВ

В этой главе мы близко обнюхали некоторые из растений, преобладающих в некультивированных землях, обращая внимание на летучие химические виды оружия, применяемые ими против пожирателей растений: терпеноидные смеси в хвойных деревьях, терпеноиды и бензоиды в широколиственных деревьях, летучие молекулы зеленой листвы в травах и разнотравье. Все эти растения и их защитные летучие молекулы помогают вырабатывать воздушные приливы запаха, который Хелен Келлер, с раннего детства лишенная зрения и слуха, считала одними из величайших чувственных наслаждений. Ее «незримая сладость» — нечто вроде букета из всех растений в округе, их летучие молекулы смешаны и рассеяны в атмосфере до такой степени, что не выделяется ни один конкретный запах. Все вносят вклад в общее ощущение живого присутствия, активных продуктивных, компанейских существ, делающих воздух пригодным для дыхания, а планету — питательной. Прогулка по лесу — то, что в Японии недавно было названо шинрин-йоку — «купание в лесу» — погружает нас в это первозданное удовольствие.

Терпеноиды, бензоиды и GLVs определенно присутствуют в смеси запахов, но некоторые менее различные летучие молекулы тоже вносят свой вклад. Когда химики, изучающие атмосферу Земли, перевели вни-

мание с созданных человеком загрязнителей на первозданную окружающую среду, они обнаружили, что микробы и растения наполняют воздух летучими выбросами, превосходящими выбросы человеческой деятельности в коэффициенте десяти или больше. Несомненно, самый объемный из растительных выбросов — это изопрен, пятиуглеродная цепочка, родственная терпеноидным строительным элементам (см. с. 151). Изопрен не появляется ни в одной из таблиц выше, потому что он обладает лишь слабым резиновым запахом, обычно замаскированным другими растительными летучими молекулами. Он напоминает нам резину, потому что это строительный элемент для молочного растительного латекса, затвердевающего в природную резину. Но изопрен вырабатывается большинством зеленых растений, за исключением хвойных деревьев, в больших количествах деревьями как умеренного, так и тропического поясов. Его функция — разбираться не с конкретными пожирателями, а с перенапряжением от солнечного жара и высокоэнергетического ультрафиолетового излучения, а также с крайне химически активными побочными продуктами фотосинтеза, включая кислород, все из которых могут повредить химическим структурам растительных клеток. Изопрен — молекула, которая поглощает солнечную энергию, предупредительно реагирует на вредоносные молекулы и, когда высвобождается, охлаждает листья таким же образом, как испаряющийся пот охлаждает нашу кожу.

Очевидно, хвойные деревья добиваются такой же защиты при помощи их основных терпеноидных выбросов — пинена и лимонена. (Несколько сосен, среди них ладанная и желтая, также испускают значительные количества похожего на тархун бензоида эстрагола.) И как изопрен, так и терпеноиды обладают еще одним свойством, делающим их изначально невидимые приливы видимыми, в качестве дымки, дающей название всяким разным Голубым и Дымным горам в мире. Когда они вступают в реакцию с другими химическими веществами в атмосфере, их побочные

продукты образуют кластеры, некоторые из которых привлекают водные молекулы и образуют водяные капельки или ледяные кристаллы. Эти взвешенные частички, или аэрозоли, как поглощают, так и рассеивают свет — вот почему они видны в качестве дымки — и таким образом отражают часть солнечной энергии, не давая ей достичь листьев. Совсем как аэрозоли, образуемые диметилсульфидом над океанами (см. с. 305), эти изопреновые и терпеноидные аэрозоли вызывают образование облаков, снижают количество солнечной энергии, достигающей поверхности Земли, и таким образом оказывают значительный эффект на местный климат и, возможно, также на глобальный климат.

После изопрена самая изобилирующая растительная летучая молекула в воздухе — одноуглеродный спирт метанол, простейший из спиртов, пахнущий как его двух- и трехуглеродные родственники в водке и медицинском спирте. Метанол высвобождается из почти всех растений как побочный продукт укрепления их клеточных стенок. Несколько других углеродных цепочек стартового набора испускаются в качестве побочных продуктов других видов метаболической деятельности: среди них ацетальдегид, уксусная кислота, ацетон и этанол. Это типичные летучие молекулы в воздухе над лугами, пока они не начинают страдать от сильного солнечного света, высокой температуры, сильного ветра, града или пасущегося скота, когда они испускают обильные количества летучих молекул зеленой листвы. Скосите травы и позвольте отрезанным листьям высохнуть на солнце, и GLVs уступят место более характерным молекулам стартового набора вместе со сладким, теплым, похожим на сено фурфуролом, шестиуглеродной похожей на сахар молекулой, вырабатываемой расщеплением целлюлозы клеточных стенок (см. с. 280).

Все эти углеродные цепочки, различно защитные, снимающие перенапряжение и сопутствующие росту и метаболизму, вносят вклад в то, что мы воспринимаем как изобилие лесного и лугового воздуха. Физически эти молекулы невообразимо малы, и они разреженно распределены, но растения испускают их в таком количестве и на Земле так много растений, что они добавляются к столь же невообразимой массе: порядка миллиарда тонн каждый год, или эквивалент сотни кубов свинца размером с футбольное поле.

Какова же судьба этих бесчисленных парящих в воздухе углеродных цепочек и колец? Наиболее нестабильные среди них, изопрен, терпеноиды и GLVs, вступают в реакцию друг с другом и с загрязнителями, образуя новые молекулы, которые в конце концов падают на землю в дождевых каплях или снеге. Менее химически активные цепочки стартового набора, вероятно, в итоге будут полностью расщеплены и окислены до оксида углерода (IV), основной одноуглеродной молекулы, которую растения поглощают и используют для строительства своих сложных цепочек. Эти цепочки и кольца, в свою очередь, кормят наземных микробов и животных, включая нас.

Итак, когда мы осознаем наполненность открытого воздуха, мы замечаем частички вещества жизни, возвращающиеся из заполненных суши и вод Земли назад в суровую простоту ее верхних слоев атмосферы. Пока они проделывают этот путь, эти частички оставляют свою метку в атмосфере и в конце концов вновь погружаются в общий котел первичных материалов, из которых построена жизнь.

Медицинский термин для спокойного, умиротворяющего вдыхания и выдыхания — приливное дыхание (*tidal breathing*). Это вероятный и уместный результат ощущения и размышления о пахучих приливах зеленого мира.

ГЛАВА 10.

ЦВЕТЫ

Один только человек, так сказать, среди животных ощущает и получает удовольствие от запаха цветов и подобных объектов...

Запахи, приятные по своей сущности, например запахи цветов... производились для человеческих существ как гарантия здоровья... Запах, возникающий из того, что благоуханно, запах, приятный по своему собственному праву, является, так сказать, всегда благоприятным для людей в каком бы то ни было состоянии телесного здоровья.

Аристотель, «О чувственном восприятии», примерно 325 год до нашей эры

Като рекомендовал, что цветы для изготовления венков следует также культивировать в саду. Невозможно выразить их изящное разнообразие, поскольку ни один индивид не обладает такой силой для их описания, какой обладает Природа для их расцвечивания. В цветах Природа проявляет свое игривое настроение, свое наслаждение от щедрости изобилием своего творчества. Другие растения она произвела для нашего использования и нашей пищи, и их она сообразно наделила годами и более жизни: но цветам и их запахам она дает лишь день — могучий урок, чтобы научить нас тому, что самые прекрасные и привлекательные вещи в жизни — те, что самыми первыми чахнут и умирают.

Плиний, «Естественная история», примерно 75 год нашей эры

Маленькие, обладающие затейливыми формой, расцветкой и запахом, цветы находятся в числе самых утонченных творений Героя-Углерода. Кажется вполне правдоподобным, что эти хрупкие и не особо-то питательные растительные части, возможно, были первыми объектами, подтолкнувшими человеческое животное наслаждаться запахами ради них самих, а не как сигналами пищи, друга или врага. В какой-то момент наши предки сделали цветы регулярной частью своей жизни. С тех пор они были с нами, зачастую как примеры насыщенного, но быстрого существования, природные символы человеческой красоты, желания, любви и жизни.

Культурная история цветов длинная и разношерстная. Египетские настенные рельефы возрастом около четырех тысяч лет изображают женщин, подносящих цветки

водяной лилии к носу и собирающих наземные белые лилии и перемалывающих их для парфюма. Древние китайцы обращали особое внимание на несколько цветов, символизирующих разные времена года и качества: весной — цветение персикового дерева и высокий полукустарниковый пион; летом — лотос орехоносный, ассоциируемый с Буддой и просвещением, поскольку он поднимается из пахучих осадков, чтобы поднять прекрасный цветок до небес; осенью — скромная хризантема, ее запах скорее лесной, чем цветочный. В древних Греции и Риме, а также в Индии по сей день, венки цветов коронуют правителей и героев, невест и женихов, почти кого угодно и что угодно, кого или что чествуют. Персы и их арабские завоеватели, располагавшиеся между Европой и Азией, содержали сады наслаждений, благоухающие лилиями, розами,

жасмином и цветами апельсинового дерева. В течение многих веков в Европе и других регионах люди застилали пол обычными цветами и ароматическими душистыми травами, чтобы развеять застоявшуюся промозглость своих жилищ.

А сегодня? За несколько долларов мы можем купить некогда экзотических азиатских обитателей, «улучшенных» в Европе и выращенных в Южной Америке, в виде срезанных цветов в супермаркете. И они зачастую не имеют запаха. Наша любовь к цветам и наша способность плодить их по нашей воле сообщала лишила их как значения, так и запаха. Современная глобальная цветочная промышленность — продукт растущего богатства и городских рынков срезанных цветов, профессионализации садоводства и разведения растений, коммерческих цветочных магазинов и экспедиций по сбору растений. Ее бизнес руководствуется соревновательным разведением визуально поразительных новых разновидностей, которые могут долго стоять в вазе. Эта программа значила крутой упадок цветочных запахов, частично, потому что у летучих и пигментных молекул общие биохимические ресурсы, так что больше цвета значит меньше запаха, частично, потому что некоторые ароматические летучие молекулы — это также растительные гормоны, укорачивающие срок сохранения в вазе. И в сегодняшнем по большей части дезодорированном мире покупатели зачастую предпочитают непахнущие цветы за их ненавязчивость.

К счастью, это не конец истории. Разводчики недавно заинтересовались цветочными запахами, поэтому ароматические разновидности возвращаются на сцену, и любительские, и мелкокомасштабные садоводы поддерживали старые разновидности в живых. Исследователи запахов, заинтригованные цветами, могут с легкостью заново открыть их как невероятно усадительные дары почвы из-под ног и со всех концов земли.

ЗНАЧЕНИЕ ЦВЕТОВ И ИХ ЗАПАХОВ

Почему мы, люди, получаем такое удовольствие от растительных органов, которые в остальном по большей части бесполезны для нас? Хороший и древний вопрос! Аристотель просто утверждал, что приятность их запахов обозначает целебное воздействие на наши тела. Плиний обобщал наше наслаждение с Матерью-Природой и видел в цветах выражение ее игривого творчества, что предвосхищает данное философом Иммануилом Кантом определение свободной красоты как «целестремленности без цели». В этих ранних идеях есть долговечные крупинки истины. Запахи цветов, вероятно, не целебны сами по себе, но вызываемые ими ощущения удовольствия вполне могут быть таковыми. И, хотя в действительности в основе разнообразия оттенков, форм и запахов цветов лежит серьезная цель, это разнообразие — также проявление бесцельного исследования сложности Героем-Углеродом.

Как мы понимаем это сегодня, создание цветов Природой — вопрос жизни и смерти в долгосрочной перспективе, приспособления и вымирания. Разнообразие цветов демонстрирует ценность полового размножения для выживания, в ходе размножения два индивидуальных организма смешивают гены, определяющие их, чтобы создать потомство, отличающееся от них обоих, — так, чтобы спустя время их потомки могли опробовать новые черты и лучше приспособиться к окружающим обстоятельствам. Цветы — органы полового размножения, развившиеся у не имевших цветов предков и оказавшиеся эффективными и многофункциональными структурами для перемещения генов между существами, неспособными перемещаться самостоятельно. Цветы — приспособления, ценность которых для выживания их растений — ускорить процесс приспособления.

Некоторые цветы полагаются на ветер и случай, чтобы перенести пыльцевые зерна к потенциальным половым партнерам, и боль-

шая часть пыльцы расходуется напрасно. Цветы, полагающиеся на сенсорные системы и подвижность животных, могут нацелить свою пыльцу более надежно и эффективно. Чтобы рекрутировать животное, цветы должны заставить животных заметить себя, привлечь их к себе, не дать им просто съесть себя, заставить их подобрать несколько пыльцевых зерен, затем подтолкнуть их улечь и посетить другие цветы того же вида и уронить несколько пыльцевых зерен рядом с завязями этих цветов. Ну и набор спецификаций! И именно поэтому цветы — такие сложные структуры со множеством возможных комбинаций размера и формы, цвета и узора, текстуры поверхности, нектара и других пищевых наград, времени раскрытия и закрытия, выбросов летучих молекул, как привлекающих, так и защитных.

Большинство опылителей — насекомые, и ни одно дикое растение не зависит от нас, чтобы перемещать свою пыльцу. Так что мы наслаждаемся формами, узорами и запахами цветов как незаинтересованные наблюдатели, свободные ощущать качество цветков исключительно как черты природного мира и приписывать им какие угодно ассоциации и значение, как нам заблагорассудится. Формы, цвета, узоры и запахи могут привлечь наши внимание и интерес просто потому, что это необычно богатые сенсорные данные, поступающие в наш мозг, чтобы их интерпретировать. Часть удовольствия, возможно, возникает из того, что биолог Э.О. Уилсон назвал биофилией, врожденным ощущением связи с живым миром; такие затейливые конструкции — проявления жизненной силы, «силы, что через зеленый фитиль ведет цветок» поэта Дилана Томаса. Какой бы фактор ни был наиболее ответственным, наше удовольствие от цветов привело к более заинтересованному и вовлеченному взаимоотношению с некоторыми из них, не просто в роли их культиваторов, а в роли элитаторов их скрытого потенциала быть самими собой, но по-другому.

Растения — живые системы с потрясающими внутренними ресурсами для приспособ-

ления самих себя к трудностям выживания, но большая часть этих ресурсов остается неиспользованной в любом заданном поколении или растении. То, чем разводчики занимались с самого возникновения сельского хозяйства, сперва выбирая, какие семена сеять, позже контролируя опыление, сегодня напрямую изменяя растительные ДНК, — это раскрывать потенциальные качества в растениях, которые оставались невыраженными: более крупные семена, более сладкие плоды, более быстрый рост. Разводчики цветов делали это чисто ради эстетических качеств и развили несметные тысячи разновидностей с формами, цветами и запахами, мало похожими на первоначальные дикие растения. Как безумное разнообразие пород собак, возникших от одного-единственного волкоподобного прародителя, бесчисленное многообразие съедобных и декоративных растений, включая многие современные непахнущие чудеса, свидетельствует о податливости живых аватаров Героя-Углерода.

У притягательности цветов много граней. Они предполагают удовольствие, здоровье и игривое творчество, красоту, любовь и общую хрупкость. Современная биология позволяет нам оценить их как превосходные символы взаимоотношений, как ключевые пункты запутанной сети ресурсов, услуг и общения, посредством которого живые царства Земли ухитряются сосуществовать и процветать.

И цветы приятно пахнут! Как бы то ни было, большинство из них. Исключения наглядны.

НЕ ТАКИЕ ЦВЕТОЧНЫЕ: ТРУП И КАПУСТА, ЖУКИ И МУХИ

Если вы задумаетесь о цветах и опылителях, вероятно, на ум приходят бабочки и пчелы, порхающие и жужжащие среди роз и лилий. Что ж, подумайте о, вероятно, самом прославленном цветке 2016 года, года, в котором я пишу эту главу. **Аморфофаллус титанический** — член растительного семейства

Некоторые запахи, испускаемые цветами, привлекающими жуков и мух

Запахи	Молекулы
ноги, сыр	метилпропионовая, метилмасляная кислоты
рыбный, мочево́й	триметиламин
скотный двор	крезол
фекальный	индол, скатол
гниющая животна́я плотть	диметил ди-, три-, тетра-сульфиды

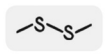
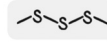
Агасеае (ароидные), включающего знакомые белокрыльник и комнатные декоративные растения, филодендроны и диффенбахии. Он родом из индонезийских джунглей и был впервые привезен в западный ботанический сад в конце девятнадцатого века. В течение годов это растение растет относительно незаметно. Когда оно созревает, оно развивает титаническую структуру для цветка высотой в человеческий рост.

В 2016 году так случилось, что почти дюжина аморфофаллусов титанических расцвела в ботанических садах по всем Соединенным Штатам, привлекая тысячи людей стоять в очереди ради возможности увидеть их — и прежде всего понюхать их и упиваться всеобщим отвращением. Другое название для аморфофаллуса титанического — **трупный цветок**, и он испускает то, что может быть невыносимым смрадом гниющей плоти. Каких же животных партнеров он приманивает? Жуков и мух, ползающих, жужжащих, нечистых. На планете есть где-то почти что полмиллиона различных видов этих насекомых, куда больше, чем бабочек и пчел. Это было бы ботанической преступной небрежностью, если бы ни одно растение не рекрутировало их на опылительную службу!

Жуки — одни из старейших сохранившихся животных родственных линий и, вероятно, одни из самых ранних цветочных опылителей, начавших эту деятельность более ста миллионов лет назад, когда их диета состояла в основном из разлагающейся растительной материи, задолго до того, как на сцену вылетели первые медоносные пчелы и бабочки. Вероятно, растения сперва привлекали их просты-

ми летучими молекулами стартового набора, имитировавшими затхлый, кислый компост, вместе с терпеноидами и бензоидами, которые эти ранние животные уже развивали для привлечения, отпугивания и общения друг с другом. Позже, когда эволюционировали крупные мясистые рептилии и млекопитающие, их помет и трупы стали новыми источниками питательных веществ для насекомых. Сегодня некоторые жуки специализируются на животном помете, включая египетского скарабея, и некоторые придиричивые мухи откладывают яйца в помет травоядного скота, но не всеядных свиней или хищников. Мертвоеды и падальные мухи кормятся и откладывают яйца в животных трупах.

Все эти насекомые находят останки животных, засекая их обличительные летучие молекулы, и известно, что сотни современных растительных видов из ряда семейств строят и испускают те же самые летучие молекулы из своих цветков, чтобы привлечь жуков и мух на опылительную службу. Биологи обнаружили, что в этих растительных выбросах преобладают различные сульфиды, кольцевая молекула крезол и содержащие азот кольца индол и скатол — все, из которых микробы стандартно вырабатывают, когда они расщепляют животную плотть и ее богатые залежи белков.

 **Диметилдисульфид** и крезол, похоже, являются цветочными ключами к имитированию помета травоядных лошадей и скота, в то время как добавление индола или скатола предполагает помет плотоядных и всеядных животных (кошек, собак, свиней), а  **диметилтрисульфид** зарисовывает смрад падали.

Некоторые зловонные цветы из семейства ароидных

Ароидный вид	Запахи	Молекулы
аморфофаллус титанический, трупный цветок (Amorphophallus titanum)	гниющая плоть и рыба, мочево́й	диметилдисульфид и -трисульфид, триметиламин, метилмасляная кислота
арум (лилия) мертвой лошади (Heliconia)	гниющая плоть	диметилсульфид, -дисульфид и -трисульфид
связноплодник вонючий (Symplocarpus foetidus)	капуста, серный, скунс	диметилдисульфид
дьявольский язык, аморфофаллус коньяк (Amorphophallus konjac)	гниющая плоть	диметил ди- и три-сульфиды

Некоторые распространенные деревья и кустарники со зловонными цветами

Растение	Запахи	Молекулы
груша Каллери, Бредфорда (Pyrus calleryana)	сперма	пирролин (вероятно)
барбарис (Berberis)	«тошнотворный», сперма	пирролин, ацетилпирролин
боярышник (Crataegus)	рыбный	триметиламин

У аморфофаллуса титанического есть куча неприятных компаньонов среди ароидных, включая средиземноморский **арум (лилию) мертвой лошади**, который на самом деле имитирует гниющих морских чаек, менее экзотический североамериканский **связноплодник вонючий**, а также **дьявольский язык**, или **аморфофаллус коньяк**, из которого, как я обнаружил, получается неприхотливое и забавно странное комнатное растение. Есть другие растущие в умеренном климате цветы, зловоние которых смягчается цветочными нотками. **Груша Каллери** или **Бредфорда**, повсеместно высаживаемое уличное дерево родом из Китая, приносит обильные весенние цветы, печально известные запахом спермы, вероятно из-за содержащего азот пирролина, зарегистрированного в цветах с похожим запахом. Различные виды **барбариса**, *Berberis*, имеют общие пирролин и родственные летучие молекулы, так что даже любитель растений Генри Дэвид Торо описал один вид как обладающий «тошнотворным масляным запахом, словно бы недоделанный пуддинг в вляре, сплошь яйца, но ни грамма

специй». И многие цветы **боярышника** имеют рыбный оттенок из-за триметиламина. Зачем начинать наше исследование цветов с этих нежеланных видов? Потому что они намекают на то, как, возможно, пахли самые первые цветы, они показывают, что современные цветы могут использовать очень нецветочные летучие молекулы, и они демонстрируют, что цветочные летучие молекулы могут быть привлекательными для одних животных и отвратительными для других. По факту это, похоже, скорее правило, чем исключение. Даже те самые летучие молекулы, из-за которых запах цветов кажется нам сладким, отгоняют некоторых насекомых.

СМЕШАННЫЕ СИГНАЛЫ

В то время как цветущие растения и насекомые эволюционировали бок о бок в течение десятков миллионов лет, цветочные структуры становились более сложными, и тела и поведение насекомых менялись, чтобы воспользоваться ими. Например, цветы разработали сахарный нектар в качестве пищевой награды,

и некоторые прятали его во все более глубоким тайнике, чтобы его могли достать только определенные партнеры с длинными языками и порой только паря в воздухе. Первыми такими пьющими через соломинку, похоже, были бабочкообразные предки современных златоглазок, а мотыльки и сами бабочки (а также колибри) появились гораздо позже.

Цветы также расширили свой вокабулярный летучих молекул. Вместо того чтобы просто имитировать запахи разлагающегося органического материала, они разработали свой собственный характерный запах — общий запах цветов, цветочность, чтобы рекламировать свои специальные предложения, главные из которых — нектар и излишки пыльцы. Чтобы сделать это, они использовали многие из тех же самых летучих молекул с терпеноидных и бензоидных путей, на которые, как мы видели, деревья и другие растения полагаются в качестве химического средства защиты, чтобы отпугивать насекомых, а не привлекать их. Так как же цветам удастся превратить их в аттрактанты? Возможно, испуская их, как они делают, в следовых количествах и разбавленными в сложных коктейлях десятка или больше.

Две летучие молекулы появляются в таком большом количестве цветов и таком малом количестве других растительных органов, что нам их запах кажется характерно «цветочным»: терпеноидный спирт линалоол и бензоидный спирт фенилэтанол. Парфюмеры называют такие молекулы компонентами с цветочным запахом. Фенилэтанол обычно напоминает, в частности, розы, потому что он так ярко выражен в них. Из других терпеноидов цитрусовый лимонен, зелено-древесные оцимен и мирцен, а также пинен обнаружены примерно в 70% изученных цветов. Из других бензоидов это пахнущий экстрактом миндаля бензальдегид и пахнущий грушанкой метилсалицилат — обнаружены в более чем половине. Они и сотни других менее типичных летучих молекул модулируют универсальную цветочность и придают разным цветам их характерные запахи, помогающие опылителям

распознавать и посещать членов одного и того же вида.

Привлечение опылителей — важная роль для цветочных летучих молекул, но есть и другие. Цветок — сложная, зачастую хрупкая структура, с разнообразием мягких тканей, богатых влагой, сахарами и другими питательными веществами. Что остановит насекомое от того, чтобы засечь его запах, найти его и изжевать его на кусочки? Или зависнуть и выпить весь нектар или захватить всю пыльцу, так что следующий гость не получит награды и вряд ли навестит другой подобный цветок? Что не дает бактериям, плесени или дрожжам окислить или испортить нектар или заразить открытые половые органы?

Разумеется, летучие молекулы! Возьмем два видных компонента с цветочным запахом — линалоол и фенилэтанол. Оба, как было обнаружено, привлекают пчел, мотыльков, бабочек и жуков. Но фенилэтанол отпугивает муравьев. Линалоол отпугивает сверчков, и, как и многие терпеноиды, он подавляет рост микробов.

Итак, индивидуальные цветочные летучие молекулы могут одновременно быть сигналами приветствия для некоторых животных и предупреждениями для других. Они могут быть профилактическими антибиотиками. Некоторые привлекают ос и других хищных насекомых, которые нападают на тех насекомых, которые нападают на растение. Есть также свидетельство того, что летучие молекулы не дают опылителям загоститься и таким образом делают их визиты более частыми, возможно, напрямую воздействуя на рефлекс кормления насекомого, возможно, отвлекая, опьяняя или вызывая оцепенение или же просто делая качество воздуха внутри цветка едва терпимым. Это то, что приходит мне в голову, когда я воображаю себя размером с пчелу, летящим к азиатской лилии или цветку жасмина и приземляющимся на испускающие летучие молекулы лепестки, запах которых чувствуется на расстоянии ярдов! Это потому, что мы буквально выше всего этого, куда крупнее насекомого или цветка и все время разбавля-

ем летучие молекулы, когда мы вдыхаем, вот поэтому мы можем получать такое чистое удовольствие от цветов.

Ясное дело, что за запахами цветов стоит гораздо больше, чем чувствует наш нос, и это дает изобилующие темы для будущих исследований ботаников, энтомологов и эволюционных экологов. Для неспециалиста-исследователя запахов достаточно интригующе просто узнать, что цветочные запахи — сложные химические смеси, что их индивидуальные компоненты играют несколько разных ролей и что мы все еще очень мало понимаем то, почему конкретные цветы развили свои характерные запахи.

Несколько десятилетий назад биологи выделили несколько «синдромов» опыления, ассоциирующих конкретные цветочные характеристики с опылителями, которых они привлекают. Сейчас экспертный консенсус, похоже, заключается в том, что везде царит беспорядочность: большинство цветков посещается разнообразием насекомых, и заданная группа насекомых может опылять разнообразие различных цветов, обладающих различными запахами. Жуки и мухи — большие группы и не ограничены любителями помета и падали в частности; некоторые из их членов — основные опылители божественно благоухающих египетских водяных лилий. И есть тысячи разных видов пчел.

Тем не менее даже обобщения с многочисленными исключениями могут помочь открыть нам глаза и ноздри на то, что происходит в цветочном саду. Вот несколько:

► Самые типичные опыляющие насекомые: жуки, самые древние; мухи, вполне возможно, опыляющие куда больше цветов, чем принято считать; пчелы и бабочки, знакомые дневные трудяги; и мотыльки, в основном являющиеся сумеречниками (ненадолго появляющимися в сумерках ранним вечером) и ночными животными.

► Пахнущие цветы, привлекающие широкий ряд опылителей, обычно вырабатывают смесь летучих молекул с простой цепью, терпеноидов и бензоидов, в результате охватывая

все детали, хотя одна категория обычно несколько преобладает над другими двумя.

► У медоносных пчел, похоже, широкий вкус. Они демонстрируют некоторое предпочтение к терпеноидам, но их также привлекают пряные и фруктовые арены и сложные смеси в розах.

► Цветы, привлекающие бабочек, обычно ярко окрашены и обладают слабым, свежим, сладким запахом, берущимся в основном от пары цветочно-медовых бензоидов, фенилэтанола и фенилацетальдегида, и стандартного цветочного терпеноида линалоола вместе со свежее-древесным оцименом.

► Цветы, привлекающие мотыльков, образуют характерную группу и включают многие из цветов, которые мы считаем экзотическими и опьяняющими: жасмин, гардению и иже с ними. Мотыльки обычно активны в сумерках и по ночам, когда запахи, вероятно, являются более важными сигналами, чем цвета и формы. Опыляемые мотыльками цветы часто белые, возможно, чтобы максимально увеличить ту видимость, которой они могут обладать, и не тратить ресурсы на пигменты. Они часто сильно пахнут, возможно, чтобы сделать свои следы запахов как можно более широко распространяющимися и долгоиграющими. Так называемые белые цветочные ароматы этих вечерних и ночных цветений часто дополняют характерно цветочную смесь, обнаруженную в цветах, привлекающих бабочек, усиливающими бензоидными ингредиентами: фруктовыми бензойными эфирами и метилантранилатом, пахнущим экстрактом миндаля бензальдегидом и пахнущим грушанкой метилсалицилатом.

«ГРЯЗНЫЕ» НОТКИ В БЕЛЫХ ЦВЕТАХ: ДВУСМЫСЛЕННЫЙ ИНДОЛ

Есть несколько странных и интригующих летучих молекул, порой появляющихся в цветочных коктейлях, в особенности в этих экзотических белых цветах. Мы впервые повстречали их в зловонном царстве животных.

Крезол, углеродное кольцо, образованное от аминокислоты, напоминает конские конюшни. Индол и скатол — содержащие азот кольца, ярко выраженные в животных фекалиях, поэтому их запахи часто описываются как фекальные, даже «интенсивно». Однако же некоторые профессиональные носы также описывают индол куда более нейтрально, как пахнущий нафталиновыми шариками, то есть прокисло, резко и даже немножко химически. Когда я понюхал скляночки почти чистого индола, он показался мне куда более похожим на нафталиновые шарики, чем на что-либо еще. Украсьте углеродно-азотное кольцо индола всего лишь еще одним углеродом, чтобы создать его близкого родственника скатол, и запах действительно становится довольно-таки фекальным (см. с. 69).

Ничего удивительного, что крезол, индол и скатол — стандартные компоненты в цветах, имитирующих животные останки, чтобы привлечь жуков и мух, включая типичную комнатную муху, *Musca domestica*. Индол также содержится в съедобных кабачковых цветах, где, как обнаружили биологи, он специфически привлекает опыляющих листоедов. Но эти животные летучие молекулы, в особенности индол, также появляются в цветочных запахах, которые описывают как экзотические, сексуальные, порой на грани неприятных, среди них — жасмин, нарцисс, тубероза, цветов апельсинового дерева, глициния и гиацинт. Индол часто вычленяется парфюмерами как ответственный за возбуждающие, животные, «грязные» грани этих запахов, характеристику, которая делает их такими соблазнительными, но также может зайти слишком далеко. (Я думаю, что крезол тоже вероятный виновник, см. статью о декоративном жасмине на с. 197.)

Что же индол делает в цветах, которые, откровенно говоря, не закидывают удочку жукам и мухам? Жасмин — основной пример: его летучие молекулы могут аж на 10% состоять из индола. Исходя из того немногого, что мы знаем об опылении дикого жасмина, зависящем в основном от диких пчел и мух, он,

вполне возможно, служит страховкой, чтобы привлечь мух как вспомогательных опылителей в течение дня. (Выбросы летучих молекул жасмина непостоянны; они богаче линалолом днем, бензоидами — ночью.) Индол, возможно, также привлекает некоторых бабочек и мотыльков или помогает им опознавать и постоянно посещать цветы, испускающие его. У него, возможно, есть и другие роли, кроме опыления. В то время как в микробах это зачастую побочный продукт расщепления белков (как и в кишках хищников), в растениях индол строится умышленно, отчасти чтобы служить предшественником важного гормона роста. Растения высвобождают индол, когда они повреждены, и он сигнализирует соседним частям того же растения и соседним растениям, чтобы они запустили свои различные химические средства защиты. Он также, похоже, сам является химическим оружием, ограничивающим рост грибов.

Что бы индол ни делал для цветов и опылителей, что же он делает для нас, для незаинтересованных животных, воспринимающих испускающие индол цветы как необычные и опьяняющие? Даже если сам его запах на деле не кажется откровенно фекальным, прокислая нотка индола совсем не к месту в стандартном букете цветочных летучих молекул и может просто намекать на полный животный контекст, в котором она обычно находится. Она представляет ассоциации с иным живым царством и может даже подсознательно насторожить нас так, как это делают другие откровенно животные запахи.

По факту нейробиологи из Оксфордского университета предъявили свидетельства того, что именно это и происходит. Они попросили волонтеров понюхать две версии искусственного воссоздания летучих молекул жасмина, одна из которых включала индол, а другая — нет, в процессе просканировали их мозговую активность и попросили их дать оценку приятности двух жасминовых ароматов, а также индолу отдельно. Подопытные оценили индол отдельно как неприятный, но жасминовый аромат с индолом, либо как столь же прият-

ный, как и аромат без индола, либо даже как более приятный. Когда исследователи просканировали мозг подопытных в процессе нюхания, они обнаружили более сильную и более длительную активацию, когда аромат включал индол. Эти результаты позволили им предположить, что неприятный элемент в сложной пахучей смеси способствует «привлечению внимания» — заставляет мозг посвящать больше ресурсов обработке ощущения, — и это усиливает и удлинняет общее ощущение. Что же делает индол достойным этого особого внимания, пусть даже и подсознательного? Возможно, тот факт, что он обычно сигнализирует о животных и разложении, двух потенциальных угроз.

Оксфордские исследователи предполагают, что подобный эффект может возникать с другими летучими молекулами, неприятными отдельно, но усиливающими сложные смеси. Это многообещающая теория касательно кошачье-мочевых и потных серных молекул во фруктах и винах (см. с. 247–248) и ценных животных ингредиентов в традиционных парфюмах (см. с. 370).

НА ПОДХОДЕ К ЦВЕТОЧНОМУ САДУ

Теперь, когда мы имеем представление об общей природе цветов и некоторых из их летучих мотивов, пришла пора обнюхать некоторые из самых любимых цветов в мире. Вместо того чтобы организовать их строго по ботаническому семейству, географии или характеристике запаха, я сгруппировал шестьдесят с хвостиком образцов в дюжину насаждений, которые, я надеюсь, передадут что-то об их истории и широких предпочтениях, ботанических и летучих. Мы начнем с образцов древнего вдохновения, цветов Египта и Китая; перейдем к распространенным цветам для застилания пола, венков и садов Европы; затем — к совершенно отличным цветам из Азии, от восточного края Средиземного моря до Тихого океана; и, наконец, к цветам из Нового Света, особенно из Южной Америки.

Если только вы не заядлый садовод, вы, вероятно, почти не встречались с родительскими растениями, и большая часть самих цветов может быть незнакома. Так что этот отдел нашего виртуального ботанического сада сложнее вообразить, чем деревья и луга. Если хотите, сопровождайте чтение просмотром картинок в интернете; но еще лучше, отправьтесь в настоящий поход или два.

Прежде чем мы начнем, несколько слов, чтобы пояснить запахи и летучие молекулы, которые я приписываю каждому цветку. Я хочу, чтобы следующие несколько страниц вдохновили вас отправиться в сад, цветочный магазин или теплицу и понюхать цветы, знакомые и незнакомые. Когда вы действительно сунете нос в настоящий цветок, вероятно, порой то, что вы учуете, не совпадет с тем, что я описываю. Когда это произойдет, доверяйте своему собственному носу и позвольте разночтению обострить ваше восприятие настоящего запаха. Поймите, что для этого разночтения есть несколько возможных причин. Одно из наиболее вероятных — это то, что вы нюхаете нетипичную разновидность того же самого цветка: разводчики растений постоянно разрабатывают новые версии старых любимцев, и они могут пахнуть совсем по-другому. Цветочные летучие молекулы могут также варьироваться в зависимости от того, как их вырастили и обращались с ними, их возраста, даже времени суток. Вдобавок растительные названия запутанные и запутывающие: много очень разных цветов называются лилиями и хризантемами.

Также верно то, что любой заданный цветок испускает порядка десятков летучих молекул, их непросто опознать, и научные отчеты о заданном цветке обычно отличаются друг от друга, порой по-крупному. Поэтому описания, которые я привожу ниже, — это в куда большей степени наброски, а не полные портреты. Я попытался найти какой-то консенсус для наиболее ярко выраженных или изобилующих летучих молекул в каждом, такой, который совпадает с моим собственным опытом.

По мере возможности я полагался на отчеты о летучих молекулах, испускаемых живыми цветами. Когда такие отчеты недоступны, я использую анализ цветочных экстрактов, которые зачастую отличаются от своего источника, поскольку процесс экстракции изменяет некоторые летучие молекулы. Экстракты представляют свой собственный интерес и являются важными ингредиентами в парфюмах, как мы увидим в главе 17.

ЦВЕТЫ ДРЕВНИХ

Мы начнем с цветов, запахи которых привлекали внимание ранних цивилизаций. Два из наиболее примечательных ценились в Египте тысячи лет назад. В нашем саду они плавают в воде мутного пруда, а не растут в почве, и представляют древнюю родственную линию, предшествующую родственным линиям большинства других цветущих растений. У этих двух видов **водяных лилий (кувшинок)** есть несколько десятков видов-собратьев со всего света, все из них пускают корни в мелководные осадки, держа свои порой очень большие зеленые листья на поверхности воды и поддерживая потрясающие цветы со множеством лепестков. Из двух египетских любимчиков **голубая кувшинка** открывается утром и закрывается вечером, в то время как **белая кувшинка** открывается вечером и закрывается утром. (Обе на самом деле бывают различных окрасок.) Ночные цветы типич-

но привлекают мотыльков более сложными коктейлями летучих молекул, но оба цветка привлекают в основном жуков, и именно цветущая днем голубая кувшинка обладает более богатым ароматом. Она была включена в погребальную камеру царя Тутанхамона.

На земле рядом с прудом растет другой цветок, более распространенно ценимый в Древнем Египте и средиземноморских регионах. **Белая лилия**, также называемая в английском **лилией Мадонны**, не состоит ни в каком родстве с водяными лилиями и совсем на них не похожа, но она поддерживается на длинном, покрытом листьями стебле, и у нее шесть завитых лепестков. Она обладает более характерно цветочным запахом с двумя основными цветочными летучими молекулами плюс медовая нотка фенилацетальдегида. Эта лилия — тезка того, что ботаники определяют как лилейное семейство, включающее сотню с хвостиком других «истинных» видов лилии, вместе с тюльпанами. Ну и кавардак!

Позади белых лилий — участок маленьких, низкорослых растений с кольцами толстых листьев и центральными цветами, раскрашенными белым, фиолетовым и золотым. Примерно в то же время, когда египтяне наслаждались водяными лилиями, минойская цивилизация острова Крит зарисовала женщин, собирающих эти **крокусы**, несомненно, чтобы высушить их рыльца для создания приправы с мощным ароматом и красивого вещества шафрана. Запах высушенного **шафра-**

Некоторые цветы древних средиземноморских регионов

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
голубая кувшинка (Nymphaea caerulea)	цветочный, фруктовый, анис, фиалка	бензиловые спирт и ацетат, анисовые альдегид и спирт, коричные спирт и ацетат, ионон
белая кувшинка (Nymphaea lotus)	свежий, зеленый, растворитель, восковой	диметокситолуен, метилметоксиметилабутират и -валерат, цембрен
белая лилия (Lilium candidum)	цветочный, мед, цитрус	фенилэтанол, фенилацетальдегид, линалоол
шафран посевной (Crocus sativus)	цветочный, фиалка, фруктовый	линалоол, ионон, оксоизофорон, ацетофенон

Некоторые цветы Древнего Китая

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
лотос (Nelumbo nucifera)	свежий, медицинский, древесный, цветочный	диметоксибензол, сабинен, эвкалиптол, жасмон, терпинеол
цветок персикового дерева (Prunus persica)	миндаль, цветочный, смолистый, роза, цитрус	бензальдегид, бензиловый спирт, геранилацетон, ацетофенон, метилгептенон, нонаналь
орхидея (Cymbidium goeringii)	цветочный, жасмин, лимон	жасмоноиды, неролидол, фарнезол
пион древовидный (Paeonia suffruticosa)	роза (также древесные, медицинские разновидности)	цитронеллол, фенилэтанол (оцимен, триметоксибензол)
хризантема (Chrysanthemum indicum)	камфора, свежий, сосна, древесный	камфора, пинен, борнилацетат, кариофиллен

на возникает из-за терпеноидного фрагмента **сафраналя**, но свежий цветок приятен совершенно по-другому, с фиалковыми оттенками от другого терпеноидного фрагмента и фруктовой ноткой от бензоида ацетофенона.

Последнее насаждение цветов, ценимых тысячи лет назад, родом из Китая, широкая география которого охватывает более разнообразный набор экологических ниш, чем средиземноморские регионы. Его ранние правители чествовали несколько очень разных цветов. Сперва еще один неглубокий пруд, дом **лотоса**, растения, почитаемого в большей части Азии, с относительно мягким, свежим запахом, не особенно богатым. Внешне похоже на неродственные водяные лилии, лотосы — несоответственно красивые обитатели стоячих вод, ассоциируемые с Буддой и просветлением. В мелких белых весенних цветках **персикового дерева** преобладают бензоиды, миндальные, фруктовые и цветочные. Конфуций приводил в качестве примера неприметную **орхидею цимбидиум**, в наши дни знакомое комнатное растение; точно так же, как ее запах заполняет помещение и ненавязчиво доставляет удовольствие, при этом оставаясь незамеченным, так и добродетель хорошего человека заполняет сборище, пока каждый не пропитается ею. Большие цветки на древесной ножке кустарниковых **пионов древовид-**

ных могут иметь несколько различных запахов, но те, что из давно прославленного ими региона, провинции Хэнань, расположенной на центральном плато, зачастую пахнут как розы. А далее — цветущая осенью **хризантема** из знакомой группы декоративных садовых растений, традиционно ассоциируемых с уединенной жизнью в тихой сельской местности, запах которой больше напоминает древесную смолу, чем цветы, с камфорой и другими терпеноидами, типичными для хвойных деревьев.

ЦВЕТЫ ЕВРОПЫ

Следующий участок сада поделен на пять разных клумб, последняя чуть в тени от маленькой открытой рощи деревьев. Это представители Европы, сперва дикие цветы и сорняки, затем в основном местные садовые цветы, затем ползучие вьющиеся растения и примечательная цветочная клумба и дерево. Многие из этих растений распространены во всем Северном полушарии, не только в Европе.

Первая клумба засажена дикими цветами. Они в основном маленькие, растут в количествах, достаточно больших, чтобы придать аромат полям и лесам, их можно сорвать, и они были бы среди кандидатов для застилания пола, чтобы освежить помещение, в

Некоторые распространенные европейские дикie цветы

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
лабазник (<i>Filipendula</i>)	фруктовый, сладкий, похожий на ваниль	метилбензоат, бензальдегид, гексенилацетат, анисовый альдегид
фиалка (<i>Viola</i> ; Северное полушарие)	фиалковый, насыщенно цветочный, древесный	ионы
ландыш (<i>Convallaria</i>)	свежий, цветочный, водянистый	бензиловый и коричный спирты, гераниол, фарнезол, фенилацетонитрил
одуванчик (<i>Taraxacum officinale</i>)	легкий, свежий, водянистый	фенилэтанол, бензальдегид, неролидол, гексенол, фенилацетонитрил
клевер (<i>Trifolium</i> ; <i>Melilotus</i>)	мед, фруктовый; сено	фенилэтанол, ацетофенон, метилциннамат; кумарин
лобулярия (<i>Lobularia</i>)	мед	ацетофенон

Средневековье и в эпоху Ренессанса. **Лабазник**, как утверждается, был любимым цветком для убранства пола королевы Елизаветы. **Фиалки** — более скромные, растущие близко к земле в тенистых лесах, маленькие, поразительно фиолетовые цветочки, обычно открывающиеся под листьями, поддерживающими их. Фиалки обладают знаковым насыщенным и опьяняющим запахом, созданным в основном терпеноидным фрагментом иононом; утверждается, что придворные носили и нюхали их, чтобы прикрыть более неприятные запахи городской жизни.

Ландыш тоже лесной обитатель, но, несмотря на свое английское название *lily of the valley*, не является истинной лилией; его легкий, свежий, «водянистый» аромат возникает из-за необычного кластера спиртов. **Одуванчики** и **клевера** — типичные пригородные сорняки в наши дни, с древесными и фруктовыми дополнениями к стандартным цветочным летучим молекулам. **Лобулярия** — приспособляющееся низкорослое растение, производящее обильные грозди маленьких белых цветочков и ставшее излюбленным вариантом для высаживания в саду и напочвенного покрова. Это один из самых приятно пахнущих членов семейства капустных, со сладким, похожим на мед ароматом.

Как и в случае цветков клевера с подобным запахом, его основная летучая молекула — ацетофенон.

На следующей клумбе — три группы растений, носящих семейное сходство, все с похожими на полоски продолговатыми листьями, растущими от земли, и поддерживающими стеблями с насыщенно благоухающими цветами. Они вырастают из луковиц и впервые стали популярны где-то в 1600 году. Мы уже повстречали подлинную **белую лилию**, известную древним и характерно цветочную. Другие — это различные виды рода *Narcissus*, включая цветы, общеупотребимо называемые нарциссами, а также тацетты, жонкилы и **нарциссы ложные** — еще один набор сбивающих с толку названий! Нарциссы ложные обычно имеют запах цветочного магазина, свежий и медицинский, в то время как жонкилы и тацетты — одни из самых насыщенно цветочных цветов в мире, с обычными терпеноидами и бензоидами, подкрепленными фруктовыми эфирами и прокислым индолом.

Третья клумба в европейском саду сводит вместе несколько членов очень большого астрового семейства. То, что кажется одиноким цветком маргаритки, — это на самом деле масса крошечных цветочков, окруженных более крупными, похожими на лепестки

Европейские лилия, нарцисс, ложный нарцисс

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
белая лилия (<i>Lilium candidum</i>)	цветочный, мед, роза	фенилэтанол и фенилацетальдегид, линалоол
нарцисс, жонкиль, тацетт (<i>Narcissus jonquilla</i> , <i>tazetta</i> ; Юго-Западная Европа, Северная Африка)	цветочно-фруктовый, зеленый, древесный, жасмин, животный	нарцисс, жонкиль: метилбензоат, оцимен, линалоол, индол, гексенол тацетт: оцимен, бензилацетат, линалоол, цинеол, индол
нарцисс ложный (<i>Narcissus pseudonarcissus</i>)	зеленый, свежий, древесный	оцимен, диметоксibenзол и диметокситолуол, фарнезен

цветами. Европейских любимцев объединяют желтый и оранжевый цвета и не особо-то цветочный запах с малым количеством или отсутствием обычных компонентов с цветочным запахом. **Маргаритка** — самая цветочная среди них, в ней преобладает похожий на мед фенилацетальдегид. В **календуле** преобладают древесные терпеноиды, а в европейской версии **хризантемы** — камфора и смолистый мирцен, совсем как в китайской, хотя у нее также есть оттенок мятного периллового альдегида. **Ромашка** более сложная, чем другие астры, со свежими мятными терпеноидами и несколькими эфирами, придающими ей характерно фруктовое качество, комбинация, сделавшая сушеные цветки ромашки любимым ингредиентом в травяных чаях.

Четвертая европейская клумба собирает разнообразную группу садовых цветов. **Львиный зев** имеет свежую и фруктовую ха-

рактеристику. **Лаванда**, получившая свое название за ее использование для ароматизации воды для купания, — кустарниковый член мятного семейства, чьи листья тоже благоухающие, как мы увидим. Три различных вида культивируются для использования в парфюмерии и определяются различными терпеноидными смесями: лаванда узколистная испускает первообразный запах характерных ацетатных эфиров; лаванда широколистная более мятная и медицинская с камфорой; а лаванда стехадская не содержит линалоол и обладает скорее травянистым, чем цветочным запахом.

Три разных европейских садовых цветка имеют общую пряную нотку гвоздики, которую им придает бензоид* эвгенол. Вместе с **гвоздикой турецкой** и другими (названными в английском *pink*, отсюда английское название розового цвета) гвоздики относятся

Некоторые европейские садовые астры

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
маргаритка (<i>Argyranthemum frutescens</i>)	мед	фенилацетальдегид
календула лекарственная (<i>Calendula officinalis</i>)	древесный, пряный, фиалка	кадинен, копаен, кариофиллен, гумулен, ионон, туйен
хризантема увенчанная (<i>Glebionis coronaria</i>)	камфора, зеленый, древесный, мятный	камфора, мирцен, оцимен, перилловый альдегид
ромашка, аптечная и римская (<i>Matricaria</i> , <i>Chamaemelum</i> ; Европа, Азия)	терпкий, древесный, свежий, мятный, фруктовый	цимен, эвкалиптол, кетон полыни, этил- и пропиламетилбутират

* Здесь и далее имеются в виду арены, содержащие в составе бензольное кольцо.

Различные европейские садовые цветы

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
львиный зев (<i>Antirrhinum</i> ; Европа, Северная Америка)	цветочный, фруктовый, древесный, зеленый	метилбензоат, мирцен, оцимен
лаванда: узколистная, стэхадская, широколистная (<i>Lavandula angustifolia</i> , <i>stoechas, latifolia</i> ; от Западной Европы до Индии)	узколистная: свежий, цветочный, лаванда, зеленый, древесный; стэхадская: медицинский, сосна, лаванда, мятный; широколистная: цветочный, свежий, мятный, медицинский	линалоол, линалилацетат, оцимен, терпинеол, лавандулилацетат; фенхон, камфора, пинен, лавандулилацетат; линалоол, цинеол, камфора
гвоздика турецкая (<i>Dianthus barbatus</i>)	зеленый, восковой, цветочный, древесный	C_6-10 альдегиды, особенно нональ, кариофиллен, линалоол
гвоздика (<i>Dianthus caryophyllus</i> ; от Европы до Азии)	<u>наследственные</u> разновидности: гвоздика; <u>новые</u> разновидности: зеленый, свежий, грушанка, фруктовый, смолистый	<u>наследственные</u> : эвгенол; <u>новые</u> : C_6 спирты и альдегиды, метилсалицилат, гексенилбензоат, бензилбензоат, бензиловый спирт
левкой (<i>Matthiola</i> ; Европа, Азия)	гвоздика, древесный	эвгенол, изоэвгенол, метилэвгенол, фенилэтанол
качим (<i>Gypsophila</i>)	древесный, сырный, потный	оцимен, метилмасляные кислоты

к роду *Dianthus*. **Гвоздики** — одни из самых распространенных срезанных цветов на Западе, третьи наиболее важные в торговле, но сейчас они по большей части лишены запаха или слабо пахнут летучими молекулами зеленой листвы и грушанкой. Отчасти это потому, что разводчики сделали акцент на красных оттенках и цветочных узорах, использующих те же самые бензоиды, которые вырабатывают эвгенол, и, возможно, также потому, что современные вкусы стремятся к ненавязчиво пахнущим цветам для ношения в петлице. Все еще сладко и откровенно пахнет гвоздикой **левкой**, как лобулярия, неожиданно приятный член семейства капустных, также известный как **маттиола**, в английском *gillyflower*, от французского слова «гвоздика», *girofle*. И печально известны своим потным, сырным запахом сбившиеся в кучку крошечные цветочки **качима**, популярного визуального акцента составленных флористами букетов.

Пятая и последняя клумба европейских цветов поддерживает три вьющихся растения с длинными стебельками на нескольких цветущих кустарниках и деревьях. **Душистый горошек** — относительно сдержанное и нежное однолетнее вьющееся растение, выращиваемое за его сильно цветочный аромат терпеноидов, также содержащихся в розах. Обычная **жимолюсть**, древесная и пышная, — насыщенно цветочная благодаря своей смеси линалоола и модифицированных версий линалоола с оттенком прокислого индола. У нее есть вид-собрат в Азии и Северной Америке.

Далее европейская **роза (шиповник)**, чьи шипастые стебли могут вырастать высоко, обвивая деревья. У розы богатая история ассоциаций с любовью, преданностью, мученичеством, рыцарским благородством и английскими королевскими домами, и сегодня это превосходящий другие цветок в мировой торговле. В конце этой главы я посвящу несколько

страниц истории ее изменяющихся запахов. Здесь достаточно заметить, что дикие розы отмечались как за их красный цвет и шипы, так и за их аромат, но этот аромат — еще один знаковый запах. Бензоедный компонент с цветочным запахом фенилэтанол и терпеноиды цитронеллол, гераниол и нерол — ее преобладающие летучие молекулы; они определяют розовость, а розовость определяет их. Выделяется своим отсутствием терпеноидный компонент с цветочным запахом линалоол.

Поддерживает эти три вьющихся растения кустарниковая сирень родом из Балканского региона, имеющая множество видов-собратьев во всем Северном полушарии. Ее конические гроздья цветов и интенсивный цветочный аромат помогли сделать **сирень** любимым садовым кустарником в Северной Америке. Этот аромат возникает из-за уникально высоких доз окисленных форм линалоола, известных как сиреневые альдегиды и спирты, вместе с обладающими свежим запахом оцименом и диметоксибензолом, а также прокислым индолом.

Позади сирени, поднимая вьющиеся стебли жимолости и розы на новые высоты, растут пара молодых деревьев и устремленный ввысь взрослый образец того, что известно

как липа; североамериканские виды называются липой американской. Они хорошо растут в городских парках и на улицах, где их часто можно обнаружить — в Берлине есть улица под названием Unter den Linden («под липами»). **Липовые цветки** содержат необычно сложную смесь смолистых, цветочных и травянистых летучих молекул, включая характерный гибрид бензоида и фурана под названием **липовый эфир**.



Липовые цветки хорошо высушиваются и используются для приготовления благоухающего медового чая; в знаменитом пассаже из «В поисках утраченного времени» Марселя Пруста рассказчик макает мадленку в липовый чай, и именно аромат чая был бы наиболее запоминающимся.

ЦВЕТЫ АЗИИ И АВСТРАЛИИ

В следующих четырех отделах нашего сада мы отправимся на восток из Европы в Азию, первоначальный источник многих цветов, запахи которых мы обычно называем экзотическими, тропическими, опьяняющими. По большому счету, эти цветы — азиатские лилии, жасмин, гардения — испускают слож-

Некоторые европейские вьющиеся, кустарниковые и древесные цветы

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
душистый горошек (<i>Lathyrus</i> ; умеренный пояс по всему миру)	цветочный, древесный, роза, мед	оцимен, линалоол, нерол, гераниол, фенилцетальдегид
жимолость (<i>Lonicera</i> ; Северное полушарие)	цветочный, древесный, цитрус, сосна, прокислый	линалоол и его оксиды, гермакрин, фарнезен, терпинеол, индол
европейские розы (<i>Rosa gallica</i> , <i>Rubiginosa</i>)	классическая роза, насыщенный, цветочный	фенилэтанол, цитронеллол, гераниол, нерол
сирень (<i>Syringa</i> ; от Юго-Восточной Европы до Восточной Азии)	цветочный, сирень	сиреневые альдегиды и спирты, оцимен, диметоксибензол, индол
липовое дерево (<i>Tilia</i> ; Северное полушарие)	свежий, терпкий, цветочный, фруктовый, мятный	лимонен, терпинен, терпинолен, линалоол, розовый оксид, бензиловый спирт, фенилэтанол, дамасценон, липовый эфир

ные смеси терпеновых спиртов, бензoiдных эфиров и одну-две двусмысленные молекулы, примерно как это делают европейские виды *Narcissus*.

Мы начнем в Западной Азии с относительно неяркой клумбы двух лилейных родственников и одного истинного члена семейства. Низкорослые **гиацинт** и **мышиний гиацинт** поддерживают стебли со множеством маленьких цветочков, зачастую фиолетовых. Им недостает значительной дозы линалоола, и они не такие цветочные, как некоторые из их родственников. Держащиеся прямо цветы **тюльпана** на одиночной ножке знакомы по весенним и ранним летним садам и названы от турецкого и персидского слов «тюрбан». У них обычно слабый запах или его нет; формы и цвета больше ценились в шести тысячах разновидностей, возникших в результате тюльпаномании в XVII веке, когда отдельные луковицы могли стоить столько же, сколько дом, в результате последующего разведения. Ароматические тюльпаны, которые действительно существуют, разнообразны; очевидно, у этого рода нет основного набора летучих молекул.

Дальше на восток, и на следующей клумбе растут две примечательные группы садовых

цветов из Китая и Японии. Несколько разросшиеся **лилейники** культивируются в Китае из-за их съедобных цветочных почек и лекарственных корней, а на Западе — в основном за их многочисленные солнечные желто-оранжевые цветы. Некоторые содержат фруктовые и цветочные бензоиды и терпеноиды, но ландшафтные разновидности обычно не имеют запаха.

Самые крупные в этой клумбе, высотой от уровня колена до уровня головы, — **азиатские** и **восточные лилии**, истинные родственницы европейской белой лилии, а также энергостанции летучих молекул. С их большим разнообразием цветочных размеров и окрасок, а также смотрящим вверх положением они широко используются в разведении гибридов для торговли срезанными цветами. Эти новые разновидности зачастую наследуют их обильную и сложную летучую смесь, которая может включать похожий на гвоздику эвгенол и животные крезол и индол. Их запах характерно сильный, агрессивный и всепроникающий настолько, что один японский репортер назвал его «неудачной характеристикой», потому что он ограничивает их использование в ресторанах и других закрытых помещениях. Китайское исследование от-

Некоторые азиатские гиацинты, тюльпаны и лилии

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
гиацинт (<i>Hyacinthus</i> ; от Средиземноморья до Центральной Азии)	цветочно-фруктовый, цитрус, нафталиновый/животный, мед	бензилацетат, фарнезен, индол, октенол, фенилацетальдегид
мышиний гиацинт (<i>Muscari</i>)	зеленый, древесный, грушанка, бальзамический	оцимен, метилсалицилат, изоэвгенол, бензилбензоат
тюльпан: Генерал де Вет; Монтре; Жан ван Нес; Нежная Красавица (<i>Tulipa</i>)	фруктовый; роза; медицинский и пряный; грушанка	ионон и деканаль; фенилэтанол; диметокситолуол; метилсалицилат
лилейник (<i>Heimerocallis</i>)	цветочный, фруктовый, бальзамический, древесный, животный	бензoiдные эфиры, линалоол, мирцен, пинен, индол
азиатская и восточная лилия (<i>Lilium</i> и гибриды, Северное полушарие)	цветочный, сладкий, свежий, зеленый, древесный, гвоздика, конские конюшни	бензиловый спирт, бензальдегид, бензoiдные эфиры, эвгенол, линалоол, оцимен, крезол, индол

мечает, что восточные гибриды сильнее всего пахнут по ночам, и советует, что «ночной выброс следует учитывать, выбирая место, куда поставить, поскольку многие люди страдают от непереносимости сильных запахов». Химические обработки и селекционное разведение могут приглушить аромат восточных лилий и, вероятно, расширят рынок для них.

Следующий отдел азиатских цветов представляет некоторый контраст со своими ближайшими соседями; эти растения относительно сдержанны в своих запахах. Мы уже повстречали китайскую **хризантему** среди цветов, ценимых в древние времена. Современные гибридные хризантемы со множеством цветков в данное — время второй наиболее важный цветок в торговле, отчасти потому, что они долго стоят в вазе. Как и европейский вид, китайские хризантемы имеют запах, в котором преобладают камфорные и древесные нотки. Китай начал ценить свои несколько местных видов **роз** гораздо позже, чем хризантему и лотос, и их запах мало похож на запах европейских роз. Мягкие бензоиды диметокситолуол и триметоксибензол, а также древесные сесквитерпеноиды куда более выражены, чем следы линалоола и ионона. Но китайские розы сыграли важную роль в запахах современных садовых роз, как мы увидим через несколько страниц. Последнее растение в этом разнообразном отделе — древесное вьющееся растение **глициния** с каскадами фиолетовых

и белых цветов, свисающих с ветвей. Одиночные глицинии приучали на опорах покрывать целый акр листьями и цветами. Они самые типично цветочные из цветов в этом отделе, с приятной смесью терпеноидов и бензоидов и акцентом индола.

Теперь мы подходим к отделу сада с тремя клумбами, каждая — дом для тесной группы вьющихся растений с маленькими листочками, несущих множество маленьких белых цветочков. Это один из самых характерных и ценимых во всей Азии цветков: **жасмин**, зародившийся в Гималаях и, вероятно, впервые культивированный в персидских садах и позже привезенный в Испанию арабами; название происходит из персидского языка. Наиболее изученные виды — «испанский», выращиваемый в основном, чтобы создавать экстракты для парфюмерной промышленности, и «арабский», тип, выращиваемый на индийских плантациях и в домашних садах для венков и используемый в Китае для приготовления чая с ароматом жасмина. Цветки жасмина обычно открываются в сумерках и закрываются примерно в полночь, но их летучие молекулы накапливаются в закрытых цветках в течение ночи и достигают максимума рано утром, поэтому именно в это время их обычно собирают. Испанский жасмин насыщенно цветочный и богатый, со смесью бензоидов, терпеноидов, жасмоноидов и сильного животного скрытого оттенка из-за индола и крезолола, в то время как арабский жасмин, или самбак, слаще и легче

Азиатские хризантема, роза, глициния

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
хризантема (<i>Chrysanthemum x morifolium</i> ; Азия, Северо-Восточная Европа)	медицинский, сосна, древесный, свежий	камфора, пинен, сафраналь, мирцен, эвкалиптол, фелландрен, камфен
китайские розы (<i>Rosa chinensis</i> , <i>R. chinensis x odorata</i> разн. <i>gigantea</i>)	свежий, земалистый, пряный, зеленый чай, фиалка	диметокситолуол, триметоксибензол, кариофиллен, гермакрен, линалоол, ионон
глициния (<i>Wisteria</i> ; Азия и Восточная Америка)	цветочный, зеленый, фруктовый, прокислый	линалоол, оцимен, метилбензоат или бензиловый спирт, индол

Некоторые виды жасмина

Вид жасмина	Составляющие запахи	Молекулы
испанский жасмин (<i>Jasminum grandiflorum</i>)	цветочный, фруктовый, животный, конские конюшни, жасмин	бензиловый ацетат, линалоол, индол, крезол, жасмоноиды
арабский жасмин, самбак (<i>J. sambac</i>)	цветочный, цитрус, прокислый, смолистый, жасмин	линалоол, фарнезен, индол, бензиловые спирт и ацетат
декоративный, горшечный жасмин (<i>J. polyanthum</i>)	цветочный, фруктовый, пряный, конские конюшни	бензиловый ацетат, крезол, изоэвгенол, эвгенол, линалоол

благодаря отсутствию жасмоноидов и крезола и присутствию зеленых и древесных сесквитерпеноидов.

Основной декоративный вид, пришедший из Китая, содержит лишь след индола, но его летучие продукты — более чем 10% пахнущего конскими конюшнями крезола. По моему опыту, этот крезол держится гораздо дольше более цветочных ингредиентов. Годы назад у меня был плодородный вьющийся жасмин, ниспадающий с изгороди моего заднего двора, когда он миновал фазу полного цветения и его цветки начали разлагаться, запах был однозначно мочевого. В исследовании 1997 года датские ученые сообщили, что некоторые люди сочли даже его свежий запах «"невыносимым", продолжительная сенсорная стимуляция испускаемыми летучими молекулами вызывала головную боль и тошноту». Лучше держать его на улице!

Последний отдел азиатских цветов засажен парой кустарников и маленьким деревом, все с блестящими темно-зелеными листьями, все из Китая, но с видами-собратьями в других регионах Азии. На одном кусте растут белые, среднего размера, с крупными лепестками, восхитительно благоухающие цветки. Это **гардения**, частый компонент западных бутоньерок; другие виды родом из Океании включаются в гирлянды-ожерелья. Самый распространенный вид, *Gardenia jasminoides*, имеет много общих летучих молекул с жасмином, при этом исключая двусмысленные аспекты, поэтому его запах более чисто цветочный. Второй кустарник — ароматический

вид османтуса, принадлежащего к тому же семейству, что жасмин и сирень, но придающего своим крошечным, белым или оранжевым цветочкам совершенно характерный набор летучих молекул. Цветки **османтуса** имеют характерно фруктовый, похожий на абрикос запах благодаря эфиру с простой цепью и лактону, помогающему определить абрикос, вместе с тяжелой цветочной фиалковой ноткой терпеноида ионона. Они используются для ароматизации чаев, вина и различных сладостей. Над кустарниками возвышается цитрусовое дерево, вид, дающий кислый и приятно ароматный горький апельсин (померанец). Эти плоды начинают свой жизненный цикл как **цветки апельсинового дерева**, высоко ценимые по своему собственному праву, но совсем не цитрусовые. Они предлагают свою собственную уникальную смесь цветочных и смолистых терпеноидов, фруктовых эфиров антранилата и прокислого индола. В средневековой Персии и пришедших позже арабской и османской культурах из цветков как апельсина, так и розы извлекали экстракты для ароматических вод, чтобы брызгать ими как людей, так и продукты. Эти воды (или искусственные имитации) все еще много применяются в Западной Азии.

Последний цветок из Океании — маленькие желтые пушистики дерева **акация серебристой**, или **мимозы**, вида *Acacia* из Австралии. Ее высаживают на обширных территориях в Южной Франции и также в Калифорнии, где она придала незабываемый аромат влажному весеннему воздуху, когда я

Азиатские гардения, османтус, горький апельсин; австралийская акация

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
гардения (Gardenia jasminoides; Азия, Океания, Африка)	цветочно-фруктовый, жасмин	эфиры бензоата, линалоол, жасмолактон
османтус (Osmanthus; Восточная Азия)	сладкий цветочный, фиалка, абрикос, фруктовый	линалоол, ионон, гамма-декалактон, гексилбутират
горький апельсин (Citrus; Юго-Восточная Азия)	цветочный, животный, виноград, древесный	линалоол, мирцен, линалилацетат, метилантранилат, индол
акация серебристая, мимоза (Acacia dealbata)	фруктовый, мед, грибной, ваниль, анис	этиловые пропаноат, бутират и гексаноат, фенилацетальдегид, октенол, ванилин, метил- и этиланисат

ездил туда-сюда на велосипеде между домом и библиотекой во время моих первых месяцев в Области Залива: фруктовый, ванильно-медовый, с намеками на анис и грибы от смеси эфиров, бензоидов и спиртов.

ЦВЕТЫ АМЕРИКИ И АФРИКИ

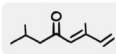
Этот предпоследний отдел цветочного сада уводит нас за пределы Европы и Азии к набору из остальных мест планеты, в основном из Америки. Сами растения зачастую разбросаны по широким территориям, поэтому я сгруппирую их по относительному преобладанию бензоидных и терпеноидных летучих молекул.

Сперва витрины с терпеноидами: территория с несколькими крупными деревьями, группой кустарников, двумя наборами прямостоячих грунтовых цветов и маленькими участками зелени вдоль краев дорожки. Южные Соединенные Штаты — дом нескольких видов **магнолий**, деревьев, являющихся прямыми потомками одних из самых древних цветущих растений. Их большие ароматные цветы часто опыляются жуками и обычно испускают характерно цветочный линалоол или розово-цветочный гераниол вместе с несколькими другими терпеноидами и порой фруктовым эфиром. Позади магнолий — кустарниковые **плюмерии**, изначально с Карибских островов, их маленькие и приятно

насыщенные, имеющие оттенок запаха розы цветы сейчас частый ингредиент гавайских гирлянд. Затем следует парочка грунтовых цветов, знакомых садоводам и флористам. **Фрезии** — один из немногочисленных вкладов Африки в торговлю ароматическими цветами; они пришли с далекого юга и сейчас бывают различных окрасок. Вдоль каждого цветочного стебелька — несколько цветочков, дополняющих свои цветочные терпеноиды парой фруктовых эфиров. Столь же фруктовая, как и предполагает ее название, миниатюрная и очаровательная **ромашка пахучая**, распространенный американский дикий цветок, прижимающийся к земле вдоль садовой дорожки. На нее чаще наступают, чем нюхают, но она одарена восхитительной смесью терпеноидов и эфиров, и ради нее стоит нагнуться.

Замыкает список американских терпеноидных специалистов садовая стойкая **календула**, знакомая и в то же время летучий оригинал. Как и ее камфорный сотоварищ из астрового семейства, хризантема не особо-то цветочная. Но вместо камфоры календула синтезирует редкий терпеноид **тагетон**, придающий ей свежую, но медицинскую, несколько резкую характеристику, не похожую ни на один другой цветок.

На следующей клумбе — американские бензоидные носители, в четырех группах:



Некоторые богатые терпеноидами цветы из Америки и Африки

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
магнолия: крупноцветковая, виргинская, Суланжа (<i>Magnolia grandiflora</i> , <i>virginiana</i> , <i>M. x soulangeana</i> ; Америки и Восточная Азия)	крупноцветковая: цветочный, роза, зеленый, древесный; виргинская: цветочный, фруктовый; Суланжа: зеленый, древесный, сосна, цветочный	гераниол, оцимен, мирцен; линалоол, метилдеканат; оцимен, пинен, линалоол
плюмерия (<i>Plumeria rubra</i> разн. <i>acutifolia</i> ; Центральная и Южная Америка)	цветочный, розовый, зеленый, фруктовый	линалоол, гераниол, неролидол
фрезия (<i>Freesia</i> ; Юго-Восточная Африка)	цветочный, свежий, фруктовый	линалоол, терпинеол, гексенил- и фенилэтилацетаты
ромашка пахучая, зеленая (<i>Matricaria discoidea</i>)	свежий, цитрус, сладкий, фруктовый, ананас	фарнезен, геранилизовалерат, мирцен
календула (<i>Tagetes</i> ; Южная Америка)	фруктово-резкий, медицинский, свежий	тагетоны, оцимен, оцименон, фелландрен

низкие лиственные растения, маленькие кустарники с бархатными листьями, растение с толстыми листьями, приютившееся в затененном гнезде мха, и, наконец, клубок толстых зеленых колючих стеблей и веток.

Петунья, местная обитательница Южной Америки и типичное садовое декоративное растение, — первый цветок, про который я вспоминаю, как я нюхал его в детстве, и их большое количество может сделать свой запах преобладающим в воздухе в теплице. У нее характерный аромат, возникающий из-за бензоеидных спиртов, альдегидов и эфиров. Обладающая богатым ароматом мексиканская местная **тубероза**, чьи многочисленные листья поднимаются от земли, как это делают листья лилии, — родственница обитательницы пустынь агавы; она особенно богата цветочно-фруктовыми бензоеидными эфирами и также несет оттенок прокислого индола. Тыквы и кабачки возникли в Центральной Америке; их разросшиеся лозы с крупными листьями несут обильные ярко-желтые цветы **кабачка** или **цукини**, которые мы встречаем обжаренными в кляре в итальянских ресторанах или сырыми на рынках и в садах. Они испускают сбалансированную, относительно приглу-

шенную смесь свежих, медицинских бензоеидов и цветочных терпеноидов. Они также содержат индол, привлекающий опыляющих листоедов.

Садовый гелиотроп — кустистый перуанский член рода, распространенного во всем мире. В его гроздьях крошечных, обычно фиолетовых цветков тоже преобладают бензоеиды, но с совершенно иной сладкой, похожей на ваниль характеристикой из-за ярко выраженных фруктовых и бальзамических бензальдегида и анисальдегида. В тени гелиотропа покоятся несколько разновидностей пышной бразильской **орхидеи каттлеи**, другого знакомого тепличного растения, запахи которого движутся в направлении пряности, с бензоеидами грушанки и гвоздики поверх компонентов с цветочным запахом линалоола и фенилэтанола.

Клубок зеленых стеблей — это заросли **пениоцереуса**, кактуса родом из сухого американского юго-запада и северной Мексики, популяциям которого удается открывать свои белые цветы с многочисленными лепестками синхронно и в основном в одну ночь ранним летом, привлекая опылителей-бражников и поклонников-людей своим насыщенным, сладким, бальзамическим запахом.

Некоторые богатые бензоидами цветы из Америки

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
петунья (Petunia; Южная Америка)	цветочный, фруктовый, экстракт миндаля, мед	метил- и бензилбензоат, бензальдегид, бензиловый спирт, фенилацетальдегид, фенилэтанол
губероза (Polianthes; Мексика)	цветочно-фруктовый, грушанка, сладкий, виноград Конкорда, цитрус, прокислый	метил- и бензилбензоаты, метилсалицилат, метилизоэвгенол, метилантранилат, фарнезен, индол
кабачок, цукини (Cucurbita perо; Центральная Америка)	свежий, зеленый, цветочный, сосна, прокислый	диметокситолуол, триметоксибензол, линалоол, пинен, индол
гелиотроп (Heliotropium arborescens; Южная Америка, Европа, Азия)	экстракт миндаля, жасмин, бальзамический, зеленый	бензальдегид, бензилацетат, анисальдегид, оцимен
орхидея каттлея (Cattleya labiata; Бразилия)	цветочный, грушанка, гвоздика	линалоол, метилбензоат и -салицилат, фенилэтанол, эвгенол
пениоцереус (Peniocereus greggii; юго-запад США, Мексика)	грушанка, сладкий, бальзамический, фруктовый, экстракт миндаля	метилбензоат и -салицилат, бензилбензоат и -салицилат, бензальдегид

ЛЕТУЧАЯ ИСТОРИЯ РОЗ

Чтобы завершить нашу прогулку по более известным цветам мира, давайте остановимся у самого известного из всех них. Если и есть один-единственный канонический цветок в мире, ценимый с самых ранних времен и заключающий в себе все, чем может быть цветок, то это наверняка **роза**. В роду *Rosa* примерно сотня видов, но десять — двадцать тысяч различных разновидностей. Этот последний отдел цветочного сада предлагает несколько колючих кустов, чтобы зарисовать превратности розовости.

Первые два куста, **шиповник французский** и **шиповник красно-бурый**, — дикие растения вида родом из Европы и Западной Азии. Их цветы с пятью или более маленькими розовыми лепесточками цветут лишь раз в год и обладают определяющей розу смесью монотерпеноидных спиртов и фенилэтилового эфира. Третье растение, с белыми цветками, — дикий **шиповник мускусный**, обла-

дающий менее типичным розовым запахом, похожим на гвоздику и пряным из-за других бензоидов. Разводчики роз создали тысячи разновидностей, выбирая и скрещивая эти и другие дикие виды, обычно чтобы раскрыть их потенциал выражения импозантных оттенков красного и других цветов, цветков с большим количеством лепестков и способности цвести несколько раз подряд. Запах в основном был вторичным интересом.

Большое ароматическое исключение из этого правила «главное — внешность» возникло, по-видимому, как природная гибридизация между тремя различными видами родом из Европы и с Ближнего Востока, вероятно, там, где сейчас располагается северная территория Ирана. Это случайное генетическое смешивание создало **дамасскую розу**, растущую на четвертом из наших кустов, розовую и с многочисленными лепестками. Ее название происходит от древнего сирийского города Дамаска, где европейские крестоносцы повстречали ее особенно изысканный, силь-

Некоторые розовые ароматические семейства

Разновидность розы	Составляющие запахи	Молекулы
европейские/средне-восточные виды: (<i>Rosa gallica</i> , <i>rubiginosa</i> ; <i>R. moschata</i>)	<i>gallica</i> , <i>rubiginosa</i> : классическая роза, насыщенный, цветочный <i>moschata</i> : гвоздика, фиалка, древесный	фенилэтанол, цитронеллол, гераниол, нерол эвгенол, ионон, кариофиллен
дамасская природная гибридная роза (<i>Rosa x damascena</i>) (от <i>R. gallica</i> , <i>moschata</i> , <i>fedtschenkoana</i>)	классическая роза + тяжелый, богатый, фруктовый, фиалка, древесный	фенилэтанол, цитронеллол, гераниол, нерол; + дамасценон, ионон, розовые оксиды, гексениловый, гексиловый и фенетиловый эфиры, рогатундон
китайские чайные розы (<i>Rosa chinensis</i> , <i>R. chinensis x odorata</i> разн. <i>gigantea</i>)	свежий, землистый, пряный, зеленый, чай, фиалка	диметокситолуол, триметоксибензол, кариофиллен, гермакрин, линалоол, ионон
гибридные чайные розы, розы-флорибунда (сложные евроазиатские/азиатские помеси)	часто слабый чайный тип	диметокситолуол, триметоксибензол, гексенилацетат, гераниол, цитронеллол
моховая дамасская роза (<i>R. x damascena</i> , Круглогодичный Белый Мох)	дамасская роза + сосна, древесный, свежий	летучие молекулы дамасской розы + пинен, мирцен, сабинен, фелландрен

ный запах в розовой воде и розовом эфирном масле парфюмеров (см. с. 360). Один из родительских видов, шиповник французский, вероятно, вложил базовые розовые летучие молекулы; шиповник мускусный — вероятно, метаболический обходной путь, вырабатывающий терпеноидно-пигментные фрагменты; а третий родитель, малоизученный западно-азиатский вид, как утверждается, пахнет темным пшеничным хлебом и ежевичным джемом и, вероятно, вложил фруктовые эфиры. В их общем потомке дамасской розе базовая французская смесь углублена добавлением двух произошедших от терпеноидов фрагментов: похожего на фиалку ионона и пахнущего печеным яблоком дамасценона, названного так потому, что его впервые выделили из дамасских роз вместе с несколькими эфирами. Сегодня самые высокопробные розовые масла для парфюмерии производятся из болгарской, турецкой и иранской дамасских роз, а также из дамасского потомка, *Rosa*

x centifolia, особенно ассоциируемого с парфюмерным центром Грас в юго-восточной Франции.

Может казаться, что дамасские и современные разновидности роз, зачастую едва пахнущие или лишенные запаха, — как небо и земля. Постдамасская фаза началась в восемнадцатом веке с прибытия в Европу китайских роз, некоторые из них уже были гибридами, у них было много желательных характеристик для разведения, которых не доставало европейским розам, включая способность цвести несколько раз подряд и желтые и оранжевые оттенки лепестков. Но желтые многолепестковые цветы на соседнем кусте, китайская разновидность, совсем не похожи на европейские розы: менее цветочные и мощные, вместо этого свежие, землистые, слегка пряные.

Характерный мягкий запах **китайских роз** обусловлен преобладанием парочки необычных бензоидов, оба слегка медицинские — диметокситолуол, свежий и земли-

стый, и триметоксибензол, пряный и слегка животный. Пахнущий зеленой листвой эфир гексенилацетат также вносит зеленую нотку, необычную для цветов. Жителям Запада этот запах напоминает другой китайский импортный товар. «Справочник по садоводству американских цветов», опубликованный в Филадельфии в 1832 году, включает статью «*Rosa odorata*, или **чайная роза**, ценимая в этой стране за то, что ее благоухание сходно с высокопробным [зеленым] чаем “Хайсон”. Она справедливо заслуживает предпочтение всем китайским розам за утонченность ее аромата».

Откровенно розовый запах европейских роз начал исчезать в девятнадцатом веке, когда французские разводчики растений впервые скрестили китайские чайные розы с европейскими розами и получили **гибридные чайные розы**. В течение многих десятилетий большинство популярных садовых роз, которые вы могли бы понюхать в теплице, были бы красивыми и плодовитыми, но по большей части непахнущими. К счастью, многие старые до чайные разновидности выжили, и начиная с 1960-х годов английский разводчик роз Дэвид Остин с большим успехом работал над тем, чтобы преодолеть обонятельный дефицит в современных разновидностях. Ароматические розы вернулись на сцену.

В этой главе мы покрыли довольно-таки большую территорию осмокосма, от трупных цветков до водяных лилий до одуванчиков и жасмина, а также несколько раз обозрели розы. Универсальная зрительная притягательность цветов значит, что их легко найти в повседневной жизни, во дворах перед домом, в парках и на рынках, в теплицах и в ботанических садах. Во многих муниципальных округах многих стран есть розовые сады, в некоторых из них бок о бок растут сотни разновидностей. Все они предлагают готовые возможности для исследователя запахов,

чтоб опробовать, на что способны цветы, в то же время изумляясь поразительно красивым источающим благоухание структурам, плодов совместного труда Героя-Углерода и человеческого разума.

Прежде чем мы покинем цветочный сад, две последние понюшки розовых зарослей. Вернитесь ко второму растению, дикой европейской *Rosa rubiginosa*, и потрите лист между пальцами. Это растение также известно в английском как **эглантирия** или **сладкий шиповник** (sweetbrier): «шиповник» — за шипы, «сладкий» — не за запах его цветов, но за его листья, благоухающие яблоком из-за ацетальдегида и сесквитерпенов! Зелень тоже может быть приятно ароматной. Затем пройдите назад мимо чайной и гибридной роз к еще одному дамасскому кусту с несколькими закрытыми почками. Присмотритесь повнимательней: это одна из разновидностей дамасской и столистой роз, **моховые розы**, покрывающие свои зеленые почки тысячами крохотных волосков, что придает им пушистый облик. Теперь легонько потрите пушок и понюхайте свои пальцы, затем понюхайте один из открытых цветков. Цветок испускает обычные дамасские летучие молекулы, но волоски высвобождают совершенно отличный набор терпеноидов, если их потереть: запах сосновый, древесный. Эти волоски явно защитное оружие, ошетилившиеся заряженные летучими молекулами шипы, чтобы отбить у жующих насекомых охоту откусить кусочек.

Когда мы покидаем цветочный сад и его многочисленные сладкие запахи, лист сладкого шиповника и моховая роза напоминают нам о том, что приятные летучие молекулы в цветущих растениях в основном защитные, и зелень часто обладает не просто зеленым запахом. Летучие волоски — интересная странность на цветке, но пушок — самое важное на листьях мяты и базилика. Теперь вперед к душистым травам.

ГЛАВА 11.

СЪЕДОБНЫЕ ЗЕЛЕНЬ И ДУШИСТЫЕ ТРАВЫ

В Смешивании Салата каждое Растение должно принимать участие без того, чтобы его пересилила какая-нибудь Душистая Трава с более сильным Вкусом, таким образом ставя под угрозу естественный Смак и Достоинство остальных; но все должны встать на свои места, как Ноты в Музыке, в которой не должно быть ничего резкого или скрипучего: И хотя допускаются некоторые Диссонансы (чтобы провести различие и проиллюстрировать остальные), вмешивающиеся более оживленно, и порой более нежные Ноты примиряют все Диссонансы и сплавляют их в приятную Композицию.

Поелику это был один из Запросов Благородного мистера Бойля, «какие Душистые Травы соответственны и пригодны для приготовления Салатов и в каком порядке их лучше всего использовать?», мы здесь (с помощью мистера Лондона, Главного Садовода Его Величества) сократили их до достаточного Числа, не превышающего Тридцати Пяти; но которое можно варьировать и расширять, добавляя или убирая любое другое Растение для Салата, упомянутое в вышеизложенном Списке.

Джон Ивлин, «Acetaria (заправленное уксусом): дискурс о салатах», 1699 год

Пока что в нашем исследовании зеленого мира мы вынюхивали наш путь через лес, луг, кустарниковую заросль, пустыню и цветочные клумбы. Теперь наш путь приводит нас домой к десяткам растений, с запахами которых мы знакомы наиболее близко: к тем, которые мы кладем в рот и едим, высвобождая их внутренние летучие молекулы, когда мы жуем, и затягивая их в нос, когда мы выдыхаем. Мы оставляем виртуальный ботанический сад позади и проходим на прилегающий плодовоовощной рынок под открытым небом, затененный, чтобы сохранить только что собранный урожай свежим. Это самый обширный, организованный и неприбыльный рынок, какой только можно вообразить, с бесчисленными прилавками зелени и душистых трав, корней и клубней, орехов и зерна, пряностей, плодов — ничего на продажу, все можно бесплатно понюхать и попробовать.

В этой и следующей паре глав представьте себе, как вы прогуливаетесь мимо этих рыночных прилавков и пробуете интересу-

ющие вас предметы, вспоминаете их запахи и сравниваете их наборы компонентов. Или, еще лучше, бросьте воображаемые прилавки, идите на свою кухню и попробуйте настоящие вещи. Исследуйте дальше в полевых условиях, добавив менее знакомые ингредиенты в свой список покупок, и приносите домой по несколько за раз, чтобы попробовать. Даже скромно обеспеченный холодильник и полка для приправ составляют коллекцию ароматических растительных материалов со всей планеты, многие из них выращиваются специально ради их летучих молекул.

Некоторые из предметов на рынке и в этих главах будут наиболее знакомы в высушенной или приготовленной форме. Однако здесь мы сфокусируемся на запахах сырых растительных материалов. Как сушка, так и готовка разгоняют летучие молекулы и создают новые, обычно прикрывающие первоначальные, естественные характеристики материалов. Одно важное исключение — группа материалов, которые мы называем пряностями, се-

мена и другие растительные части, сильные вкусы которых сохраняются даже после того, как их высушили. Мы обнюхаем пряности в следующей главе, приготовленные продукты — в главе 18, а высушенные душистые травы — в главе 19.

Эта глава начинает наш обзор съедобных растений с дюжины прилавков, на которых лежат кучи листьев: некоторые крупные, некоторые крошечные, некоторые в пучках, некоторые украшают длинные стебли. Это то, что мы действительно часто едим сырым, в салатах, закусках и гарнирах. Кухонная зелень включает овощи с крупными листьями, салат-латук, цикорий, кудрявую капусту и тому подобное, в запахах которых в основном преобладают летучие молекулы зеленой листвы. Кухонные душистые травы — разнообразный набор растений с маленькими листьями, имеющий и более сильные запахи (мята, розмарин, петрушка), используемый поварами больше в качестве вкусовых акцентов, чем в качестве основных ингредиентов.

В эти дни наш опыт с кухонной зеленью и душистыми травами имеет тенденцию быть довольно-таки стандартизированным, ограниченным и легко воспринимаемым как должное. Поэтому полезно вспомнить салатного мудреца-первопроходца Джона Ивлина, заинтересованность благородных коллег из Королевского Общества и королевского садовника в его работах и его заключительный список из тридцати пяти пригодных салатных ингредиентов, сокращенный из первоначального набора из восьмидесяти! В числе финалистов было много знакомых стандартных вариантов, но также такие забытые представители зелени, как кровохлебка, критмум, ложечница и заячья капуста, дюжина из которых может найти дорогу в заданный салат. Ясное дело, в мире и под ногами есть более ароматные салатные ингредиенты, чем можно вообразить в наших современных кухнях. И более интересные задачи для повара по их сочетанию.

В этой главе мы обнюхаем почти так же много листьев, как восемьдесят Ивлина, поч-

ти все из них культивируемые и широкодоступные. Они представляют обширное разнообразие запахов, от характерных летучих молекул зеленой листвы салата-латука, вырабатываемых в процессе нарезания и жевания, до специфических терпеноидов и бензоидов мяты, лимонника и других душистых трав, заранее заготовленных и запасенных в активном волосистом листовом пушке или в спрятанных внутренних каналах. Вместе с пряностями кухонные душистые травы дают повару возможность придать насыщенный вкус и интерес относительно пресным продуктам, составляющим большую часть нашего питания. Их химические средства защиты, нацеленные на микробов, насекомых и других животных врагов, не справляются с тем, чтобы отпугнуть нас, только потому, что мы большие и можем контролировать дозу приема: достаточно, чтобы простимулироваться, но недостаточно, чтобы вызвать раздражение или причинить вред.

Несмотря на свою неэффективность в качестве защиты от нас, эти виды оружия высокоэффективны в качестве побудительных мотивов, чтобы поспособствовать защите их растений. Они побуждают нас возмещать индивидуальные растения, которые мы потребляем, заботиться о них, размножать далеко за пределами их естественной среды обитания и в запредельных количествах и выводить типы, которые никогда бы не выжили в дикой природе, — все для того, чтобы эти виды продолжали привносить обонятельный интерес в наши жизни. Мы превратили растительные виды оружия в милости, потенциальный вред — в удовольствие, индивидуальную жертву — в коллективный триумф. Пространные мысли для салата!

КУХОННАЯ ЗЕЛЕНЬ

Первые прилавки на рынке завалены знакомой лиственной зеленью, салатом-латуком и другими растениями, которые достаточно нежные и мягкие для нас, чтобы есть сырыми или подвергнутыми минимальной термиче-

Некоторые листовые овощи из семейства астровых

Растение	Составляющие запахи	Молекулы
салат-латук (<i>Lactuca sativa</i>)	зеленый, овощной	GLVs, изопропилметоксипиразин, кариофиллен
эндивий (<i>Cichorium endivia</i>)	зеленый, миндаль, огурец, цветочный	GLVs, бензальдегид, ноненали, ионон
радиккьо (<i>Cichorium intybus</i>)	зеленый, мед, цветочный, восковой, мятный	GLVs, фенилацетальдегид, этилдодеканат, метилпентанон
хризантема увенчанная, шунгику, тон хо (<i>Glebionis coronaria</i>)	зеленый, древесный, смолистый	GLVs, оцимены, мирцен, фарнезены, гермакрин
чернобыльник, йомоги (<i>Artemisia princeps</i>)	зеленый, эвкалипт, кедр, камфора	GLVs, эвкалиптол, туйон, борнилацетат, борнеол

ской обработке. Большинство из этих овощей родом из умеренных регионов Европы и Западной Азии, все они одомашнены, что значит, их подвергали селекции и скрещивали в течение тысячелетий, чтобы они были плодородными и приятными, с приглушенными химическими средствами защиты и более мягкими вкусами, чем у их диких предков.

Разумеется, вкус большинства салатных листьев — «зеленый»! Когда мы едим сырые листья, жевание повреждает ткани и стимулирует выработку травяных, свежих летучих молекул зеленой листы (см. с. 137) у нас во рту. Это доминантное качество, объединяющее большинство зеленых овощей, по крайней мере, когда мы вкушаем их сырыми. Подготовка убивает вырабатывающие GLV ферменты и формирует другие молекулы, поэтому у приготовленной зелени другой вкус (см. с. 407). И каждый конкретный овощ содержит свою собственную смесь заранее сформированных не зеленых летучих молекул.

Самый первый прилавок занимают три из самых распространенных салатных листьев, все с крупными листьями и члены многочисленного семейства астровых. **Салат-латук** — самый мягкий и характерно травяной из листовых овощей, но у него могут быть древесные и землистые нотки стручкового перца из-за одного терпеноида и содержащего

азот пиразина. **Эндивий** и **радиккьо** — родственные друг другу виды и более сложные, чем салат-латук, ценимые отчасти за горький контраст, который они могут добавить салату. Эндивий содержит легкие миндальную, огуречную и цветочную нотки; радиккьо — гармоничные медовую, восковую, цветочную и порой мятную нотки.

На прилавке рядом со знакомыми стандартными салатными ингредиентами лежат две кучки родственной, но очень разной на вид зелени, длинные стебли со множеством маленьких рассеченных листочков. Потрите несколько и понюхайте свои пальцы — вы в другом обонятельном царстве, где преобладают терпеноиды. Это два других члена астрового семейства, более известных в Азии, чем на Западе, оба вида из рода *Artemisia* (Полынь), давшего нам несъедобные лебеду и чернобыльник (см. с. 175) и едва съедобную полынь (см. с. 216). **Хризантема увенчанная** — растительная кухня видов хризантем, выращиваемых ради их цветов; она популярна в Китае и Японии, ее сырые листья ароматизированы древесными и смолистыми терпеноидами. А овощной **чернобыльник** — отличный от обычного сорняка — вид рода *Artemisia*, который особенно обожают японцы, его терпеноиды напоминают эвкалипт, кедр и камфору.

На следующем прилавке регистр запаха снова смещается к открыто серному. Его полдюжины кучек листьев, больших и маленьких, — представители семейства капустных: сама **капуста**, **кудрявая капуста**, **эрука** или **рукола**, **горчица сарептская**, **кресс-салат** и **водяной кресс**. Все они — европейские растения; все обычно сочетают сильный зеленый запах с серными ароматами и летучей горчичной остротой от азотно-серных защитных молекул; все образуются, когда листья режутся или жуются. Декоративная цветущая **настурция**, *Tropaeolum*, — южноамериканская кузина семейства капустных, с похожим, но более приглушенным ароматом; ее общепринятое название, совпадающее с ботаническим названием водяного кресса, как утверждается, произошло от латинских слов «нос» и «скручивать»: аллюзия на едкие запахи.

Теперь следует прилавок с тремя неродственными предметами на пробу, два из них знакомые, один заслуживает того, чтобы с ним познакомиться. Салатный любимчик **шпинат** разделяет членство в семействе ама-

рантовых как с марью вонючей, так и с пахнущей керосином марью амброзиевидной (см. с. 175, 217). К счастью, его запах не похож на них обеих, но он более сложный, чем у салата-латука, с жирной и серной нотками, добавленными к зеленой и земистой. Рядом с его пучками размером с руку лежит горстка крупных, толстых, похожих на сельдерей черешков, некоторые зеленые и некоторые красные: съедобная часть листьев **ревеня**, кислого от щавелевой кислоты и в основном с овощным ароматом, но с цветочной и фруктовой нотками, делающими его сладким, словно почетный фрукт. Далее гроздь маленьких похожих на шпинат розеток: **полевой салат** или **валерианелла колосковая**, также известная под несколькими другими названиями. Это миниатюрный европейский родственник двух растений с особенно ароматическими корнями, экзотического нарда, включенного в сад Эдемский Джона Мильтона (см. с. 369), и валерианы, первоначального источника сырно-потной пятиуглеродной валериановой кислоты. Нежные листья валерианеллы испу-

Некоторые листовые овощи не из семейства астровых

Растение	Составляющие запахи	Молекулы
кудрявая капуста, капуста, эрука, горчица сарептская, крессы (<i>Brassica oleracea</i> , <i>B. juncea</i> , <i>Eruca sativa</i> , <i>Lepidium sativum</i> , <i>Nasturtium officinale</i>)	зеленый, серный, едкий	GLVs, метил- и этилсульфиды, содержащие азот нитрилы, содержащие серу и азот изотиоцианаты, тионитрилы, тиокарбаматы
шпинат (<i>Spinacia oleracea</i>)	зеленый, жирный, землистый, серный	GLVs, альдегиды с 8 углеродами в цепи, изопропил- и бутилметоксипиразины, метантиол, диметилтрисульфид
черешки листьев ревеня (гибриды <i>Rheum</i>)	зеленый, травяной, яблоко, огурец, цветочный, фруктовый	гексенали, нонадиеналь, ионон, гексенол
полевой салат, валерианелла колосковая (<i>Valerianella locusta</i>)	зеленый, фруктовый, цветочный, хрен	GLVs, эфиры метилбутирата, фенилэтанол, цитронеллол, фенилэтилизотиоцианат
бурачник (<i>Borago officinalis</i>)	зеленый, цитрус, водоросль	гексенол, октаналь, декадиеналь
мертензия приморская (<i>Mertensia maritima</i>)	огурец, гриб, герань, дыня	ноненаль, октадиенон, октадиенон, нонадиеналь

скают интригующую смесь зеленой, фруктовой, цветочной и слегка серной ноток, совсем не похоже ни на одного другого представителя салатной зелени.

Последний прилавок кухонной зелени представляет своего рода переход к более характерным душистым травам; они обычно скорее акценты, чем основные ингредиенты. На нем темно-зеленые листья двух членов семейства бурачниковых, включающего цветущий гелиотроп (см. с. 199). Оба поразительно пахнут, как сырые устрицы! Один — сам **бурачник**, обитатель средиземноморских регионов, дающий как ароматические листья, так и маленькие сине-фиолетовые цветочки; другой — **мертензия приморская**, вид-собрать мертензии виргинской, распространенный во всем Северном полушарии. Их сходность с устрицами и огурцами обусловлена общими летучими коктейлями, где-то десятком альдегидов и спиртов длиной от восьми до десяти атомов углерода, вдобавок к характерным летучим молекулам зеленой листы.

КУХОННЫЕ ДУШИСТЫЕ ТРАВЫ: ЗНАКОМСТВО С МЯТНЫМ СЕМЕЙСТВОМ

Пока мы уходим прочь от рыночных прилавков кухонной зелени по направлению к душистым травам, мы подходим к столу с несколькими шлемами виртуальной реальности. Наденьте один, настройте его и оглянитесь вокруг. То, что вы видите, — почти ослепительная белая протяженность расколотых камней, простирающихся до горизонта: грубых, наваленных в кучи и редко покрытых кустарниками с гибкими и крепкими стеблями. Это симуляция родины средиземноморского мятного семейства (и лаврового дерева, дающего благородные листья, см. с. 170). Хотя мяты, тимьян, розмарин и их кузены процветают в хорошо ухоженных садах и на фермах, они развили свои характерные сильные запахи как средство выживания на своей родине.

Когда их лелеют в цивилизации, они склонны понижать свою защиту и становиться чуть менее самими собой. Чтобы оценить их по полной, вам надо знать, откуда они пришли.

За годы мне выпало несколько шансов пройтись по некультивированным известняковым территориям Средиземноморья, возле Минервуа в Южной Франции, в Апулии в Южной Италии, возле Эриче в Сицилии, на Крите и в предгорье горы Олимп. Засушливые территории этих местностей называются *garrigue*, *gariga* и *phrygana* по-французски, по-итальянски и по-гречески; более влажные территории — *maquis* или *macchia*. Во всех них я узнал, сорвал и попробовал на вкус многие из душистых трав, традиционно ароматизирующих наши рагу, мясные блюда, заправки и сладости, придающих запах нашим саше и мылу.

Тимьян, орегано, шалфей, чабер, розмарин, лаванда и мяты — все члены одного мятного семейства — и все еще дико растут в своем родном месте обитания. Что становится ясно, когда вы видите их там, так это то, что многие — легкие жертвы, удобные мишени, очевидные образцы зеленого цвета на белом известняковом полотне, как креозотовые кусты в американской пустыне (см. с. 175). Эти растения наверняка будут пожеваны. Они особенно открыты в гариге, порой вырастая всего лишь из трещины в камне, без почвы или соседних растений, которые могли бы обеспечить их хоть чуточкой камуфляжа и спрятать от голодных улиток, насекомых, кроликов, козлов. Чтобы иметь шанс выжить достаточно долго и выработать семена, они вынуждены делать себя как можно более неаппетитными.

Они делают это, заряжая свои маленькие жесткие листья химическими средствами защиты, в основном терпеноидами, дополняющими базовые летучие молекулы зеленой листы. Чтобы осознать их мощь, попробуйте то, что я сделал во время своего первого визита в гаригу*: притворитесь кузнечиком или

* Гарига — вечнозеленые низкорослые кустарники и травы, которые растут на каменистых участках Средиземноморья.

кроликом и пожуйте побег тимьяна или розмарина. Жжется! Биологи обнаружили, что их летучие молекулы отпугивают как соперников, так и хищников. Когда эти неряшливые растения сбрасывают листья или попадают под дождь в начале вегетационного периода, некоторые из летучих молекул попадают в почву и не дают семенам других растений — и порой своим собственным — расти там и потреблять скудную воду и минералы.

Теперь, поскольку в нашем распоряжении есть виртуальная реальность, активируйте голосовой контроль шлема и произнесите командное словосочетание «бутон розы». Сцена меняется с каменистой гариги на весенне-зеленый фон, ошетилившийся зарослями полупрозрачных стеблей, каждый увенчан чем-то, похожим на крошечную каплю. Это микроскопический вид пушистых бутонов моховой розы, которые мы потрогали в конце предыдущей главы. Затем снова активируйте голосовой контроль и скажите «розмарин». Детальный вид бутонов розы исчезает и уступает место более темно-зеленой сцене с похожими, но более щетинистыми отростками. Разумеется, это детальный вид листа розмарина. Как и моховая роза, розмарин и другие члены мятного семейства синтезируют и запасают защитные терпеноиды в крошечных железах, торчащих на поверхностях растений. Эти железы придают растениям матовый, пушистый или волосистый вид, и они ломаются и высвобождают свое содержимое, даже когда растение лишь едва заденут, а не в действительности вгрызутся в него. Они — первая линия устрашения, способная предотвратить нанесение еще большего вреда. Летучие молекулы зеленой листвы, напротив, вырабатываются только тогда, когда повреждается сама ткань листа.

Это разделение летучих средств защиты мятного семейства позволяет барменам придавать мятный аромат напиткам без характерной зеленой листовости. Вместо того чтобы толочь мятные листья барным пестиком, они легонько хлопают по ним распрямленными ладонями, высвобождая только терпено-

иды. Поскольку в результате хлопанья часть терпеноидов остается на руках, куда более эффективный способ, хоть и менее показушный, — потереть друг о друга две нижние поверхности листьев (на нижних поверхностях больше желез) и бросить их оба в напиток.

Пришло время снять шлем виртуальной реальности, вернуться к нашему низкотехнологичному воображаемому рынку и познакомиться с мятным семейством. Поскольку именно их заранее сформированные железистые летучие молекулы и отличают эти душистые травы от других листовых растений, я упрощу таблицы ниже, опуская упоминание вездесущих летучих молекул зеленой листвы.

ОСНОВНОЙ НАБОР ДУШИСТЫХ ТРАВ МЯТНОГО СЕМЕЙСТВА

На первом прилавке душистых трав представлены только три кучки. Это самые знакомые виды рода *Mentha*, сами мяты, давшие имя семейству, включающему почти триста других родов. Мяты — нетипичные душистые травы мятного семейства, потому что они растут в большей части Северного полушария и предпочитают более влажные маквис и подобные места обитания гариге. Они вносят две знаковых летучих молекулы и их запахи в нашу повседневную жизнь. Ментол, свежий, охлаждающий и мятный, — терпеноид, ароматизирующий бесчисленные сласти и продукты личной гигиены еще с конца девятнадцатого века. Он изобилует в двух видах: **мяте полевой**, выращиваемой в промышленном масштабе для изготовления натурального ментола, и **мяте перечной**, естественно возникшем гибриде двух родителей, запах которых совсем не похож на его собственный. Рядом с пучком мяты перечной лежит кучкой один из этих самых родителей. **Мята колосистая** — излюбленный кулинарный ингредиент в восточных средиземноморских регионах и источник характерного аромата и вкусовых добавок, названных в честь него, вырабатываемый специфическим и встречающимся мало где еще терпеноидом, мятным

Некоторые распространенные мятные виды

Душистая трава	Составляющие запахи	Молекулы
полевая/ментоловая мята (<i>Mentha arvensis</i>)	охлаждающий, мятный, свежий	ментол, ментон
перечная мята (<i>Mentha x piperita</i>)	охлаждающий, мятный, свежий, землистый	ментол, ментон, ментилацетат, ментофуран
колосистая мята (<i>Mentha spicata</i>)	пряно-мятный, травянистый, огурец, печеное яблоко	мятный карвон, дигидрокарвон и дигидрокарвонацетат, эвкалиптол, нонадиеналь, дамасценон

карвоном. Молекула, представляющая собой его зеркальное отражение, — тминный карвон, и я часто замечаю намек на тминный аромат в листьях мяты колосистой.

Следующий рыночный прилавок заполнен множеством душистых трав мятного семейства, обитателей засушливых территорий гариги от Средиземноморья до Центральной Азии. Возможно, по этой причине они необычайно хорошо сохраняют свой вкус, когда высушиваются, и обычно настолько ядреные, что их можно применять в кулинарии лишь в

малых количествах. Менее известная близкая родственница *Menthas*, **пахучка котовникова**, имеет агрессивную мятную характеристику из-за сильного смолистого терпеноида пулегона. Несколько более знакомых средиземноморских душистых трав обладают сходной знаковой характеристикой — медицинским, смолистым запахом и острым вкусом. Они возникают из-за двух почти что идентичных терпеноидов, тимола и карвакрола, имеющих форму шестиуглеродного кольца с «украшениями» и близко напоминающих

Некоторые средиземноморские душистые травы из мятного семейства

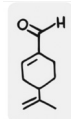
Душистая трава	Составляющие запахи	Молекулы
пахучка котовниковая, душевик (<i>Calamintha nepeta</i>)	резкий, мятный, смолистый, травянистый	пулегон, ментон, пиперитенон, ментол
тимьян (<i>Thymus vulgaris</i>)	медицинский, смолистый, скипидар, древесный, цветочный	тимол, терпинен, цимен, линалоол
орегано (<i>Origanum vulgare</i>)	медицинский, смолистый, древесный, скипидар	преобладающий карвакрол или тимол, цимен, терпинен
чабер садовый (<i>Satureja hortensis</i>)	медицинский, смолистый, скипидар, древесный, зеленый	карвакрол, терпинен, цимен, мирцен
чабер горный (<i>Satureja montana</i>)	медицинский, смолистый, древесный, скипидар	тимол, цимен, терпинен, карвакрол
майоран (<i>Origanum majorana</i>)	древесный, сосна, цитрус, черный перец	терпиненол, сабинен, ротундон
розмарин (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	эвкалипт, сосна, древесный, камфора	эвкалиптол, пинен, борнеол, камфора
шалфей (<i>Salvia officinalis</i>)	кедр, камфора, свежий, сосна	туйон, камфора, эвкалиптол, пинен
листья лаванды (виды <i>Lavandula</i>)	эвкалипт, камфора, землистый, сосна	эвкалиптол, камфора, борнеол

фенол, чрезвычайно химически активную молекулу, часто применяемую в качестве антисептического и дезинфицирующего средства (см. с. 341). Некоторые ополаскиватели для полости рта включают тимол и карвакрол не потому, что они — приятные летучие молекулы, как мятный ментол, а потому, что они помогают бороться с бактериями, вызывающими зубной кариес и несвежее дыхание. В **тимьяне** и **орегано** преобладают тимол и карвакрол, в то время как более мягкие **чабер садовый** и **чабер горный** смешивают эти молекулы более равномерно с древесными, похожими на скипидар терпеноидами.

Некоторые другие средиземноморские травы привносят хвойный и другие древесные запахи в наши пищу и питье. **Майоран** несет более легкие сосновые нотки вместе с рутенондом, древесным пряным терпеноидом, помогающим определить аромат черного перца. **Розмарин** предоставляет насыщенную, но сбалансированную смесь эвкалипта, сосны и камфоры. **Шалфей** подчеркивает кедровую нотку терпеноида туйона поверх сходной смеси. Листья **лаванды**, очень отличные от цветов (см. с. 192), и произведенные из них лавандовые ароматы смешивают свежие эвкалиптовую и камфорную нотки с древесным борнеолом.

Теперь перейдите к прилавку с всего лишь четырьмя кучками: это более дальние члены мятного семейства. Хотя мы обычно

ассоциируем его с Италией, обыкновенный **базилик** возник в Азии и лишь позже нашел второй дом в летних садах вокруг средиземноморских регионов. Он смешивает терпеноидные и бензоидные летучие молекулы и обладает запахами, напоминающими анис, гвоздику и корицу. **Перилла**, азиатская пряность, которая известна в Японии как **сисо** и которую можно непременно повстречать в суши-баре, имеет такую же мягкую, освежающую характеристику, как и мяты, но с характерным качеством модифицированных терпеноидов, **периллового альдегида** и **перилловых кетонов**, не встречающихся больше нигде в семействе.



Как и предполагает его название, **лофант анисовый** пахнет анисом; его родина — равнины на севере Северной Америки. И последний пример, не столько кулинарный, сколько исторический: низкий, разрастающийся **чабер Дугласа**, *yerba buena* («хорошая душистая трава») из влажных прибрежных лесов Калифорнии и Тихоокеанского Северо-Запада дал свое название испанскому поселению в округе Миссион-Долорес, позже ставшем известным как Сан-Франциско. Он смешивает медицинскую и охлаждающую камфору с мятными терпеноидами.

На этих трех последних рыночных прилавках представлено довольно-таки широкое разнообразие запахов: мятных, медицинских,

Некоторые азиатские и американские душистые травы из мятного семейства

Растение	Составляющие запахи	Молекулы
базилик (<i>Ocimum basilicum</i>)	более-менее преобладающие тархун/анис/гвоздика, цветочный	эстрагол*, эвгенол, линалоол
перилла, сисо (<i>Perilla frutescens</i>)	перилла, мятный, цитрус	метадиеналь (перилловый альдегид), перилловые кетоны (C_{10} фурановые кольца)
лофант анисовый (<i>Agastache foeniculum</i>)	анис, тархун, древесный	эстрагол, кадинен, лимонен, кариофиллен
чабер Дугласа (<i>Clinopodium douglasii</i>)	камфора, мятный, едкий	камфора и камфен, иногда + пулегон или мятный карвон или изоментон

* В русскоязычной литературе более известен как метилхавикол.

древесных и пряных. Очевидно, что мятное семейство — сборище летучих виртуозов. Многие вырабатывают необычно разнообразные терпеноиды и бензоиды, вероятно, чтобы они могли точно настроить свои летучие коктейли и приспособиться к конкретным местным микробам или животным-пожирателям в дикой природе. Это значит, что индивидуальные растения могут обладать очень разными запахами в природе, в саду и на ферме: есть много версий «мяты», «тимьяна» и «базиллика», которые можно исследовать.

Чтобы дать возможность хоть немножко попробовать это разнообразие, каждый из следующих трех прилавков посвящен одной из этих душистых трав и предлагает образцы различных запахов, которыми она может обладать. Если вы фанат итальянского макаронного соуса песто по-генуэзски, базиликовый прилавок может стать откровением.

ЛЕТУЧИЕ ВАРИАЦИИ В МЯТАХ И ТИМЬЯНАХ

Первый прилавок посвящен самим мятам. Колосистая мята и перечная мята — в числе наших самых знакомых душистых трав, но есть более десятка других видов. Колосистая

мята — каноническая культивируемая мята восточных средиземноморских регионов, где она много применяется в кулинарии и в качестве чая, и в других местах это стандартная гарнирная мята. Но есть популяции колосистой мяты, все еще растущие в дикой природе в греческой сельской местности, и у них могут быть очень разные запахи, цветочные или похожие на камфору или перечную мяту. Сама перечная мята, с ее высоким уровнем охлаждающего терпеноида ментола, — это гибрид колосистой мяты и нетипичной прокислой/древесной **мяты водной**. Одна конкретная разновидность водной мяты куда приятней, чем другие: различно называемая **лимонная мята**, или же бергамотовая, лавандовая или одеколонная мята, тоже не особо-то мятная, но она содержит цветочный линалоол и его ацетатный эфир, два терпеноида, действительно содержащихся в лимоне, бергамоте и лаванде. Вид, известный как **мята болотная**, впал в немилость из-за беспокойства по поводу его токсичности; его сильный мятно-смолистый терпеноид пулегон известен как эффективный пестицид. А странно названная **мята яблочная** смешивает запахи болотной и колосистой мят.

Некоторые необычные мяты

Мятный вид	Составляющие запахи	Молекулы
дикие греческие мяты (<i>Mentha spicata</i>)	колосистая мята цветочный/цитрусовый мятный/камфорный перечная мята/камфора/ серный	мятный карвон + дигидрокарвон линалоол пиперитон + оксиды пиперитенона ментон + изоментон + пулегон
водная мята (<i>M. aquatica</i>)	прокислый, землистый, эвкалипт, древесный	ментофуран, эвкалиптол, оцимен, лимонен, кариофиллен
лимонная/бергамотовая/ лавандовая/одеколонная мята (<i>M. aquatica</i> разн. <i>citrata</i>)	цветочный, цитрус, фруктовый, свежий	линалоол, линалиацетат, эвкалиптол, мирцен
мята болотная (<i>M. pulegium</i>)	мятно-смолистый, резкий, свежий	пулегон, ментон, ментол
яблочная/душистая мята (<i>M. suaveolens</i>)	мятно-смолистый, колосистая мята, камфора	пулегон, мятный карвон, оксид пиперитона

Теперь к тимьяновому прилавку. Обычный садовый тимьян обладает очень конкретным характером в западной кулинарии благодаря его основной и несколько медицинкой летучей молекуле тимолу, но он пришел в сад из средиземноморской гариги, и, как и греческие колосистые мяты, его все еще дикие братья и сестры выражают разнообразие других характеров. Исследования популяций тимьяна в сельской местности Южной Франции выявили группы, разнообразно пахнущие как помесь камфоры и мяты, как сосновая смола, как эвкалипт, как цветы лаванды и как розы — все благодаря различным терпеноидным коктейлям. Несомненно, некоторых из них стоит принести в сад! Два других вида-собрата уже туда попали. **Лимонный тимьян** вырабатывает истинно лимонные терпеноиды нераль и гераниаль и, таким образом, обладает более подлинным лимонным характером, чем лимонная мята. Некоторые штаммы **тминного тимьяна** пахнут как тминные семена благодаря их выработке терпеноида карвона, другие склоняются в мятность с дериватом мятного карвона, и еще полдюжины предлагают другие вариации тимьяновой темы.

ВАРИАЦИИ БАЗИЛИКА, В ЧАСТНОСТИ ПЕСТО

Этот последний прилавок вариаций мятного семейства до краев заполнен десятью разными версиями базилика. В то время как потенциал для различных ароматов в мяте и тимьяне остается в основном в дикой природе, разнообразие базилика уже хорошо представлено в культивированных формах. Род базилика произошел из Азии и Африки, и он необычен в мятном семействе из-за выработки как терпеноидных, так и бензоидных летучих молекул, наиболее часто — похожего на гвоздику эвгенола или похожего на тархун/анис эстрагола. Индийский **священный базилик**, **тайский базилик** и **африканский базилик** — разные виды рода *Ocimum*, легко доступные как садовые растения и в которых соответственно преобладают запахи гвоздики, аниса и тимьяна (африканский базилик — одно из редких нетимьяновых растений, вырабатывающих тимол). Наиболее популярные на Западе базилики — разновидности *Ocimum basilicum*, вида, включающего тайский базилик. Похоже, его привезли из Азии в Средиземноморье арабские торговцы, и он был культивирован в Испании во время Мавританского периода примерно

Некоторые необычные тимьяны

Тимьяновый вид	Составляющие запахи	Молекулы
дикие тимьяны, Южная Франция (<i>Thymus vulgaris</i>)	медицинский, смолистый, скипидар, древесный	тимол или карвакрол, терпинен, цимен
	мятный, скипидар, камфора	туйанол, терпиненол, мирценол
	сосна, цветочный, лайм	терпинеол, терпинилацетат
	эвкалипт, мятный, цветочный	эвкалиптол, туйанол, линалоол
	цветочный, лаванда	линалоол, линалилацетат
лимонный тимьян (<i>T. citriodorus</i> или <i>pulegioides</i>)	цветочный, роза цветочный, лимон	гераниол, геранилацетат гераниол, гераниаль, нераль
тминный тимьян (<i>T. herba-barona</i>)	тмин, мятный	тминный карвон, дигидрокарвон (2 из 8 типов)

девятью лет назад. Впоследствии европейские и американские энтузиасты вывели много очень отличающихся разновидностей. Среди них — **мексиканский** или **коричный базилик**, с коричневыми и фруктовыми нотками от бензойдов циннамов; **лимонный базилик**, гибрид, вырабатывающий лимонные терпеноиды; и **африканский голубой базилик**, медицинский гибрид, вырабатывающий камфору. Крупнолистные разновидности **лохматого** или **латукового базилика** сильно пахнут тархуном и анисом.

Разновидности **стандартного базилика** на Западе сегодня вырабатывают в основном различные пропорции парочки терпеноидов, цветочного линалоола и свежего эвкалиптола и пахнущих гвоздикой и анисом бензойдов эвгенола и эстрагола. Но когда дело касается блюда, в котором базилик играет главную роль — песто по-генуэзски, лигурского макаронного соуса из толченого базилика, чеснока, орехов и сыра, — итальянцы более разборчивы.

Европейское сообщество удостоило Защищенным обозначением происхождения разновидность базилика *Ocimum basilicum* сорта *Genovese gigante*, также известного как *basilico genovese*, поскольку он обладает специфическим запахом, обусловленным специфическим набором летучих молекул, который считается соответствующим для песто по-генуэзски. Этот летучий набор исключает эстрагол и акцентирует цветочный линалоол. Как выразились разводчики растений из Болонского университета, эстрагол придает «типичный мятный/анисовый вкус, считающийся аномальным и, таким образом, нежеланным в *Genovese*, а также неудобным итальянским потребителям». Так что, если вы приверженец генуэзской аутентичности, понюхайте базилик, прежде чем покупать!

Другое направление исследований подтвердило, что летучий состав базилика изменяется по мере того, как индивидуальные листья и целые растения растут и развива-

Некоторые разновидности базилика

Базиликовая разновидность	Составляющие запахи	Молекулы
священный, туласи (<i>Ocimum tenuiflorum</i>)	гвоздика или корица + гвоздика	высокий эвгенол или метилэвгенол
африканский, гвоздичный (<i>O. gratissimum</i>)	тимьян или гвоздика	высокий тимол или эвгенол
тайский (<i>O. basilicum</i> разн. <i>thyrsiflora</i>)	тархун, анис	высокий эстрагол
мексиканский, коричный (<i>O. basilicum</i>)	фруктовый, клубника, корица	высокий метилциннамат
лимонный или сладкий Дани (<i>Ocimum x citriodora</i>)	лимонный, цветочный	высокие нераль и гераниаль
африканский голубой (<i>O. basilicum</i> Темный Опол x <i>O. kilimandsharicum</i>)	камфора, медицинский	высокая камфора
лохматый; анисовые типы (<i>O. basilicum</i>)	тархун, анис	высокий эстрагол
стандартный; мелколистные кустовые типы (<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>O. minimum</i>)	цветочный, эвкалипт, гвоздика, тархун	линалоол, эвкалиптол, эвгенол, эстрагол
генуэзские типы (<i>O. basilicum</i> сорт <i>Genovese gigante</i>)	цветочный, эвкалипт, гвоздика	линалоол, эвкалиптол, эвгенол

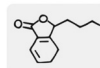
ются. У молодых листьев более высокая пропорция пахучих желез, чем зеленой ткани, и больше летучих молекул в этих железах (они постепенно теряют летучие молекулы из-за испарения). Более того, листья на молодых растениях синтезируют свои летучие молекулы в отличных пропорциях, чем новые листья на взрослых растениях. Стандартная итальянская практика для песто-базилика — собирать целые генуэзские растения, пока они все еще достаточно молодые, спустя всего лишь несколько недель роста и только с тремя наборами листьев.

КУХОННЫЕ ДУШИСТЫЕ ТРАВЫ: СЕЛЬДЕРЕЙНОЕ СЕМЕЙСТВО

После шести прилавков, посвященных многогранному мятному семейству, мы подходим к одиночному накрытому столу душистых трав сельдерейного семейства. Они не столь многочисленны и не столь виртуозны, но, возможно, более широко пригодные. Вдобавок к своему тезке популярные члены сельдерейного семейства включают кориандр, укроп, фенхель и петрушку — все они родом из умеренного пояса Евразии. Семейное сходство проявляется в их общем предпочтении влажных почв, более прямого характера роста, чем у прижимающихся к земле мят, крохотных цветочков, высоко удерживаемых на пышных «зонтиках», и короткой продолжительности жизни, обычно один или два года. Они запасают свои летучие молекулы в трубковидных каналах, проходящих через их листья и стебли, а не в поверхностных волосках, и большинство из них заполняют свои каналы больше бензоидами или простыми цепочками, чем терпеноидами. Определяющие запахи самого сельдерея и пары других членов семейства возникают из-за необычных летучих молекул, сплавляющих модифицированное бензольное кольцо с содержащим кислород фурановым кольцом. Виды сельдерейного семейства имеют довольно-таки закреплен-

ные летучие характеры и, таким образом, являются более предсказуемыми ингредиентами, чем базилики и мяты.

Аромат **сельдерея** возникает из-за нескольких характерных бензофурановых гибридных молекул под названием **фталиды**^{*}, в особенности из-за **седаненолида**. Летучие молекулы зеленой листвы важны в листьях, но менее важны в толстых стеблях, которые достаточно питательны, чтобы служить в качестве овощей.



Вместе с морковью и членами чесночного семейства сельдерей классифицируется как ароматический овощ, используемый для ароматизации блюд, а также как основной ингредиент. Когда его готовят, его аромат радикально изменяется, развивая сладко пахнущий пажитником фуранон сотолон и цветочные терпеноидные фрагменты (см. с. 404). **Любисток аптечный** куда менее распространен, чем сельдерей, но порой выращивается как более листовое, более похожее на душистую траву подобие; он тоже запасает разновидность фталида, но также несколько цветочных, сосновых терпеноидов. **Укроп**, как и сельдерей, удостоенный видового названия *graveolens*, или «пахучий», получает свой очень характерный аромат от еще одного отличного бензофурана, названного **укропным эфиром**, в партнерстве с терпеноидом фелландреном; у него также есть ощутимая тминная нотка от терпеноида карвона.

Несколько душистых трав в сельдерейном семействе имеют общие важные летучие молекулы и, таким образом, могут напоминать друг друга. Крепкое, с похожими на перья листьями, высотой в ярд растение **фенхель** имеет сильный, сладкий, анисовый запах от двух сходно пахнущих бензоидов, анетол и эстрагола, сбалансированных свежим цитрусовым лимоненом. Хрупкий **кервель ажурный**, высотой с ладонь и разрастающийся, предлагает менее уловимую анисовую характеристику с низким уровнем только одного эстрагола. Евразийский коренной

* Группа соединений, включающих в своем составе молекулу.

Некоторые душистые травы из сельдерейного семейства

Растение	Составляющие запахи	Молекулы
сельдерей (<i>Apium graveolens</i>)	сельдерей, сладкий, зеленый, древесный	фталиды (бензофураноны), GLVs, мирцен, миристицин
любисток аптечный (<i>Levisticum officinale</i>)	цветочный, сельдерей, сосна, травяной	терпинилацетат, лигустилаид (бензофуранон), фелландрен
укроп (<i>Anethum graveolens</i>)	укроп, тмин, свежий, мятный	фелландрен, укропный эфир (C ₁₀ фуран), тминный карвон, миристицин
фенхель (<i>Foeniculum vulgare</i>)	анис, тархун, мятный, цитрусово-свежий	анетол, лимонен, эстрагол, фелландрен, фенхон
кервель ажурный (<i>Anthriscus cerefolium</i>)	тархун, гвоздика, цитрус	эстрагол, метилэвгенол, лимонен
кинза, кориандр (<i>Coriandrum sativum</i>)	кориандр, мыльный, восковой, дыня, сено	додеценоль, деценоли, деканаль (в семенах в основном линалоол)
синеголовник пахучий, эрингиум пахучий (<i>Eryngium foetidum</i>)	кориандр, мыльный, прокислый, восковой, зеленый, едкий	додеценоли, додеканаль
петрушка (<i>Petroselinum crispum</i>)	древесный, зеленый, металлический, земляистый, мускатный орех	ментатриен, мирцен, метоксипиразин, миристицин, деценоль

обитатель с отдельными листьями, **кинза**, также известная как **кориандр**, в основном определяется десяти- и двенадцатуглеродными альдегидами, как и жесткий коренной обитатель Нового Света с похожими на полоски листьями, **синеголовник пахучий**, вероятно, получивший свое испанское название *culantro* из-за ароматического сходства с кинзой (*cilantro*). (У семян кориандра совсем иной набор летучих молекул, см. с. 233.)

Кинза и синеголовник очень популярны в большей части мира, в частности в Южной Азии и Мексике, но в других местах их презирует значительное и открыто высказывающее свое мнение количество людей. Ранний английский ботаник Неемия Грю писал, что листья кориандра «воняют так гнусно, что их едва можно выносить», и современные ненавистники часто описывают их вкус как «мыльный». Это различие во вкусе, вероятно, обусловлено генетическими различиями в чувствительности к летучим молекулам, культурными различиями взаимодействия с

ними, а также их необычной природой. Они ни терпеноиды, ни бензоиды, а обычные летучие молекулы душистых трав, поэтому они не напоминают моментально ароматические растения. Вместо этого эти альдегиды часто встречаются в повседневной жизни как продукты расщепления липидов с длинной цепью в мыле и косметических средствах: материалах, которые несъедобны и тошнотворны. Они также испускаются различными насекомыми, включая щитников. Неудивительно, что к ним надо сперва привыкнуть! К счастью для людей, не любящих кинзу, и к несчастью для ее любителей, альдегиды от природы — химически активные молекулы, поэтому они исчезают вскоре после того, как они высвобождаются толчением или готовкой. Совет для садоводов: содержание альдегидов в растениях кинзы повышается по ходу того, как они развиваются, поэтому листья пахнут мягче всего перед тем, как появятся цветочные почки, и сильнее всего, пока зреют маленькие зеленые плоды.

Последний пучок душистых трав сельдерейного семейства лежит чуть отдельно от остальных, чтобы подчеркнуть его особое видное положение в западной кулинарии. **Петрушка** появляется во многих блюдах, потому что ее темно-зеленый цвет приятен глазу, а ее листья крепкие и переносят резку и жарку. Она также популярна, потому что ее запах выделяется среди растительных запахов, которые мы выбираем, чтобы добавить аромат нашим продуктам. Он ярко выраженный и в то же время характерный: зеленое, свежее, древесное качество, которое может придать желанный и ненавязчивый акцент почти любому пресному блюду независимо от того, какие другие душистые травы и пряности оно может содержать. Это качество создается разнообразной смесью терпеноидов, бензоидов, альдегидов с простой цепью и содержащих азот пиразиннов, летучий коктейль, как подкрепляющий защитную работу летучих молекул зеленой листвы, так и сцепляющийся с их зелеными запахами.

КУХОННЫЕ ДУШИСТЫЕ ТРАВЫ: АСТРОВОЕ СЕМЕЙСТВО

Теперь мы переходим к последнему прилавку, посвященному душистым травам отдельного растительного семейства. Это астровое

семейство, родственники зелено-овощных полыней, сильно пахнущих хризантем и чернобельников (см. с. 205). Из пяти пучков душистых трав только один вообще знаком, и это полынная абберрация, пахнущая совсем не так, как другие. **Тархун** обладает свежим анисовым запахом, обусловленным в основном бензоидом эстраголом с некоторой поддержкой другого бензоида,пряного метилэвгенола. Вид рода *Artemisia*, дающий нам тархун, растет по всему Северному полушарию и зачастую обладает слабым или никаким запахом; кулинарная душистая трава — конкретный подвид.

Полынь больше в основном направлении *Artemisia* евроазиатское растение, богатое древесными и скипидарными терпеноидами, включая кедрово-шалфейный туйон. Она слишком горькая для применения в готовке, но ценилась в традиционных видах медицины как средство против заражения паразитическими червями, отсюда ее английское название wormwood (червячное дерево), в свою очередь давшее имя настоящему на травах вину под названием вермут (через немецкую форму *Wermut*). Полынь остается важным ингредиентом в некоторых сортах вермута и дистиллированном спиртном напитке абсенте.

Несмотря на название, предполагающее индийское происхождение (см. лист карри

Некоторые душистые травы из астрового семейства

Растение	Составляющие запахи	Молекулы
французский тархун (<i>Artemisia dracunculus</i> разн. <i>sativa</i>)	анис, гвоздика, зеленый, древесный	эстрагол, метилэвгенол, оцимен, терпинолен
полынь (<i>Artemisia absinthium</i>)	смолистый, шалфей, кедр, древесный, сосна	мирцен, туйоны, сабинен, пинен
растение карри (<i>Helichrysum italicum</i>)	сосна, роза, кедр, тимьян, фруктовый, лаванда	пинен, нерилацетат, цедрен, тимол, эфиры пентаноата, бергамотен
перикон, испанский или техасский тархун (<i>Tagetes lucida</i>)	анис, травянистый, смолистый, древесный	эстрагол, мирцен, гермакрен
хуакатай, анисилло (<i>Tagetes minuta</i>)	свежий, мятный, древесный, растворитель	лимонен, пиперитенон, терпинолен, тагетон, оцименон

на с. 219), **растение карри** (**цмин итальянский**) — средиземноморский кузен полыни и тархуна со смесью терпеноидов, которая по загадочной случайности подобна запаху основной смеси пряностей многих индийских блюд. К несчастью, эта смесь быстро исчезает от жара в процессе готовки.

Две другие душистые травы из астрового семейства — американские растения, оба вида из рода календулы *Tagetes*. **Перикон**, или **испанский тархун**, родом из Мексики и Центральной Америки, — точное подобие истинного тархуна, с его преобладающим бензойдом эстраголом и поддерживающими древесными терпеноидами. **Хуакатай**, или **мексиканский чай**, родом из Южной Америки, обладает своей собственной уникальной смесью терпеноидов, свежих и похожих на мяту, но в сопровождении медицинского тагетона, характерного для календулы.

ДРУГИЕ ДУШИСТЫЕ ТРАВЫ ИЗ АМЕРИКИ И АЗИИ

Это удивительно, что несколько десятков душистых трав, которые мы пока что попробовали, происходят всего лишь из трех из более четырехсот семейств цветущих растений и в основном из Европы и Западной Азии. Последние три прилавка душистых трав на нашем рынке демонстрируют набор из остального царства растений: одна группа из Америки, одна из Восточной Азии, и самая

последняя — горстка растений, давным-давно распространившихся по всему Северному полушарию.

На нашем первом прилавке лежит парочка растущих в Новом Свете двойников евроазиатских душистых трав, а также парочка более уникальных вкладов. Растение, известное как **мексиканский орегано**, занимает территорию от Юго-Западных Соединенных Штатов до Центральной Америки, и оно на самом деле действительно накапливает как карвакрол, так и тимол, медицинские терпеноиды, содержащиеся в орегано и тимьяне. Листья **лимонной вербены**, древесного кустарника родом из южных регионов Южной Америки, содержат такие же определяющие лимон терпеноиды, как и лимонный тимьян и лимонный базилик.

Куда более необычна **марь амброзиевидная**, английское название которой *epazote* — испанская версия ацтекского слова, обозначающего «скупсовый пот». Это сорное растение из амарантового семейства, также включающего марь вонючую (см. с. 175), и его запах похож на керосин из-за необычного терпеноида, **аскаридола**, название которого обусловлено его способностью убивать глистов-аскаридов.



Марь амброзиевидная — важная душистая трава в мексиканской кулинарии, в особенности в бобовых блюдах, а также в народной медицине. *Noja santa*, «священный лист», происходит от растуще-

Некоторые душистые травы из Америки

Растение	Составляющие запахи	Молекулы
мексиканский орегано, орегано симмарон (<i>Lippia graveolens</i>)	тимьян, орегано, свежий	тимол, карвакрол, цимен, эвкалиптол
лимонная вербена, цедрон (<i>Aloysia citrodora</i>)	лимон, цитрус, зеленый	гераниаль, нераль, лимонен, метилгептенон
марь амброзиевидная (<i>Dysphania ambrosioides</i>)	керосин, сосна, скипидар	аскаридол, пинен, мирцен, терпинен
hoja santa (<i>Piper auritum</i>)	теплый, пряный, анис, сосна	сафрол, пинен, терпинен
томатный лист (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	зеленый, цитрус, скипидар, камфора, эвкалипт, гвоздика	GLVs, лимонен, фелландрен, кариофиллен, эвкалиптол, эвгенол

го в Новом Свете вида — собрата черного перца из Старого Света. Его крупные листья в форме сердца используются для заворачивания различных продуктов перед готовкой и передают им ароматическую, почти что анисовую теплоту сафрала (см. с. 157).

Другой характерный ароматический обитатель Латинской Америки — вьющееся растение **томат**, чья волосистая листва оставляет сильный запах на коже и одежде, задевшей ее. Плоды томата любят во всем мире, но про листья долгое время считали, что они содержат токсичные алкалоиды. Недавние исследования продемонстрировали, что их алкалоиды не только не токсичны, но, возможно, даже полезны. Богатые летучими молекулами листья предлагают еще одну вариацию на зеленую и терпеноидную темы, с химическо-медицинской смесью скипидарной, камфорной и эвкалиптовой ноток и оттенком гвоздичного бензоида эвгенола. Они могут добавить другое измерение, когда их в последнюю минуту добавляют в соусы, сделанные из томатных плодов.

Теперь мы переходим к следующему прилавку и группе из шести восточноазиатских душистых трав, очень различных по форме и вкусу. Первые две сильно цитрусо-

вые. Волокнистая основа и длинные листья **лимонника** одарены истинно лимонными терпеноидами нералем и гераниалем вместе с оттенками сосны и лаванды. **Лист папеды ежеиглистой, или каффир-лайма**, происходит от маленького цитрусового дерева, возможно входящего в число предков деревьев, приносящих нам плоды лайма (см. с. 262). Его листья имеют сильные зеленую, цитрусовую и похожую на розу цветочную характеристики из-за терпеноидов цитронеллала и цитронеллола, названных в честь цитронеллового масла, экстракта вида — собрата лимонника (см. с. 366). В листе папеды нет специфически лимонных терпеноидов, поэтому он и лимонник похожи, но в то же время различны. Они часто смешиваются в тайских блюдах, дополняя друг друга своими по большей части непересекающимися наборами терпеноидов. Более мягко цитрусовые — **листья киноме (сансё)**, нежные новые листья дерева их семейства цитрусовых, дающего нам щекочущий японский перец сансё (см. с. 237). Когда листья толкуются, в них преобладают GLVs и травяной аромат; когда по ним резко хлопнут, но оставят целыми для гарнира, то терпеноиды более очевидны.

Некоторые душистые травы из Восточной Азии

Растение	Составляющие запахи	Молекулы
лимонник (<i>Cymbopogon citratus</i>)	лимон, зеленый, лаванда	нераль, гераниаль, мирцен, линалилацетат
папеда ежеиглистая, каффир-лайм (<i>Citrus hystrix</i>)	цитронелла, лимон, цветочный, роза, древесный	цитронеллаль, линалоол, цитронеллол, гераниол, пинен, кариофиллен
лист киноме, сансё (<i>Zanthoxylum piperitum</i>)	сосна, цитрус, древесный, цветочный	пинен, лимонен, фелландрен, цитронеллол
горец ароматный, вьетнамский кориандр/мята, растение лакса (<i>Persicaria odorata</i>)	зеленый, мыльный, цитрус, едкий, металлический	GLVs, додеканаль, деканаль, ундеканаль, октадиенон
лист карри (<i>Murraya</i> or <i>Bergera koenigii</i>)	серный, смола, цитрусово-цветочный, сосна, эвкалипт	фенилэтанэтиол, пинен, линалоол, эвкалиптол
лист пандана (<i>Pandanus amaryllifolius</i>)	рис басмати, попкорн, сладкий, карамельный, фруктовый, цветочный	GLVs, ацетилпирролин, этилсотолон (кленовый фуранон), нонаналь

Запах **горца ароматного**, или **вьетнамского кориандра**, стелющегося сорного растения из семейства гречишных, и в самом деле очень близок к листьям кориандра и синеголовнику пахучему из-за общих альдегидов и их характерных свежих, зеленых, мыльных щитникообразных качеств. Более широко приятным, но менее знакомым вкусом, ореховым и древесным, обладает **лист карри**, обычно используемый в качестве быстро поджаренного гарнира к южным индийским блюдам. Он растет на маленьком дереве из обширного цитрусового семейства, хотя само оно не является истинным цитрусовым видом. Лист карри испускает редкую бензоидно-серную летучую молекулу с серной, зажатой/горелой характеристикой, сопровождаемой знакомыми сосновыми, цветочными и эвкалиптовыми терпеноидами. А похожий на лезвие **лист пандана** растет на кустарниковом виде пандана родом из тропической Азии. Он нарушает обычную терпеноидную/бензоидную модель двумя необычными летучими молекулами, одна из них — похожий на карамель фуранон, более типичный для плодов, чем для листьев, другая — содержащий азот ацетилпирролин, слегка прокислый и похожий на сперму, как и его компонент пирролин (см. с. 159, 183), являющийся характерной ноткой разновидностей риса басмати и жасминового и вносящий вклад в запах попкорна. Лист пандана широко применяется в Индии и Восточной Азии для ароматизации рисовых блюд и сладостей.

КОСМОПОЛИТИЧНЫЕ ДУШИСТЫЕ ТРАВЫ

Чтобы завершить наш мировой тур по душистым травам, мы закончим у прилавка всего лишь с тремя растениями, все они широко распространены в Северном полушарии: одно довольно-таки типично встречается на кухне, а другие — нет.

Лук-резанец — родственник лука и чеснока, и его длинные тонкие трубчатые листья предоставляют мягкую версию определяющей семейство серности, когда его режут и посы-

пают им многие блюда. Он больше напоминает лук, в то время как **китайский** или **клубневой лук**, вид с плоскими листьями родом из Азии, куда более чесночный. (Куда больше о луке и чесноке — в следующей главе.)

Различные виды низкой древесной **гаультерии лежачей** или **распростертой**, родственницы клюквы и черники, растут по всей Северной Америке и Азии. Большинство из них заполняют свои маленькие листья и цветы бензоидом метилсалицилатом, характерным запахом грушанки, который проникает не только в настойки на сушеных листьях, но также в жевательные резинки, конфеты, ополаскиватели для полости рта, жидкие мази и бытовые чистящие средства.

Хмель — вьющийся родственник **каннабиса** с видами по всему Северному полушарию. Он концентрирует свои летучие молекулы не в своих основных зеленых листьях, а в богатых терпеноидами железах на листовидных прицветниках, группирующихся вокруг его женских цветков. Хмель стал важен в Средневековье, когда европейские пивовары, типично варившие пиво на основе грюйта, смеси душистых трав, замедлявших порчу, обнаружили, что хмельные «шишки» были эффективны сами по себе и добавляли приятный аромат и горечь. Сегодня есть десятки разновидностей хмеля для ароматизации пива различными коктейлями терпеноидов (гумулен назван в честь рода хмеля), а в некоторых случаях еще и серными летучими молекулами. Они вносят ароматы, которые разнообразно смолистые, цветочные и фруктовые. В разновидностях хмеля из Евразии, как утверждается, преобладает древесный гумулен; из Нового Света — смолистый мирцен.

Разумеется, растительное семейство, включающее хмель, названо в честь каннабиса, или марихуаны, обитателя Центральной Азии и Индии, слава которого имеет мало общего с запахами! Тем не менее ТГК (тетрагидроканнабинол) и другие активные молекулы-каннабиноиды вырабатываются в тех же самых пушистых на вид листовых железах, вырабатывающих защитные летучие молеку-

Некоторые космополитичные душистые травы

Растение	Составляющие запахи	Молекулы
лук-резанец (<i>Allium schoenoprasum</i>); китайский лук-резанец (<i>A. tuberosum</i>)	луковый, древесный; чесночный, цветочный	метил- и пропил- ди- и три-сульфиды, фарнезен; диметил- и алли- ди- и три- и тетра-сульфиды, линалоол
гаультерия лежачая (<i>Gaultheria procumbens</i>)	грушанка, свежий, охлаждающий	метилсалицилат, лимонен, пинен
хмель (<i>Humulus lupulus</i>)	смолистый, древесный, цветочный, фруктовый, черная смородина/кошачья моча, грейпфрут	мирцен, гумулен, кариофиллен, линалоол, серные молекулы (например, метилсульфанилпентанон, сульфанигексанола)

лы, и они строятся из терпеноидных и бензоидных строительных элементов. Сильный терпеноидный запах каннабиса не особо-то ценится в кулинарии, но мы доберемся до него в главе 17.

Здесь кончается наш обзор лиственной зелени и душистых трав, защитные средства которых предоставляют обширный арсенал для поваров, чтобы задействовать его на службе для нашего удовольствия в еде. Разумеется, сырые растительные листья, которые мы едим, также питательны: они предостав-

ляют витамины, минералы, волокно в пищу нашим кишечным микробам, возможно также каких-нибудь полезных микробов, а также антиоксиданты и другие фитохимические вещества, помогающие оптимизировать наш метаболизм. Но не салатом единым жив человек. Другие растительные части куда менее хрупкие, чем листья, и куда более концентрированные источники энергии, белков — они стимулируют защитные механизмы. Вперед к корням, семенам и пряностям.

ГЛАВА 12.

СЪЕДОБНЫЕ КОРНИ И СЕМЕНА: ОСНОВНЫЕ ПРОДУКТЫ И ПРЯНОСТИ

Удивительно, что использование перца стало так популярно. В случае одних широко потребляемых товаров привлекательностью был их сладкий вкус, а других — их внешний вид, но в перце нет ничего, что говорило бы в его пользу. Трудно поверить, что его единственная приятная характеристика — острота и что ради нее мы добираемся до самой Индии! Кто же был первым человеком, охотно попробовавшим добавить его в свою еду или же в своем стремлении к аппетиту не довольствовавшимся просто быть голодным? И перец, и имбирь растут в дикой природе в своих собственных странах, и тем не менее они покупаются по весу, словно золото и серебро.

Плиний, «Естественная история»

Продвигаясь по нашему виртуальному плодовоовощному рынку, мы уходим от прилавков с зелеными листьями к менее яркому виду: грязным серовато-коричневым распухшим корням разных размеров и форм, бесчисленным кучкам орехов и зерен, большим и маленьким. Несмотря на их непритязательную внешность, эти подземные органы и семена входят в число самых ценных растительных материалов, что у нас есть. В то время как одни столь же безвкусные, сколь некрасивые, другие обладают взрывными вкусами и ароматами, это особая притягательность для любого исследователя запахов.

Растительные семена и крахмальные подземные выросты предоставляют некоторые из наиболее питательных продуктов человечеству. Пшеница, рис, кукуруза, кокосы, картофель и сладкий картофель — все концентрированные источники энергии и строительных материалов для тела. Их культивация обусловила первые крупные человеческие поселения и возникновение цивилизаций. Эти основные опоры обычно мало пахнут в сыром виде и остаются мягкими даже в приготовленном, возможно, желательная характеристика для любой пищи, поедаемой в большом количе-

стве. Вообразите зимний завтрак не овсяной, а дымящейся миской каши из зерен черного перца!

Но вон идет черный перец, всего лишь через несколько таблиц после овса: он тоже по большей части семя. Как и зеленые душистые травы из предыдущей главы, зерна черного перца и другие пряности — ароматические растительные материалы, но они высыхают в растении естественным путем или могут быть высушены без потери их насыщенности, и они достаточно хорошо хранятся, чтобы быть предметами торговли между удаленными странами тысячелетия назад — термин специя произошел от латинского слова «товары». Большинство специй — маленькие, похожие на семена высушенные плоды с настоящими семенами внутри (зерна черного перца), но некоторые — подлинны́е семена (горчица), некоторые — корнеобразные (имбирь), некоторые — древесная кора (корица), некоторые — цветочные части (шафран), а некоторые — плодовые стручки (ваниль). В этой главе мы не будем заморачиваться с ботаническими точностями и дискриминацией по органу. Здесь корень, клубень и семя используются точно так же, как в разговорном,

просторечном языке, и на нашем рынке пряностей будут все виды.

История пряностей обширная и увлекательная. В ней идет речь о древних цивилизациях, торговых путях между Африкой и Китаем, через всю территорию материка и островов Юго-Восточной Азии разведывательных экспедициях, возглавляемых Колумбом и Васко да Гамой, последующих исследованиях и набегх европейских морских держав и изменивших мир прорывах географических, биологических и культурных границ. Она затрагивает тысячелетия религиозных практик, медицинских теорий, кулинарных традиций и их взаимного влияния.

В свете всей этой богатой истории риторический вопрос римского естественного историка Плиния звучит узколобо и моралистически: зачем платить баснословные суммы за какое-то раздражение? По факту спустя две тысячи лет он все еще смотрит в корень того, чем по своей сути являются пряности. Нет никакой загадки в ценности поддерживающих жизнь зерен и клубней, но кто же первым приправил еду не притягательной сладостью, а остротой? И почему?

Сегодня мы знаем, что, кем бы они ни были, первые едоки пряностей жили за тысячи лет до того, как возник Рим, и их предположительная причина была и остается хорошей.

В 2013 году археологи доложили о находке глиняных горшков в северо-западной Германии и Дании, датированных возрастом примерно шесть тысяч лет, как раз времен начала оседлого сельского хозяйства, и они содержали остатки мяса, рыбы, крахмальных продуктов — и семян дикой горчицы. В Америке в поселениях, которым как минимум шесть тысяч лет, были обнаружены остатки перца чили вместе с маисом и другими насущными продуктами. Очевидно, что наши предки предпочитали есть местные острые растения задолго до возникновения какой-либо торговли экзотическими товарами. И не только острые растения: такие ароматические добавки, как семена кориандра и кумина, были обнаружены в столь же древних районах на

Среднем Востоке; семя укропа — в швейцарских озерных деревнях почти такого же возраста; как имбирь, так и куркума — в районах индской цивилизации, обитаемых пять тысяч лет назад.

Итак, эти раздражающие и ароматические материалы поедались с самых ранних времен оседлой жизни. Ни один из них не является особенно питательным, что предполагает, что их первоначальной ценностью были просто раздражение и ароматы. Они приносили сенсорную стимуляцию и интерес в ежедневную необходимость потреблять пищу. У охотников-собирателей была разнообразная диета; возникновение злакового и животного сельского хозяйства сузило круг ощущений, вызываемых пищей, и обладающие насыщенным вкусом душистые травы, семена и корни могли компенсировать ее монотонную пресность. Некогда ценимые за их характерные вкусы, пряности могли принимать все виды религиозной, медицинской, социальной и экономической значимости.

Прогресс торговли со времен Колумба и да Гамы лишил пряности большей части этой значимости. Они стали повседневными ингредиентами, заметными в основном как вкусовые ориентиры для конкретных кулинарных традиций: кумин — для Среднего Востока или Мексики, тмин — для Северной Европы, имбирь и звездчатый анис — для южного Китая, сложные смеси — для Индии. В современных промышленных продуктах они часто присутствуют только опосредованно, в форме синтетических имитаций. Но для исследователя запахов они остаются интригующими изобретениями Героя-Углерода, материалами в процессе создания в течение миллионов лет посредством той же самой технологии проектирования, которая создала нас, более различными, разнообразными и интересными, чем любая имитация.

Тогда вперед, к виртуальным столам с корнями и семенами, как пресными, так и захватывающими. Опять-таки воспользуйтесь своей памятью, кухней и шопингом, который сделала возможным современная торговля.

Попробуйте вкусить настоящие вещи в процессе чтения так, чтобы эти списки летучих молекул действительно могли сообщить информацию вашему опыту, пока вы пробуете на вкус и после этого.

ПОДЗЕМНЫЕ ОВОЩИ

Растения зависят от обширных подземных структур, чтобы закреплять и поддерживать себя, чтобы поглощать воду и минералы и порой, чтобы производить потомство без необходимости создавать цветы и семена. Наиболее важно для нас то, что некоторые растения развивают органы, чтобы запасать избыточные химическую энергию и углеродные цепочки, вырабатываемые листьями в процессе фотосинтеза. Эти органы включают увеличенные корни или нижние стебли, и те и другие порой называют клубнями, а также луковицы, являющиеся нижними стеблями с короткими листьями, окружающими новую почку. Многие являются ценными питательными продуктами для нас — и для обитающих в почве животных и микробов. Так же, как они делают это для своих листьев, растения часто защищают свои подземные органы химическими способами защиты: некоторые содержат токсины или горькие или терпкие молекулы, нелетучие и непахнущие, но в основном полагающиеся на те же самые летучие средства защиты, что и надземные части. Мы

обычно едим многие из этих овощей приготовленными, и, разумеется, готовка изменяет их вкусы. Мы обнюхаем эти трансформации в главе 18. В этом отделе рынка мы попробуем некоторые из наших наиболее употребляемых корней, клубней и луковиц, то, как они пахнут свежими из земли и поданными сырыми.

На первом прилавке несколько самых крахмальных и самых пресных: три неродственных клубня из Нового Света. **Картофель** куда более знаком приготовленным, чем сырым, но обладает характерным запахом, особенно в нарезанном виде, за счет ноток, вырабатываемых его крайне активными окисляющими липиды энзимами, расщепляющими имеющие длинную цепь молекулы клеточных мембран на имеющие короткую цепь химически активные альдегиды, подавляющие микробов. Он также имеет землястые, похожие на стручковый перец и на зеленый горошек нотки из-за содержащих азот пиразинов, которые у него с этими овощами общие. **Сладкий картофель** тоже богат простыми альдегидами, но он включает парочку бензоидов с ореховой и медовой нотками. А узловатый **топинамбур**, или **земляная груша**, обязан своим древесным, травянистым запахом терпеноидам, подслащенным бензоидом фенилацетальдегида.

Теперь следует более крупный прилавок со столь же мягкими корнями из Старого Света, все члены сельдерейного семейства. **Сельдерей корневой**, или **корнеплодный**,

Некоторые корнеплоды из Америки

Клубень	Составляющие запахи	Молекулы
картофель (<i>Solanum tuberosum</i>)	свежий, жирный, грибной, виски, землястый	гексаналь, гептаналь, октеналь, декадиеналь и другие альдегиды, метилбутанол, изобутил- и изопропилметоксипиразины
сладкий картофель (<i>Ipomoea batatas</i>)	зеленый, грибной, жирный, кокос, миндаль, мед	C ₆ –C ₁₀ альдегиды, C ₆ –C ₈ спирты, метилбутаналь, бензальдегид, фенилацетальдегид
топинамбур (<i>Helianthus tuberosus</i>)	древесный, камфора, мятный, мед	бизаболен, борнилацетат, вербенон, метадиенол, фенилацетальдегид

Некоторые евроазиатские корнеплоды из сельдерейного семейства

Корень	Составляющие запахи	Молекулы
сельдерей корневой (<i>Apium graveolens</i> , разновидность <i>graveolens</i>)	свежий, цитрус, сосна, сельдерей	лимонен, пинен, терпинен, фталиды (бензофураноны)
морковь (<i>Daucus carota</i>)	древесный, цитрус, сосна, скипидар, мускатный орех	бизаболен, сабинен, кариофилен, пинен, терпинолен, миристицин
петрушка корневая (<i>Petroselinum crispum</i> , разновидность <i>tuberosum</i>)	мускатный орех, сосна, древесный	апиол, миристицин, терпинолен, фелландрен
корень кориандра (<i>Coriandrum sativum</i>)	зеленый, мыльный, кориандр, древесный	додеканаль, деканаль, деценаль, туйен
пастернак посевной (<i>Pastinaca sativa</i>)	восковой, фруктовый, кремовый, зеленый, землистый	октилбутират и -ацетат, гексилбутират, оцимен, гамма-октадекалактон

на самом деле — распухший стебель, имеет общие характерные бензофураны фталиды со стеблями и листьями сельдерея (см. с. 214), но заглушает их цитрусовыми и сосновыми терпеноидами. **Морковь**, в основном ярко-оранжевая, но порой красная, фиолетовая или бледная, запасает по большей части древесные, сосновые терпеноиды с оттенком похожего на мускатный орех бензоида миристицина. **Петрушка корневая** обладает сходным набором летучих молекул вместе со слабо похожим на петрушку бензоидом под названием «апиол», но не имеет ни одного терпеноида из тех, что помогают придать листьям петрушки их характерный аромат. В **корне кориандра**, частом ингредиенте в тайских ароматических пастах, преобладают те же самые простые альдегиды, что и в его листьях, но их зеленая и мыльная характеристики сбалансированы древесным терпеноидом, туйеном. **Пастернак посевной** — исключение из сельдерейного семейства: он содержит необычные эфиры и лактоны, придающие ему фруктовую и кремовую характеристики.

Следующий прилавок с тремя другими евроазиатскими корнями — определенно самый красочный в этом отделе рынка: с темно-красным, фиолетовым и золотым бок о бок с черным и белым. **Свекла**, представлен-

ная здесь разновидностями окраски красной, желтой, белой и красно-белой колечком, — член амарантового семейства, родственник шпината и душистой травы мари амброзиевидной. Свекла благоухает смесью бензоидов и терпеноидов. Самый важный и необычный терпеноид — геосмин, одна из главных летучих молекул во влажной почве; таким образом, мы ощущаем его как землистый и прокислый — никак не приятная характеристика для многих людей! (Куда больше о геосмине в главе 15.) Биологи в течение долгого времени полагали, что свекла получает геосмин из почвы, в которой она растет, пока в 2003 году эксперименты не продемонстрировали, что она может вырабатывать свой собственный. Более недавние исследования обнаружили, что одни разновидности производят много, другие — очень мало, и самый высокий уровень содержится в наружной паре миллиметров корня. Попробуйте сперва более светлые цвета: темно-красные разновидности обычно пахнут наиболее землисто.

Рядом со свеклой два корнеплода, начинающих намекать в направлении пряности. **Репа** — белая приплюснутая сфера с красным или фиолетовым румянцем, а этот набор **редиса** включает маленькие салатные типы с красной, белой или фиолетовой кожей,

Свекла, репа, редис

Корень	Составляющие запахи	Молекулы
свекла (<i>Beta vulgaris</i>)	миндаль, мед, сосна, эвкалипт, землистый	бензальдегид, ацетофенон, пинен, эвкалиптол, нонаналь, геосмин
репа (<i>Brassica rapa</i>)	свежий, травяной, фруктовый, цветочный, серный, едкий	лимонен, гексенол, гексенилацетат, геранилацетон, диметилдисульфид, изотиоцианаты
редис (<i>Raphanus sativus</i>)	едкий, серный, чесночный, мясной, приготовленный лук	изотиоцианаты, диметилсульфид, диметил три- и тетра-сульфиды

длинные японские дайконы и крупные чернокожие «испанские» типы. Все это члены семейства капустных, клана, защищающего поврежденные ткани вырабатываемыми энзимами летучими молекулами, содержащими как серу, так и азот, — изотиоцианатами (см. с. 159). У этих молекул серный запах и также переменчиво едкий в зависимости от их конкретных структур — некоторые жгут как в носу, так и во рту, придавая свою силу горчице и хрену. Как и сама капуста, репа придерживается овощных запахов с мягкими травяной и фруктовой характеристиками и небольшим оттенком едкости. Но едкость редиса может варьироваться от оттенка до удара наповал.

ЕДКИЕ КОРНИ И ЛУКОВИЦЫ: КАПУСТНОЕ И ЧЕСНОЧНОЕ СЕМЕЙСТВА

На соседнем прилавке лежат два из самых боксерских корней капустного семейства, такие мощные, что они используются лишь умеренно в качестве приправ, как семена их родственниц-горчиц (см. с. 237). **Хрен** и **васаби** испускают больше изотиоцианатов, чем любых других летучих молекул, и некоторые из них очень раздражающие. Васаби, маленький зеленоватый корень родом из Японии и стандартная приправа к сырой рыбе, подаваемой как суши и сашими, обладает более разнообразной ароматической смесью, с сель-

дерейной и сладко-кремовой нотками, чем более крупный грязно-белый центрально-азиатский хрен. Оба корня наиболее сложные и интересные, когда их только что натерли, но они быстро изменяются, когда их компоненты вступают в реакцию друг с другом и испаряются в воздухе. Их изотиоцианаты такие раздражающие, избыточные и летучие, что простой вдох через рот в процессе еды может обжечь дыхательные пути и вызвать кашель и удушье. Средство против этого: вдохните свежий воздух носом, затем задержите дыхание и выдохните раздражители через нос.

На следующем прилавке лежат кучки соперников хрена и васаби по мощным и характерным химическим способам защиты: наши наиболее знакомые и самые пахучие луковичи и серные «специалисты», такие вооруженные, что мы либо используем их в маленьких дозах, либо обезвреживаем их готовкой. **Лук** и **чеснок**, виды-собратья из рода *Allium*, развивают луковичи, испускающие сложные смеси серных летучих молекул, когда они разрезаются или давятся (см. с. 161). Некоторые из этих летучих молекул интенсивно раздражающие, а также серные, вызывающие жжение в глазах и во рту. Поскольку они активно вырабатываются энзимами в поврежденных тканях, а энзимы уничтожаются кислотами и деактивируются сильным жаром, готовка и маринование приглушают едкость и серность.

Некоторые луковицы и корни из капустного и чесночного семейств

Корень, луковица	Составляющие запахи	Молекулы
хрен (<i>Armoracia rusticana</i>)	едкий, зеленый, хрен, водяной кресс	аллилизотиоцианат, фенетилизотиоцианат
васаби (<i>Wasabia japonica</i>)	едкий, зеленый, металлический, серный, похожий на сельдерей, кремовый	аллил-, пентенил- и гексенилизотиоцианаты, октадиенон, метилбутенэтиол, метилдекалактон, ванилин
лук (<i>Allium cepa</i>)	серный, едкий, луковый, приготовленный лук, приготовленные овощи, мясной	тиосульфиды, диметил- ди- и три-сульфиды, тиолы
чеснок (<i>Allium sativum</i>)	едкий, серный, чесночный, приготовленные овощи, приготовленный лук, мясной	аллицин (тиосульфид), диметилсульфид, диметил- ди- и три-сульфиды

АРОМАТИЧЕСКИЕ КОРНИ: ИМБИРНОЕ СЕМЕЙСТВО, ЛАКРИЦА, ВАЛЕРИАНА

На следующем прилавке формы и запахи довольно-таки радикально меняются на терпеноидальные корни неправильной формы. Первый набор — члены имбирного семейства, сам имбирь и его кузены куркума и калган, все первоначально из Восточной Азии. Они растут разветвляющимися массами, сравниваемыми с руками и пальцами. Имбирь и куркума входят в число самых ранних пряностей, известных как использованные в доисторической индской цивилизации; позже высушенные корни были импортируемыми товарами торговли с Западом. Все три несколько едкие, но ответственные за это молекулы — нелетучие, поэтому они раздражают только рот, а не глаза и дыхательные пути. Их летучие средства защиты в основном терпеноиды, одни — необычные, другие — общие со многими другими растениями.

Разнообразный **имбирь** испускает характерный, обладающий свежим запахом терпеноид, названный зингибереном, вместе со свежедревесными пиненом и эвкалиптолом, а также с лимонными нералем и гераниалем, цветочным линалоолом и древесной ноткой терпинолена. **Куркума**, базовый элемент в ин-

дийской и тайской кулинарии, бывает как желтого, так и белого видов, белый порой называется цедоария. Оба вида содержат несколько необычных пряно-древесных сесквитерпеноидов, включая несколько названных в их честь, турмероны. Эвкалиптол оживляет свежий корень куркумы, но отсутствует в высушенной версии. **Калган**, более пухлый и волокнистый, чем его родственники, — важный компонент многих тайских паст карри. Его ярко выраженные эвкалиптовый, скипидарный и камфорный терпеноиды придают ему свежую, бодрящую, медицинскую характеристику со сладкой и древесной нотками терпеноидного эфира и необычного сесквитерпеноида гвайола (не путать с дымным фенольным гваяколом).

Следующий прилавок скудно нагружен двумя неродственными, странными, волокнистыми ароматическими корнями родом из Евразии. **Лакрицей** называются тонкие, искривленные, древесные корни растения из семейства бобовых. Ее культивировали в течение тысяч лет из-за насыщенно сладкой жидкости, извлекаемой из нее (название происходит от греческого слова, обозначающего «сладкий корень»), и из-за ее медицинской ценности (она действительно повышает кровяное давление). Сырая лакрица испускает эклектическую смесь терпеноидов и бензоеидов с травянистыми (тимьян, орегано) и

Некоторые ароматические корни из имбирного семейства

Корень	Составляющие запахи	Молекулы
имбирь (<i>Zingiber officinale</i> ; Азия)	лимонный, древесный, имбирь	нераль, гераниаль, пинен, эвкалиптол, линалоол, терпинолен, зингиберен
куркума, цедоария (<i>Curcuma longa</i> , <i>zedoaria</i> ; Азия)	древесный, теплый, пряный, ореховый, свежий	турмероны, зингиберен, бергамотен, винилгваякол, эвкалиптол
калган (<i>Alpinia galanga</i> ; Азия)	эвкалипт, скипидар, камфора, свежий, древесный	эвкалиптол, пинен, терпинеол, камфора, фенхилацетат, гвайол

Лакричный и валериановый корни

Корень	Составляющие запахи	Молекулы
корень лакрицы (<i>Glycyrrhiza glabra</i>); экстракт лакрицы	зеленый, тимьян, цветочный, бобовый, анис, гвоздика; сладкий пажитник, карамель, масло, дымный, ваниль	нонадиеналь, карвакрол, тимол, линалоол, метоксипиразины, анетол, эстрагол, эвгенол; сотолон, фуранеол, диацетил, гваякол, ванилин
валериана (<i>Valeriana officinalis</i>)	сырный, потный, прогорклый, камфора	валериановая и изовалериановая кислоты, борнилацетат, ацетоксивалеранон, валеренол

пряными (анис, гвоздика), а также цветочной и бобовой характеристиками. Когда ее варят, чтобы приготовить сироп для лакричных сладостей, эти характеристики по большей части замещаются сладкими карамельным, масляным и ванильным ароматами. Большинство коммерческих лакричных конфет и сладостей оживляют этот невыразительный вкус добавочными дозами либо анисового бензоида анетола, либо — в основном в Скандинавии — производными аммиака, но к такому вкусу надо очень сильно привыкнуть!

Корень валерианы на самом деле не является съедобным корнем, но исследователю запахов следует знать его: это природный материал, в котором впервые была открыта пятиуглеродная валериановая кислота и в честь которого она получила свое название. Валериановая и изовалериановая кислоты (изовалериановая — синоним метилмасляная) обе пахнут сырно, потно и прогоркло. Корни используются в растительных лекарственных

средствах и в качестве консервантов, а не в качестве продуктов питания, в высушенном и стратегически расположенном виде они применяются для отпугивания насекомых, грызунов и даже скунсов. Не такой приятный для нас репеллент от вредителей, как цитронелла и многие другие ароматические вещества, но, судя по всему, эффективный!

ПИТАТЕЛЬНЫЕ СЕМЕНА: ЗЕРНА

Теперь мы пересекаем широкий ряд на рынке, когда наше исследование съедобных частей растений переходит с корней на семена, с подземных якорей на незаанкерованных потомков. Семена — похожие на спасательные шлюпки структуры, транспортирующие эмбрионы следующего поколения в широкий мир вместе с компактным запасом провизии, необходимым им для того, чтобы начать расти. Разумеется, пища для эмбрионов — это также пища для микробов и животных, по-

этому у растений есть различные стратегии защиты своих семян от болезней и пожирателей. Химическое оружие и физическая броня, твердые или колючие наружные слои — это две из них. Третий и совершенно иной курс — щеголять плодородностью: выпустить в мир большие количества маленьких семян от каждого растения и положиться на вероятность того, что по крайней мере несколько выживут и расцветут. Это стратегия, используемая большинством членов травяного семейства, и она крайне успешна. Именно поэтому травы, которые мы называем пшеницей, рисом и кукурузой (маисом), — такие важные сельскохозяйственные культуры во всем мире. Люди рано научились собирать и запастись изобилие высушенных, питательных семян с природных травяных угодий, затем в конце концов культивировали их в количествах, достаточно больших, чтобы поддерживать поселения, затем города, затем цивилизации. Сегодня ежегодное мировое производство основных зерновых культур — множество тысяч триллионов семян, достаточно, чтобы покрыть ковром почти всю поверхность Земли.

Первый прилавок с семенами на нашем рынке украшен стержнями кукурузных початков, самым знакомым свидетельством травяной стратегии «сила в количестве». Стержни окружают девять мешочков на молнии с высушенными семенами и сортами муки, представляющими некоторые из наших самых любимых зерен. Некоторые из семян и сортов муки коричневые из-за жестких защитных оболочек или отрубей, окружающих травяные семена; некоторые — грязно-белые «очищенные» образцы с удаленными отрубями. Мы обычно не пробуем зерна сырыми, но они действительно обладают характерными запахами, которые простая варка усиливает и дополняет, в то время как более замысловатые методы готовки и ферментации преобразуют их, как мы увидим в главах 18 и 19. Здесь же суньте нос в мешочки, в которых часто хранятся зерна, что помогает удержать летучие молекулы, а затем похрустите несколькими семенами и облизните муку с пальцев.

Вы обнаружите, что запахи в основном мягкие и слабые. Все образцы испускают альдегидные цепочки длиной от шести до десяти углеродных атомов, фрагменты, отщепившиеся от более длинных липидных цепочек, обычно обладающих зелеными, жирными и металлическими запахами. Мы воспринимаем низкие уровни этих смешанных альдегидов как неопишимо приятные. Но по мере того как зерна лежат на складе неделями и месяцами, больше длинных цепочек расщепляется из-за воздействия кислорода и света, и их фрагменты накапливаются. Высокие уровни альдегидов с короткой цепью пахнут как картон и определяют характеристику, которую мы называем черствостью (см. с. 424).

Как и другие типичные зерна, **пшеница** содержит следы сладко пахнущего сотолона, напоминая карамель и пряность пажитник (появится далее в этой главе). Отруби цельных зерен и мука из них часто богаты фенольными кольцевыми молекулами, помогающими укрепить оболочки семян, а также предоставляющими первый слой химической защиты. Таким образом, **цельные зерна и мука** обычно имеют характерный аромат из-за следов таких летучих молекул с углеродными кольцами, как ванилин, похожий на мед фенилацетальдегид и пряно-дымные гваякол и винилгваякол. **Рожь** необычна своими ярко выраженными летучими молекулами, похожими на грибы и приготовленный картофель. Знаковый аромат **гречки** включает необычный похожий на грушанку бензоид и пряно-дымный винилгваякол, в то время как овсяность **овса**, похоже, вызвана одним конкретным и необычным девятиуглеродным альдегидом с тремя двойными связями. Эссенция **ячменя** возникает из-за альдегидов с короткой разветвленной цепью, особенно ярко выраженных в солодовых сиропах, приготовленных из пророщенного зерна, — и в какао (см. с. 454, 419).

А что насчет кукурузности кукурузы? На удивление, я не обнаружил никаких опубликованных исследований сырых кукурузных зерен, крупы или муки.

Некоторые зерна

Зерно	Составляющие запахи	Молекулы
пшеница цельная (<i>Triticum aestivum</i>)	ваниль, жирный, карамель, пажитник, потный, картофель, мед	ванилин, C_9 и C_{10} альдегиды, сотолон, метилмасляная кислота, метиональ, фенилуксусная кислота
пшеница очищенная	ваниль, карамель, пажитник, жирный, мед	ванилин, сотолон, C_9 и C_{10} альдегиды, фенилуксусная кислота
рожь полуочищенная (<i>Secale cereale</i>)	приготовленный картофель, грибной, карамель, пажитник, жирный	метиональ, октенон, сотолон, C_9 и C_{10} альдегиды
гречка (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	медицинский, грушанка, карамель, жареный, мед, гвоздика, дымный	салицилальдегид, фуранеол, декадиеналь, фенилацетальдегид, винилгваякол
овес (<i>Avena sativa</i>)	сладкий овес, печеное яблоко, сырный, ваниль	нонатриеналь, дамасценон, масляная кислота, ванилин
ячмень (<i>Hordeum vulgare</i>)	солодовый, какао, жирный	метилбутанали, деканаль
рис бурый (<i>Oryza sativa</i>)	фруктовый, ваниль, гвоздика, дымный, карамель, пажитник	аминоацетофенон, ванилин, винилгваякол, сотолон
рис душистый (<i>basmati, jasmine</i>)	пандан, попкорн	ацетилпирролин
рис черный	пандан, попкорн, дымный, роза, цитрусовые корки	ацетилпирролин, гваякол, нонаналь, деканаль

Рис удивителен тем, что предлагает разнообразности, ценимые специфически за ароматы, которые вы можете почуять, как только вы сунете нос в мешочек. Эти разновидности риса басмати (от «душистый» из хинди), жасминового (тайский, за изысканный белый цвет) и попкорнового (конечно же, американский) испускают характерную содержащую азот молекулу ацетилпирролина, которая также формируется жаром, когда лопается попкорн, и является основной летучей молекулой листьев пандана, азиатской душистой травы, которую порой готовят с рисом, чтобы усилить его запах (см. с. 219). Ацетилпирролин также содержится в простом белом рисе, но в едва обнаруживаемых следах, замаскированный общими зерновыми альдегидами. Сама по себе несущая кольцо пирролина часть ацетилпирролина имеет животный, похожий на сперму запах, и эта грань порой проявляется

в басмати и пандане. Купив рис басмати или жасминовый, держите его в прохладном месте, чтобы замедлить неизбежную потерю его особого благоухания. Черный, или «запретный», рис порой богато одарен ацетилпирролином, но смешивает его с дымным гваяколом и цветочными, фруктовыми цепочками в свой собственный аромат.

НЕКОТОРЫЕ БОБЫ И АРАХИС

Вперед к следующему прилавку, тоже покрытому кучками семян, многие из них более крупные и пухлые, чем зерна, и больше привлекают взор, с красным, черным и многими оттенками белого и коричневого, порой испещренные несколькими цветами. Это семена членов бобового семейства, бобы. Хотя и не выращиваемые в таких же почти что покрывающих Землю количествах, как травы, они

Некоторые бобы и арахис

Боб	Составляющие запахи	Молекулы
фасоль обыкновенная (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	зеленый, грибной, землистый	C_5-C_{10} альдегиды и спирты, октадиенон
горох (<i>Pisum sativum</i>)	горох	изопропилметоксипиразин
паркия красивая (<i>Parkia speciosa</i>)	травяной, грибной, серный, чесночный, гниющий	гексаналь, диметилтрисульфид, тритиолан, сульфид водорода, метанэтиол
арахис (<i>Arachis hypogaea</i>)	горох, землистый, стручковый перец, жирный, металлический	изопропил- и изобутилметоксипиразины, деценаль

тоже обеспечивают сытными питательными продуктами большую часть мира. Они значительно богаче белками, чем травы, и часто поедаются вместе с ними. Соевые бобы также хороший источник масла. **Фасоль** многих сортов, а также горох и чечевицу, обычно высушивают и затем готовят, хотя некоторые потребляют в пищу, когда они зрелые, но все еще влажные. У большинства общая типичная семейная характеристика, которую часто описывают как «бобовую»: она обусловлена характерной смесью альдегидов с короткой цепью, вырабатываемых собственными активными ферментами самих семян. Есть также содержащие азот метоксипиразины, характерные для свежих зеленых бобов и гороха и, таким образом, напоминающие их, но они обычно более ярко выражены в свежих стручках, чем в семенах, которые созрели и высохли. Характерная альдегидная визитка стала препятствием для производителей, стремящихся убрать ее из экстрактов горохового белка, которые могут заменить животные белки в вегетарианских имитациях мяса и яиц, но запах которых выдает их бобово-гороховое происхождение.

У одного менее известного боба есть своя собственная экстравагантная визитка. **Паркия красивая**, или **вонючая фасоль**, растущая на крупном дереве, родственном мимозам, и являющаяся популярным зеленым овощем в Малайзии и Индонезии, печально известна своей сильной серностью, навязчиво сохраняющейся даже спустя долгое время по-

сле еды. Это истинный виртуоз серных летучих молекул, образующий кольца или цепочки с тремя, четырьмя и пятью серными атомами. Я нашел паркию красивую в отделе замороженных продуктов в азиатских бакалейных лавках.

Последний в этом наборе бобов — белая ворона в семействе. Южноамериканский **арахис**, или **земляной орех**, развивается под землей, где кустистое родительское растение хоронит свои похожие на стручки гороха плоды. Арахис напоминает древесные орехи своим высоким содержанием масла и своей нежностью по сравнению с большинством других высушенных бобов, но его сырой запах сильно напоминает зеленый горошек и бобы из-за общих с ними метоксипиразинов.

ДРЕВЕСНЫЕ ОРЕХИ

На следующем столе еще одна аранжировка высушенных семян, опять скучных по цвету, на этот раз различающихся в размере от ногтя до сложенной горсткой руки. Это орехи: скорее в общепринятом, чем в строго ботаническом языке, съедобные семена, заключенные в твердые скорлупки. Они склонны запасать энергию для эмбриона скорее в масле, чем в крахмале, поэтому они более концентрированный источник калорий, чем зерна и бобы. Длинные углеродные цепочки масляных молекул уязвимы к воздействию кислорода и света, в ходе которого со временем вырабатывается смесь альдегидных фрагментов,

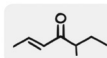
которую мы ощущаем как прогорклость (см. с. 424), поэтому орехи лучше всего хранить в цельных скорлупках.

Сосновые деревья растут по всему Северному полушарию, и многие виды приносят шишки со съедобными семенами, которые достаточно крупные, чтобы напрягаться с их извлечением. Миниатюрные **кедровые орехи** несут терпеноидные отличительные признаки своего хвойного происхождения с сосновыми, пихтовыми и цитрусовыми ароматами. Фисташковое дерево не является хвойным, но это близкий западно-азиатский родственник терпентинного дерева, предоставлявшего древним людям полезную ароматическую смолу и, таким образом, подарившего свое имя как скипидару (терпентину), так и терпеноидным молекулам (см. с. 335). **Фисташки**, часто продаваемые в своих приоткрытых скорлупках, тоже выражают эти семейные отношения, с сосновыми, пихтовыми, скипидарными и цитрусовыми летучими молекулами, как в кедровых орехах, плюс лактоны и эфир, которые могут окрасить аромат на удивление близко к запаху богатых терпеноидами плодов манго (см. с. 268). Я был поражен этой фруктовой характеристикой, когда я попробовал фисташки, выращенные для турецкой промышленности по производству пахлав, собранные до достижения полной зрелости и, таким образом, маленькие, насыщенно зеленые и ароматные. Тогда я принес несколько штук своей подруге Ариэль Джонсон, химику из Калифорнийского университета в городе Дейвис (у каждого исследователя запахов должна быть такая подруга!), и она определила, что у них от двух до десяти раз выше уровни основных летучих молекул по сравнению с повседневными калифорнийскими фисташками. Свежие молодые фисташки стоят того, чтобы их выискивать.

Миндаль приносится евроазиатскими деревьями, близкими родственниками косточковых плодов, персика, абрикоса и вишни, и в их косточках содержатся общие значительные уровни бензальдегида, определяющего аромат летучей молекулы экстракта миндаля.

Обычный сладкий миндаль довольно-таки пресный, и в большинстве орехов содержится только оттенок бензальдегида по сравнению с плодовыми косточками и горьким миндалем. Бензальдегид — часть защитной системы семени, которая также вырабатывает потенциально смертельный цианид, поэтому только орехи с низким содержанием бензальдегида безопасно есть в любом количестве. Горький миндаль и косточки вышеперечисленных плодов порой используются примерно как пряность, в малых количествах, чтобы придать свой аромат марципану и другим ореховым пастам.

Различные виды кустистого орешника растут по всему Северному полушарию, и их орехи по-разному называются **лесными орехами**, **лещинными орехами** или **фундуком**.



Культивируемые европейские разновидности ароматизированы необычной и характеризующей молекулой, метко названной **филбертоном** (filbert — фундук), семиуглеродной цепочкой с одноуглеродным ответвлением. Поджаривание орехов повышает уровень филбертона и его ароматическую выраженность.

У семейства грецкого ореха есть представители родом из Евразии и Америки. Его различные орехи имеют общую специфическую похожую на пазл внутреннюю область, заключающую неровной формы ореховую массу в скорлупу, но вкусы очень разные. Обычный **грецкий орех** происходит от евроазиатского вида, порой называемого английским или персидским; его мягкий аромат — продукт нескольких альдегидов и спиртов с простой цепью. **Черный орех** происходит от разновидности грецкого ореха с исключительно твердой скорлупой родом из американских восточных и среднезападных территорий и обладает землистым, древесным, фруктовым характером, возникающим из-за нескольких необычных эфиров и сладкого, прокислого фуранона. Другие американские деревья из семейства грецкого ореха — источник пекана и гикори. **Пекан** обладает характерным жирным, пряным, сладким,

Некоторые древесные орехи

Орех	Составляющие запахи	Молекулы
кедровый орех (виды <i>Pinus</i>)	сосна, пихтовые иголки, камфора, цитрус	пинен, лимонен, гексаналь, камфен, карен
фисташка (<i>Pistacia vera</i>)	сосна, скипидар, свежий цитрус, кремовый, фруктовый	пинен, терпинолен, лимонен, гамма-бутиролактон и гексалактон, этилацетат
миндаль (<i>Prunus dulcis</i>)	экстракт миндаля, цветочный, похожий на растворитель, зеленый	бензальдегид, бензиловый спирт, фенилэтанол, толуол (метилбензол), гексаналь
лесной орех, фундук (виды <i>Corylus</i>)	лесной орех, сладкий, сено	филбертон (метилгептенон), диметоксибензол
греческий орех (<i>Juglans regia</i>)	зеленый, фруктовый, виски	гексаналь, пентаналь, гексанол, пентанол, этилтолуол
черный орех (<i>Juglans nigra</i>)	землистый, древесный, фруктовый, карамель, прокислый	метилизовалерат, метилгексеноат, метилэтилгексаноат, мезифуран
пекан (<i>Carya illinoensis</i>)	травяной, жирный, сладкий, кремовый, кокос, масляной	гексаналь, гамма-декалактон и лактон массовой, диацетил
кокос (<i>Cocos nucifera</i>)	кремовый, кокос, ореховый, фруктовый, жирный	дельта-окталактон и декалактон, этилоктаноат и -деканат

кремовым запахом, который, возможно, частично обусловлен лактонами, летучими молекулами, которые мы чаще всего встречаем в молочных продуктах, в персиках и в последних и самых крупных орехах на прилавке — **кокосах**, обитателях тропической Азии. Их молочно-белая масса богата конкретной группой лактонов, вырабатывающих их знаковый запах, часто симулируемый в кремах от загара и лосьонах. Думайте о пекане и кокосе как об образчиках умеренных и тропических исследований лактонов.

ПРЯНЫЕ СЕМЕНА И СМОЛА: СЕЛЬДЕРЕЙНОЕ СЕМЕЙСТВО

Другой широкий ряд отмечает переход от мягкости питательных семян к ароматической насыщенности пряных семян, некоторых из долгосрочных материалов, которые повара используют, чтобы ароматизировать питательные продукты. До тех пор, пока гло-

бальная торговля не превратила тропические специи в доступные товары широкого потребления, большинство людей в западном мире готовили с добавлением ароматических веществ из своего собственного региона. Десять кучек маленьких семян на первом прилавке происходят от родственных растений, местных в Европе и Западной Азии. Они являются членами того же самого сельдерейного семейства, предоставляющего многие ароматические душистые травы (см. с. 213), и некоторые из этих семян вырабатываются этими самыми душистыми травами. «Семена» сельдерейного семейства на самом деле — высушенные плоды размером всего лишь пару миллиметров, с древесным наружным слоем вместо мясистого, а также многочисленными заполненными летучими молекулами каналами, окружающими и защищающими истинное крохотное семечко внутри. Раздавливание всей упаковки высвобождает ее летучие молекулы.

Семена сельдерея, укропа и тмина — все обладают общей свежей, цитрусовой характеристикой терпеноида лимонена. **Семена сельдерея** обязаны своим специфическим запахом тем же самым необычным летучим молекулам, которые преобладают в свежем сельдерее, бензофуранонам фталидам, вместе с травянистым терпеноидом — селиненом. **Тмин** определяется своим характерным терпеноидом карвоном (не зеркальное отображение мятного карвона) и наоборот; запах молекулы обычно называется по этой пряности. **Семена укропа** тоже содержат тминный карвон, но он менее ярко выражен, равномерно смешан с другими терпеноидами.

Затем есть анисовое подсемейство с двумя различными бензоидными летучими молекулами, имеющими анисовую характеристику: анетол, имеющий также сладкую и медицинскую грани, и эстрагол, важная летучая молекула в некоторых сортах базилика, которая также зеленая и мятная. **Семя аниса** сочетает анетол и эстрагол, а также включает оттенок

корицы и гвоздики от метилэвгенола. **Семя фенхеля** тоже характерно похожее на анис, но оно бывает двух типов. В первом, включающем сладкий фенхель, сладко-медицинский анетол составляет аж 90% летучих молекул; во втором, включающем горькие разновидности, пропорция скорее 65%, с мятным, похожим на камфору и кедр фенхоном, составляющим до 20%. Анетол сладкий на вкус, а также ароматический, и семена как аниса, так и фенхеля ярко выражены в индийских освежающих дыхании закусках под названием мухвас.

Два других вида семян из сельдерейного семейства — основополагающие ингредиенты в индийских смесях пряностей. **Семена кориандра** приносятся душистой травой, также известной как кинза, но они совсем не похожи на зеленый мыльный запах ее листьев. Семена поразительно благоуханные, цветочные и цитрусовые благодаря терпеноиду линалоолу и терпеноидному эфиру, со скипидаром и камфорой на задней фоне. Они также необычны тем, что у них есть толстая круглая

Некоторые ароматические семена и смола из сельдерейного семейства

Пряность	Составляющие запахи	Молекулы
сельдерей (<i>Apium graveolens</i>)	цитрус, зеленый, сельдерей	лимонен, селинен, фталиды (бензофураноны)
тмин (<i>Carum carvi</i>)	тмин, свежий, перилла	тминный карвон, лимонен, перилловый альдегид
укроп (<i>Anethum graveolens</i>)	цитрус, тмин, мята колосистая	лимонен, тминный карвон, карвеол
анис (<i>Pimpinella anisum</i>)	анис, сладкий, медицинский, корица	анетол, эстрагол, метилэвгенол
фенхель (<i>Foeniculum vulgare</i>)	анис, сладкий, мятный, камфора, свежий	анетол, эстрагол, фенхон, лимонен
кориандр (<i>Coriandrum sativum</i>)	цветочный, фруктовый, скипидар, камфора	линалоол, геранилацетат, терпинен, камфора, пинен
кумин (<i>Cuminum cyminum</i>)	кумин, потный, жирный, древесный	куминальдегид, терпиненаль, терпинен
черный кумин (<i>Bunium bulbocastanum</i>)	кумин, потный, сосна, древесный	куминальдегид, терпиненаль, терпинен, цимен
ажгон (<i>Trachyspermum ammi</i>)	медицинский, тимьян, древесный, сосна	тимол, цимен, терпинен, пинен
асафетида (<i>Ferula assa-foetida</i>)	приготовленный лук, чеснок, серный	пропенилдисульфиды, ди-, три- и тетра-сульфиды, пинен

плодовая оболочка, которую обычно измельчают вместе с двумя внутренними семенами и которая обладает своим собственным ароматом, с содержанием менее трети уровня линалоола семян и пропорционально более высокими уровнями камфоры, пинена и древесного кариофиллена. **Кумин**, еще одна крайне важная индийская пряность, также ярко выраженная в мексиканской кулинарии колониальных времен, совсем не смахивает на цветы или плоды. Его определяющая летучая молекула, необычный терпеноид куминальдегид, агрессивная и имеет животную, потную характеристику. **Черный кумин**, как и предполагает его название, обладает очень похожим запахом и является семенем вида-собрата, выращиваемого в основном в Центральной Азии. **Ажгон**, или **айован**, родом из того же самого региона и менее известен на Западе, чем его родственники. Его запах отчетлив: это семенная версия душистой травы тимьяна с преобладанием тимола.

После всех этих маленьких семян следует куча коричневатых комков твердого, блестящего материала, слишком твердого, чтобы поцарапать его ногтем. Выберите самый маленький ком, откусите кусочек и, когда вам понадобится облегчение, хватайте сладкий фенхель и анис. Это **асафетида**, смола члена сельдерейного семейства родом из Ирана и Центральной Азии, различные названия которой отражают ее очень характерный и не особо-то приятный запах. Английское название *asafetida* — гибридный персидского и латинского, обозначающий «вонючая смола»; французское *merde du diable* и немецкое *Teufelsdreck* обозначают «помет дьявола». Асафетида содержит удивительное разнообразие серных летучих молекул, от простых и обычных сульфидов до луковых и чесночных сульфидных цепочек. Высокое сорное родительское растение выделяет защитную смолу, когда его нижний стебель поврежден; смола собирается, высушивается и часто продается в измельченной форме, разбавленной крахмалом или мукой. Асафетида используется в центральноазиатской и индийской кулинарии

(ее название на хинди — хинг) так же, как лук и чеснок, чтобы привнести острые, мясные нотки.

НЕРОДСТВЕННЫЕ ЕВРОАЗИАТСКИЕ ПРЯНОСТИ: ПАЖИТНИК, МАХЛАБ, ШАФРАН

Возле следующего прилавка мы пребываем на географической границе между Западом и Востоком ради еще четырех ароматических веществ из этого региона, трех неродственных семян и высушенного цветка. Для начала относительно неясная пряность и важный обонятельный ориентир.

Пажитник — маленькое, продолговатое, песочно-коричневое семя растения из семейства бобовых, часто включаемое в центральноазиатские и индийские смеси пряностей. Он ароматизирован частично знакомыми нотками зеленых бобов и горошка от азотно-кольцевых пиразинов, жирных лактонов и потных кислот. Но его самое характерное, сладкое качество обусловлено фураноном соотолоном (см. с. 151). Следы соотолон присутствуют в таких зернах, как пшеница и рожь, но, помимо пажитника, он ярко выражен только в определенных приготовленных блюдах, поэтому его запах обычно описывают, ссылаясь на карамель, коричневый сахар и кленовый сироп. Миллионы жителей Нью-Йорка столкнулись с соотолоном в 2005 и 2006 годах в виде распространившегося по всему городу запаха кленового сиропа, приносимого с завода ароматических добавок в Нью-Джерси, перерабатывавшего семена пажитника; мы часто встретим его в главах 18 и 19. Там, чтобы воздать растениям должное за первенство в его создании, я буду описывать его похожим на пажитник! В отличие от большинства пряностей, теряющих часть своего сырого аромата и выраженности при нагревании, уровень фуранона в пажитнике значительно повышается жаром, особенно в кислотных растворах (некоторых соусах). Мы можем в течение некоторого времени пахнуть пажитником после того, как съедим его; либо сам соотолон, либо

**Восточно-средиземноморские и западно-азиатские пряности:
пажитник, чернушка посевная, махлаб, шафран**

Пряность	Составляющие запахи	Молекулы
пажитник (<i>Trigonella foenum-graecum</i>)	кленовый сироп, потный, зеленые бобы, кокос	сотолон, масляная и метилмасляная кислоты, метоксипиразины, гамма-ноналактоны и гексалактоны
чернушка посевная, калинджи, римский кориандр (<i>Nigella sativa</i>)	древесный, медицинский, мята колосистая, анис	цимен, тимоквинон, карвакрол, анетол
махлаб (<i>Prunus mahaleb</i>)	сено, экстракт миндаля, смолистый	кумарин, бензальдегид, бензиловый спирт
шафран (<i>Crocus sativus</i>)	свежий, медицинский, древесный, сладкий, зеленый чай, табак	сафраналь, изофороны

дериват с похожим запахом попадает в наши пот и мочу.

Рядом с коричневым пажитником лежит кучка более мелких, черных, угловатых семян. **Чернушка посевная** — член семейства лютиковых и родственница многих садовых цветов; ее семенами часто посыпают хлеб. Они относительно нежные на вкус, с медицинским акцентом терпеноидов тимьяна и орегано, а также порой с оттенками мяты колосистой или аниса.

Рядом с чернушкой посевной лежат круглые семена кремового цвета диаметром в пару миллиметров. **Махлаб** — семя дерева, вида-родственника миндаля и косточковых плодов, маленький плод которого часто называют разновидностью вишни. Как и горький миндаль, маленькое семя махлаба удаляется из твердой косточки и используется как ароматизатор. Оно также содержит пахнущий экстрактом миндаля бензальдегид, но смешивает его со сладким, похожим на сено бензотидом кумарином, основной летучей молекулой бобов тонка диптерикса душистого (см. с. 239–240).

Последние на этом столе не семена, но вместо этого очень маленькая кучка ярко-красных нитей длиной от полдюйма до дюйма. Это высушенные рыльца (принимающие пыльцу части) цветка **шафрана**, вида

крокуса, одомашненного в Греции три тысячи лет назад для использования в качестве как пряности, так и красителя: его нити богаты терпеноидными пигментами, окрашивающими как продукты, так и ткани в насыщенный желто-оранжевый. Живой цветок шафрана имеет приятный, но непримечательный запах (см. с. 189), но сушка вызывает фрагментацию многих пигментных и родственных терпеноидов на необычные многогранные летучие молекулы с медицинскими, древесными, прокислыми, похожими на камфору, сено, чай и табак характеристиками. Уникальная и дорогая пряность: нити собираются вручную в день, когда открывается каждый цветок, и требуются сотни цветов, чтобы получить грамм шафрана.

ОСТРЫЕ ПРЯНОСТИ СО ВСЕГО МИРА: ГОРЧИЦЫ И ПЕРЦЫ

Еще один широкий ряд и широкое смещение фокуса: на этот раз к пряностям, семенам и плодам, которые не только пахнут, но еще и обжигают. Термин «пряный» часто используется в значении горячий — острый и приятно болезненный — и мы используем перец и горчицу, чтобы придать остроту всему на свете, от яиц на завтрак до сэндвичей и печенья. Эти материалы любят за их остроту или

щекочущий эффект, но их запахи тоже стоит заметить и сравнить, поэтому на этом прилавке собраны вместе образцы со всего мира.

Первыми на прилавке лежат несколько кучек маленьких круглых семян, одни желтые, другие — различных оттенков коричневого. **Семена горчицы** происходят от растений капустного семейства, широко растущих по всей Европе и Азии. Как овощи и душистые травы из этого семейства, они защищены содержащими азот и серу изотиоцианатами, которые раздражают как дыхательные пути, так и рот и обладают обобщенно серным запахом. Семена запасают их в нелетучем соединении с другими молекулами и испускают их, когда физический урон высвобождает энзим, вырабатывающий летучие молекулы. Энзим деактивируется сильным жаром, поэтому поджаривание высушенных семян радикально снижает их остроту. Энзиму также требуется влажность для функционирования, поэтому горчица готовится посредством измельчения семян и смачивания порошка, чтобы образовать пасту. Острота горчицы имеет тенденцию исчезать со временем, если только не стабилизировать изотиоцианаты посредством снижения уровня pH, что является одной из функций уксуса в приготовленной горчице.

В противоположность этому пряности, обычно называемые **перцем** — черный, белый, чили и сычуаньский, все лежащие кучками рядом с горчицей, запасают острые или щекочущие молекулы в их активной форме, готовыми атаковать даже в высушенном виде. Эти молекулы — пиперин в черном и белом перцах, капсаицин в чили, саншоол в сычуаньском, все содержащие азот химические родственники друг другу, но куда крупнее и менее летучие, чем изотиоцианаты, сами по себе слабо пахнущие или лишенные запаха. Если только они не запускаются в воздух из-за сильного жара в процессе готовки или из-за выплескивания с посуды в ходе ее мытья, они раздражают только рот. Все эти перцы начинают свой жизненный цикл как маленькие, содержащие семена плоды, которые легко су-

шатся для длительного хранения. Английское слово *перрег* происходит от пиппали, древнего санскритского названия того, что мы сейчас называем длинным перцем. И длинный, и черный перец — виды из большого рода *Piper*, принадлежащего к одной из самых древних родственных линий цветущих растений. Другие, неродственные «перцы», называются так за их сходство с этими моделями.

В первой перечной кучке собраны темные массы толщиной с карандаш и длиной от полдюйма до дюйма. Это **длинный перец**, плод древесного вьющегося растения родом из Индии и Юго-Восточной Азии, принимающий форму многочисленных маленьких ягодок, слившихся вместе. Очевидно, это был первый перец в древней торговле пряностями, позже вытесненный черным перцем. Длинный перец относительно редок сегодня, но его стоит найти из-за его исторической значимости и из-за приятного аромата, сопровождающего его остроту, древесного и скипидарного, с оттенком гвоздики.

Рядом с длинным перцем — знакомые плоды его гораздо более популярного вида-собрата **черного перца**. У него та же родина, он тоже растет как вьющееся растение и содержит в основном древесные, сосновые терпеноиды, включая характерно перечный сесквитерпеноид ротундон. Черная внешняя оболочка — высушенные остатки незрелого мясистого плода, окружавшего семя, когда его собирали. **Белый перец** делается из тех же самых плодов, что и черный перец, но посредством того, что ягодам перца дают созреть и затем удаляют размягченную плодовую оболочку, прежде чем сушить. Традиционная практика — смочить спелые плоды и позволить окружающим микробам напасть и переварить плодовой слой таким образом, чтобы его можно было смыть. На тропической жаре это контролируемое разложение легко может выйти из-под контроля, и именно поэтому некоторые партии белого перца имеют скотные, фекальные несвежие ароматы. Зерна белого перца сохраняют примерно те же самые летучие молекулы и нелетучую остроту, что и

черный перец, но они не испещряют еду черными крупинками.

После двух истинных перцев — парочка ку-чек маленьких испещренного вида сфер: одна зеленая, другая красная. **Сычуаньский перец**, хуацзяо по-китайски, и японский эквивалент, **сансё**, — маленькие высушенные плоды азиатских деревьев из семейства цитрусовых, хотя сами они не являются цитрусовыми видами. Их основные нелетучие средства защиты, саншоолы, вызывают очень странные ощущения во рту, не то чтобы острые, но металлические, щекочущие и вызывающие онемение. Как нелетучие, так и летучие средства защиты

сконцентрированы в тонких плодовых слоях, окружающих твердые семена, крапинки обозначают запасующие железы, напоминающие железы в корках истинных цитрусовых плодов. Летучие молекулы отражают ботаническую принадлежность родительских деревьев с цветочно-цитрусовыми нотками на древесной и сосновой основе, а также заметные различия между зеленой и красной, китайской и японской разновидностями. (Некоторые другие виды используются в Корее, Индии, Индонезии и соседних странах.)

После этих довольно-таки однородных ку-чек длинного черного и сычуаньского перцев

Острые пряности: горчицы и перцы

Пряность	Составляющие запахи	Молекулы
семена горчицы (<i>Brassica nigra</i> и <i>junceae</i> , <i>Sinapis alba</i>)	серный	изотиоцианаты, тиоцианаты
перец длинный (<i>Piper longum</i>)	древесный, терпкий, гвоздика, цитрус, свежий	кариофиллен, карен, эвгенол, лимонен, зингиберен
перец черный (<i>Piper nigrum</i> ; Азия)	перечный, цветочный, свежий, сосна, древесный, смолистый	ротундон, пинен, кариофиллен, лимонен, мирцен, линалоол
перец белый (<i>Piper nigrum</i>) небрежно обработанный	перечный, цитрус, цветочный, сосна, эвкалипт фекальный, скотный двор	ротундон, лимонен, линалоол, пинен, эвкалиптол скатол, крезол
перец сычуаньский зеленый и красный (<i>Zanthoxylum simulans</i> и <i>Z. bungeanum</i>)	цветочный, сладкий, сосна цветочный, свежий, сосна, роза	линалоол, терпинеол линалоол, эвкалиптол, фенилэтанола, лимонен, мирцен
сансё (<i>Zanthoxylum piperitum</i>)	свежий неспелый: цветочный, зеленый, цитрус, сосна; спелый, высушенный: цветочный, зеленый, фруктовый	гераниол, линалоол, цитронеллаль, мирцен, лимонен, фелландрен; гераниол, линалоол, цитронеллаль, геранилацетат, метилциннамат
перец чили (<i>Capsicum</i>)	землистый, фруктовый, восковой, кедр, зеленый, фиалка	октенол, дамасценон, гексиметилабутират, гимахален, сафраль, оцимен, толуол, метилгептенон, ионон
перец розовый (<i>Schinus molle</i> и <i>S. terebinthifolius</i>)	скипидар, свежий, цитрусовый, древесный, травянистый	пинен, лимонен, сабинен, гермакрин; фелландрен, карен, пинен, гермакрин

идет пучок продолговатых и разнообразно красноватых стручков, варьирующихся по размеру от ногтя до целой руки. Это **стручковые перцы**, или **чили**, от маленьких однолетних растений родом из Америки, плодовые слои которых куда крупнее, чем у других перцев. Их семена и несущая семена внутренняя складка ткани содержат большую часть едкого капсаицина, в то время как летучие молекулы высушенной пряности возникают в основном от фрагментов внутреннего плода, богатого красными и оранжевыми каротиноидными пигментами. Странное дело: летучие молекулы высушенного чили были мало изучены, но, похоже, основные возникают на терпеноидной метаболической трассе, ведущей к пигментам, и от фрагментов самих пигментов, древесных, цветочных и фруктовых.

В завершение перечного прилавка идет кучка розовых сфер размером с перечное зерно — **зерна розового перца**, разумеется! Как и чили, они из Нового Света, вырабатываемые парой разных деревьев родом из Южной Америки. В действительности у них нет никаких едких средств защиты, но они получили свое название за то, что они такого же размера, как семена черного перца, и у них примерно такой же аромат, обусловленный в основном свежими и древесными терпеноидами, хотя и без принципиально важного ротундона черного перца.

АЗИАТСКИЕ ПРЯНОСТИ: КОРИЦА, ГВОЗДИКА, КАРДАМОН

Теперь мы переходим к прилавку с полудюжиной знакомых ароматических веществ из Азии: одни — семена, другие — нет, включая парочку, которые тоже несколько едкие. Красновато-коричневые цилиндры длиной в пару дюймов: одни — отдельный толстый кусок, согнувшийся колечком, другие — сверток многочисленных бумагообразных слоев. Это версии **корицы**, коры деревьев из лаврового семейства родом из Юго-Восточной Азии, запах которой знаком по выпечке на за-

втрак и яблочным пирогам. Мы уже обнюхали ее в древесном отделе нашего воображаемого сада (см. с. 171). Основная и определяющая коричная летучая молекула, бензоид циннамальдегид, тоже бывает согревающей и едкой при высокой концентрации, и это ключевой ингредиент конфеток под названием Red Hots. В разных разновидностях корицы разные уровни циннамальдегида — одни пахнут совсем как конфетка с одной ноткой, другие — с более сбалансированными, сложными ароматами, медовой, сенной и цветочной нотками родственных бензоидов и терпеноида линалоола.

Рядом с перьями корицы лежит кучка куда более мелких коричневатых-черных продолговатых предметов с одним увеличенным грушевидным концом. Это **гвоздика**, высушенные солнцем нераскрывшиеся цветочные почки растущего в Юго-Восточной Азии дерева из семейства миртовых; его кузены включают пименту лекарственную, а также эвкалипт и гуаву, все сильно ароматические. Гвоздика получает свой определяющий и знаковый запах от ароматического соединения эвгенола, вызывающие онемение нервов свойства которого использовались в течение тысяч лет для лечения зубной боли. Его продолжающееся использование в стоматологии и ополаскивателях для полости рта может придать запаху гвоздики неудачную медицинскую ассоциацию. Гвоздика представляет поразительный вклад своих деревьев в химические средства защиты; вес высушенных цветочных почек аж на 20% составляют летучие молекулы, и до 90% этого — эвгенол. Одна-две гвоздички могут иметь большое значение в готовке.

За гвоздикой следуют несколько неострых азиатских пряностей. Есть горстка коричневых семян длиной в дюйм, каждое заключено в грубый ярко-красный сетчатый материал. Это семя — **мускатный орех**, а **мацис** — это одеяние, становящееся видимым, когда окружающий плод созревает и раскалывается пополам, тем самым привлекая внимание птиц, забирающих плод и роняющих семя. Мускатное дерево родом из Индонезии является членом древ-

Некоторые азиатские пряности

Пряность	Составляющие запахи	Молекулы
корица (<i>Cinnamomum verum</i>)	корица, мед, цветочный, древесный, гвоздика, сено	циннамальдегид 5–15%, циннамилацетат, линалоол, кариофиллен, эвгенол, кумарин
кассия, индонезийский коричник, коричник Лоурейра (<i>Cinnamomum cassia</i> , <i>burmannii</i> , <i>loureiroi</i>)	корица, едкий; сладкий, сено	циннамальдегид 15–20%, 20–50%, 55–70%; коричная кислота, кумарин
гвоздика (<i>Syzygium aromaticum</i>)	гвоздика, сладкий, цветочный, древесный	эвгенол, эвгенилацетат, кариофиллен
мускатный орех, мацис (<i>Myristica fragrans</i>)	бальзамический, сладкий, древесный, пряный, сассифрас, сосна	миристицин, сафрол, сабинен, пинен, терпиненол
звездчатый анис (<i>Illicium verum</i>)	анис, медицинский, сладкий, цветочный, зеленый	анетол, анисальдегид, феникулин
кардамон (<i>Elettaria cardamomum</i>)	цитрус, свежий, эвкалипт, лаванда, цветочный	терпинилацетат, эвкалиптол, линалилацетат, линалоол

ней родственной линии магнолий. Летучие молекулы мускатного ореха и мациса включают обычные терпеноиды, но среди них преобладают два необычных ароматических соединения. Смолисто-сладкий миристицин также второстепенная летучая молекула в моркови и петрушке, в то время как сафрол — основная летучая молекула корня сассифраса (см. с. 170).

Рядом с мускатным орехом — мелковатые, коричневатые, жесткого вида звездочки, каждый из их восьми лучей частично расщеплен и демонстрирует семя внутри. Это **звездчатый анис**, древесный высушенный плод маленького китайского дерева, который, как и указывает его название, богат теми же самыми бензозидными летучими молекулами, что и семя аниса, и по факту сейчас является основным коммерческим источником экстракта аниса. Именно звездочки, а не семена, содержат летучие молекулы. Звездчатый анис — значительная пряность во многих азиатских кухнях, в особенности китайской и вьетнамской.

Последняя пряность на азиатском прилавке — кучка мелких продолговатых стручков с плоскими боками: одни — песочно-коричневые, другие — зеленые. Это отбеленные и

неотбеленные семенные стручки **кардамона**, мечелистного кустарникового родственника имбиря родом из Индии и Юго-Восточной Азии. Он несет цветки на длинных стеблях, и они падают на землю, где его волокнистые лишённые аромата зеленые семенные стручки созревают. Внутри них семена, защищенные характерной смесью терпеноидов и терпеноидных эфиров, на удивление цветочных и фруктовых, учитывая их близость к почве, и со свежей эвкалиптово-камфорной гранью. (Несколько других родственников имбиря вырабатывают более крупные и более темные стручки, тоже называемые кардамоном; их семена более медицинские и менее широко применяемые.)

ПРЯНОСТИ ИЗ АМЕРИКИ: ДУШИСТЫЙ ПЕРЕЦ, АШОИТ, ТОНКА, ВАНИЛЬ

Теперь мы подходим к двум последним прилавкам съедобных ароматических веществ, малочисленных, но знаменитых вкладов Нового Света в мировую полку для приправ. На первом прилавке три кучки семян: в пер-

вой — семена круглые, среднего размера и коричневого цвета; во второй — маленькие и оранжево-красные; в третьей — крупные и похожие на бобы. **Душистый перец** получил свое название за тот факт, что он предлагает бензоидные ароматы двух главных азиатских специй, гвоздики и корицы, в одном компактном высушенном плоде. Он растет на пimente лекарственной, дереве из гвоздичного семейства родом из Вест-Индии. Коричная нотка берется не от главного циннамальдегида корицы, а от одной грани похожего на гвоздику и корицу метилэвгенола, так что она относительно еле уловимая.

Оранжево-красный **ашиот** — пряность, получаемая от **биксы аннатовой**, вечнозеленого кустарника, приносящего колючие семенные стручки. Внутри стручков находятся маленькие семена, покрытые насыщенно оранжево-красной ароматической плодовой мякотью. Высушенный слой мякоти используется для окрашивания как продуктов, так и тканей, и продуктам он придает мягкий лесной аромат нескольких терпеноидов, включая необычный землистый сесквитерпеноид — **спатуленол**.

Бобы **тонка** приносятся деревьями диптерикса душистого, по факту входящими в бобовое семейство. Они богаты кумарином, содержащимся в клевере и имеющим сладкий запах срезанного клевера и сушащегося сена (см. с. 177; он также содержится в семенах махлаба и в корице). Бобы тонка и их экстракты долгое время использовались для ароматизации продуктов и табака — и для замены более дорогостоящей **ванили**, — пока кума-

рин не заподозрили в том, что он потенциально токсичен. Теперь в Соединенных Штатах торговля бобами тонка противозаконна, хотя их несложно найти. Европейские страны допускают их использование в качестве ингредиентов в продуктах и напитках, но устанавливают верхние границы общего уровня кумарина в продуктах (корица порой бывает значительным источником).

Наконец-то последний прилавок с пряностями: три группы длинных коричнево-черных стручков, испускающих моментально узнаваемый аромат. Это версии ванили, вкус которой так любим и вездесущ на Западе, что английское выражение plain vanilla (простая ваниль) порой означает нечто обычное, неособенное. Истинная пряность в дефиците, к тому же дорогая; ее вкус везде и всюду только потому, что химики способны приблизительно воссоздать его синтетической смесью его основных летучих молекул, а порой просто одной летучей молекулой, придающей ему его наиважнейшую сладкую характеристику: знаковым бензоидом ванилина. Ванилин редко встречается где-либо еще в растительном мире; он придает оттенки своего сладкого тепла бензойным смолам и древесине некоторых видов дуба, где его уровень можно повысить тепловыми обработками, используемыми для изготовления бочек для вина и виски.

Стручки ванили — высушенные жарой и временем плоды вяющего растения из семейства орхидейных родом из американских тропиков. Они длинные и тонкие, с похожей на кожу оболочкой, окружающей липкую массу крохотных черных семян. Ключ к их

Некоторые пряности из Америки

Пряность	Составляющие запахи	Молекулы
душистый перец, ямайский перец (<i>Pimenta dioica</i>)	свежий, корица, гвоздика, сосна, древесный	метилэвгенол, эвгенол, пинен, кариофиллен
ашиот, аннато (<i>Bixa orellana</i>)	древесный, смолистый, землистый, фруктовый	гумулен, пинен, спатуленол, метилгептенон
бобы тонка (<i>Dipteryx odorata</i>)	сладкий, теплый, сено, карамель	кумарин, гидроксиметилфурфурол, метилгидроксифенилпропионат

Некоторые разновидности ванили

Вид ванили	Составляющие запахи	Молекулы
обычная (<i>Vanilla planifolia</i> ; тропическая Америка)	ваниль, сладкий, кремовый, миндаль, дымный, смолистый, скотный, цветочный	ванилин, ванилиновая кислота, гидроксibenзойные кислота и спирт и альдегид, гваякол, фенол, крезол, анисовый спирт
таитянская (<i>Vanilla x tahitensis</i> ; Тихоокеанские острова)	цветочный, фруктовый, миндаль, карамель, анис, ваниль	анисовые альдегид и спирт и ацетат, метиланисат, ванилин
помпона (<i>Vanilla pompona</i> ; тропическая Америка)	цветочный, сладкий, пряный, смоляной, анис, дымный, смолистый, ваниль	октадиенон, метилциннамат, анисовые альдегид и спирт и формиат и ацетат, гваякол, фенол, ванилин

притягательности — богатый набор ароматических соединений, возглавляемый характерным и сладким ванилином, кремовой и молочной ванилиновой кислотой, парой фруктовых и цветочных летучих молекул, а затем несколько молекул, менее приятных по своей природе, но их дымная, медицинская, скотная нотки придают глубину и сложность. Лучший способ обнаружить и оценить эти вторичные запахи — обнюхать бутылочку искусственного ванильного ароматизатора, состоящего по большей части или только из одного ванилина, а затем обнюхать истинный экстракт ванили или только что очищенный ванильный стручок. Более глубокие, более резкие характеристики настоящего продукта могут поразить.

Также поразительно попробовать редкую таитянскую ваниль вместе с «простой»: ее основная ванильная характеристика гораздо слабее, и у нее есть цветочная, фруктовая, миндальная и анисовая нотки, все от ее собственного набора бензоидов. Таитянская ваниль была обнаружена на ее тезке-острове в Тихом океане далеко от американских тропиков, и ее происхождение остается своего рода загадкой. Текущее предположение заключается в том, что это гибрид двух или более разных видов ванили, привезенных из Америки в Океанию для культивации. Один из воз-

можных родителей, ваниль помпона, также начинает появляться в продуктовом и парфюмерном мире; она содержит некоторые из тех же самых бензоидов, которые преобладают в таитянской ванили.

Среди всех пряностей ваниль необычна из-за скрупулезного процесса, которому ее подвергают для усиления вкуса. Вместо того чтобы просто позволить стручкам созреть и высохнуть, производители ванили собирают их, пока они все еще незрелые, подвергают их воздействию температуры в 140°F (60°C), чтобы затормозить их развитие, а затем регулярно заново нагревают их в течение нескольких недель, прежде чем высушить их и оставить в покое. Большинство бензоидных летучих молекул запасаются во внутренних плодовых тканях, привязанными к нелетучим сахарным молекулам, и они становятся ощутимыми только тогда, когда плод повреждается и ферменты отделяют их от сахаров. Процесс нагревания останавливает собственное созревание стручка без полной деактивации высвобождающих летучие молекулы ферментов и таким образом позволяет переносить жар бактериям и дрожжам расти и вкладывать свои собственные ферменты. В результате получается наполовину высушенный плод, сопротивляющийся порче и полный свободных летучих молекул, которые иначе все еще были

бы заключены в своей непахнущей запасенной форме.

Ваниль является сладким конечным пунктом ароматической палитры этой главы от самых пресных зерен до самых мощных пряностей. Из более трех десятков пряностей, что мы обнюхали, менее десяти делают акцент на летучих молекулах, которые не встречаются в свежей зелени и душистых травах, в первую очередь кумин, пажитник, имбирь, корица и ваниль. Другие работают с более распространенными терпеноидами и

бензоидами, чтобы создать свои собственные личные смеси. Однако, как и ваниль, они все испускают свои летучие молекулы, чтобы отбить у других живых форм охоту кормиться ими — по крайней мере, у тех живых форм, которые менее озабочены, чем мы, своим долгосрочным благополучием. Следующая глава приведет нас к изумительным растительным структурам и летучим молекулам, которые в действительности приглашают животных вроде нас съесть их и насладиться ими, включая, удивительное дело, перец чили и ваниль! Вперед к плодам.

ГЛАВА 13. ПЛОДЫ

Я... безопасно высадился на берег замечательного луга, лежавшего на противоположном берегу, где я... выпустил моего скакуна пасться, а затем отправился к земляничным полянам, чтобы угоститься благоуханными, лакомыми плодами, приветствуемыми сообществами восхитительных индеек, капризных самцов косуль и всеми свободными и счастливыми племенами, господствующими и обитающими на этих плодородных полях, которые, казалось, приглашали меня и присоединялись ко мне в принятии участия в обильной трапезе, преподнесенной нам самой природой.

Уильям Бартрам, «Путешествия по Северной и Южной Каролине», 1791 год

Эта мякоть — съедобная часть, и ее консистенцию и вкус невозможно описать. Жирный, похожий на масло заварной крем, богато ароматизированный миндалем, предоставляет лучшую общую идею этой мякоти, но вперемешку с этим возникают оттенки вкуса, напоминающие сливочный сыр, луковый соус, коричневый херес и другие несочетаемые продукты... Чем больше ты ешь, тем меньше ты склонен остановиться. По факту поедание дурианов — новое ощущение, ради которого стоит совершить путешествие на Восток.

Альфред Рассел Уоллес, «Малайский архипелаг», 1869 год

В Яблоке есть широкий спектр ароматов и текстур, и для тех, кто путешествует по царству вкуса, это поле для многообещающих странствий.

Эдвард А. Баньярд, «Анатомия десерта», 1929 год

Пока что в ходе нашего исследования съедобных растений мы понюхали десятки приятных листьев, корней и семян и увидели, что наше удовольствие не имеет ничего общего с тем, ради чего растения вырабатывают такие запахи. Мы можем наслаждаться душистыми травами и пряностями, потому что мы — сторонние наблюдатели за сетью взаимоотношений по вопросу жизни и смерти, которые и делают их ароматическими. Мы регулируем, в каком количестве мы их поглощаем, и наслаждаемся ими как источником бодрящих ощущений.

Когда речь заходит о плодах, мы перестаем быть сторонними наблюдателями. Мы наконец-то встречаем растительные запахи, действующие на нас в роли животных, коими мы являемся, прием в члены, с восторгом подхваченный натуралистом Уильямом Бартрамом, когда он присоединился к пиру диких индеек и оленей на их земляничных полях. Как и все мясистые плоды, ягоды, накормившие птиц, четвероногих и приматов, созданы укоренившимися материнскими растениями, чтобы поймать попутку для семян своих потомков. Плодовая мякоть — топливо для подвижных

животных, и запахи, рекламирующие ее, связаны с самыми вовлекающими и животными ощущениями, которые у нас возникают: с голодом и его удовлетворением.

Плоды — структуры, построенные растением из тканей его опыленных цветов, и первоначально они защищают развивающиеся семена различными неаппетитными средствами защиты. Когда семена созревают, мясистые плоды поспевают: они размягчаются, изменяют цвет и вкус и становятся ароматическими. Большинство мясистых плодов — впрямь я буду именовать их просто плодами — эволюционировали, чтобы привлечь внимание млекопитающих и птиц, и птицы опознают спелые в основном по их ярким цветам, а не по запахам. Многие плоды, вероятно, пахнут так, как пахнут, благодаря исконному взаимному воздействию растений и животных, больших и маленьких: наших предков-приматов, а также грызунов и летучих мышей, слонов и медведей.

Плоды — не наши основные продукты питания, но они образцовые продукты питания: образцы лакомства. Спелые плоды в лучшей форме — первостепенный образец того, какими стимулирующими и удовлетворяющими могут быть продукты питания для наших чувств: какими визуально поразительными, какими сочными, какими сбалансированными по вкусу, какими насыщенными и богатыми по аромату. Английский эссеист Уолтер Патер написал, что «все искусство стремится к состоянию музыки», к эмоциональной мгновенности музыки. Я давно считаю, что вся кулинария стремится к состоянию спелого плода. Их сенсорное богатство — это то, почему как бытовые кухарки, так и состоявшиеся шеф-повара могут счесть подходящим завершить обед тарелкой, ножом и персиком или парочкой инжиров в самом соку. Высокопробные плоды уже были приготовлены своего рода совершенным образом. И, помимо их лакомого вкуса и красоты, плоды — сосуды значения и эмоций. Они символизируют взаимоотношения, симбиоз, сотрудничество, щедрость: царство растений преобразовыва-

ет свое изобилие солнечного света и воздуха в животное питание и удовольствие.

Плоды также удивительно разнообразны. Большинство из нас знакомы с несколькими видами яблок, груш и цитрусов, а, кроме этого, может, еще с горсткой других плодов. Но, помимо этих, есть целая вселенная лакомств, банкет вкусов, для которого Герой-Углерод проделал эпохи подготовительной работы и потенциал которого любители плодов развивали в течение веков разведением растений и гурманством. И можно найти больше, чем просто лакомство. Не все любители плодов согласились бы с британским исследователем Альфредом Расселом Уоллесом, что вкус дуриана стоит того, чтобы совершить долгое морское путешествие из Англии на Дальний Восток. Как миндаль, луковый соус и херес, именитый ботаник Э.Дж.Г. Корнер позднее написал, что это «запахи смеси лука, дренажной трубы и угольного газа». Но увидеть, понюхать и вкусить колючий дуриан размером с баскетбольный мяч — это незабываемый опыт и okazия для размышления о том, в чем же заключается вся суть плодов и плодовых удовольствий. В наши дни многие плоды прибывают к нам по воздуху. Никогда еще исследователю запахов не было так легко выследить всевозможные необычные плоды: одни — опьяняюще лакомые, другие — провокационно нет.

В этой главе мы попробуем несколько десятков плодов, широкодоступных на умеренном Западе и часто поедаемых сырыми, включая несколько, которые мы склонны считать овощами (мы попробуем приготовленные ароматы в главе 18). Их географическое происхождение и семейные отношения крайне захватывающие, поэтому именно так я и сгруппировал их: несколько приблизительно. После виртуального визита в теплицу диких плодов гор Тянь-Шаня мы снова поглядим на наши воображаемые рыночные прилавки, каждый посвященный маленькой группе, связанной родственной линией или родиной. Направляйтесь прямо к вашим любимчикам, чтобы прояснить, что же именно вы в них

любите, или пройдите весь путь от яблок до дурианов, или поищите незнакомые, или просто просмотрите. Лучше всего соберите тематические тарелки настоящих плодов, попробуйте их в компании любопытных друзей и помогите друг другу выразить словами, что же именно делает их вкусными. Совершите походы на фермерские рынки и фермы, чтобы найти необычные разновидности, собранные в самом расцвете спелости. Сегодня фрукты в супермаркетах — товары широкого потребления, зачастую обедненные версии того, чем они могут быть, когда их выращивают ради вкуса, а не ради плодоносности, устойчивости к повреждениям и внешнего вида. В своей лучшей форме они могут быть истинным нектаром и амброзией Земли, как сказал Торо о диких яблоках.

ПЛОДОВЫЕ ЛЕТУЧИЕ МОЛЕКУЛЫ: ВАЖНЕЙШИЕ ЭФИРЫ, СЕРНЫЕ АКЦЕНТЫ

Многие плодовые летучие молекулы и их запахи уже знакомы по нашему туру по овощам, душистым травам и пряностям. Травяные нотки летучих молекул зеленой листвы ярко выражены в яблоках «Гренни Смит» и плодах киви. Сосново-цветочные терпеноиды ароматизируют цитрусовые плоды, а миндально-ванильные бензоиды — косточковые плоды и клюкву. Несомненно, такие молекулы имеют двойное назначение в спелых плодах: они отпугивают микробов и насекомых и в то же время приманивают более крупных существ, вынюхивающих обед навынос. Но две другие группы летучих молекул особенно важны в плодах. Одна помогает определить общую характеристику «плодовости», а другая предоставляет специальные привлекающие обоняние акценты. Вот краткое ознакомление с ними.

Самая важная плодовая группа — это **эфир**^{*}. Аромат почти каждого плода, который мы обнюхиваем, частично обусловлен одной или несколькими из этих молекул. Как мы уви-

дели, когда мы изучали семейства растительных летучих молекул, обычные эфиры формируются объединением двух разных видов коротких цепочек, спирта и кислоты. Потомственные молекулы обычно куда более приятные для нашего носа, чем родители: менее химически активные, менее раздражающие, продукты молекулярного построения, а не метаболического расщепления. Эфирные названия двойные, сперва идет название спирта, затем — кислоты плюс суффикс *-ат*^{*}. Возьмем, к примеру, обычный этиловый спирт и уксусную кислоту, соответственно имеющие вьедливый и уксусный запахи. Их эфир, этилацетат, — это молекула, которую мы можем обнаружить и понюхать в довольно-таки лишенном примесей виде; это растворитель в некоторых жидкостях для удаления лака и эпоксидных клеях. Его запах сладкий, опьяняющий и обобщенно фруктовый, и это компонент во многих плодовых ароматах.

Растения стандартно вырабатывают десятки различных эфиров из коротких спиртовых и кислотных цепочек. Таблица на страницах 142–143 перечисляет наиболее распространенные из них вместе с их индивидуальными пахучими характеристиками. Почти все описания перечисляют более одного плода, поскольку почти все эфиры содержатся в более чем одном плоде. Таким же образом любой заданный плод обычно испускает несколько эфиров, которые в совокупности часто предоставляют нечто вроде фонового гула плодовости. В таблице ниже я перечисляю некоторые из эфиров, которые особенно ярко выражены в знакомых плодах, поднимаясь над гулом, чтобы вложить свои характерные ароматические личности в яблоко, банан, грушу и прочие. Нетипичен и заслуживает отдельного упоминания **метилантранилат**, кислотная часть которого — украшенное азотом углеродное кольцо. Его цветочно-землистая характеристика помогает определить запахи винограда «конкорд» (и искусственного виноградного ароматизатора) и дикой альпийской земляники. В землянике он препят-

^{*} Имеется в виду категория сложных эфиров.

Некоторые распространенные эфиры в плодах

Эфир	Важен в
этилацетат	многие плоды
бутилацетат	яблоко
метилбутил (изоамил) ацетат	банан
метилбутират	клубника
этилбутират	клубника, цитрусовый сок, манго
гексилбутират	маракуйя
этилметилбутират	клубника, цитрусовый сок, манго, ананас
этилгексаноат	столовый виноград, ежевика
гексилгексаноат	маракуйя
метил-, этилдекадиеноат	груша
метил-, бензилбензоат	папайя
метилантранилат	североамериканский виноград, альпийская земляника

ствует как грибковым, так и бактериальным заболеваниям, а также проращиванию своих собственных семян, побуждая их расти таким образом только тогда, когда они отделены от плода. И в концентрированной форме это эффективный репеллент от птиц!

Вдобавок к обычным спиртово-кислотным эфирам есть две другие подгруппы, которые различно образуются, включают углеродно-кислородные кольца в свои структуры и играют важные роли в специфических плодах. **Лактоны** (см. с. 140) придают характеристики, напоминающие те несколько материалов — кокос и плод персика, в которых мы

встречаем их, но также молочные жиры типа сливок и масла. И маленькая горстка кольцевых молекул под названием **фураноны** (наиболее значим **фуранеол**), которые придают сладкую, карамельную характеристику вместе с другими нюансами запахам клубники, дыни-канталупы, ананаса и томата. Несмотря на всю их вероятную первоначальную притягательность для нас (фуранеол и другие были обнаружены в грудном молоке), фураноны и лактоны также играют защитную роль; они напоминают молекулы, которые микробы используют для подачи друг другу сигналов, и, таким образом, могут помешать заражению

Некоторые плодовые лактоны

Лактон	Характеристики запаха	Важен в
гамма-гексалактон	кокос, сено	папайя
дельта-окталактон	кокос, молочные продукты	манго, ананас
гамма-окталактон	кокос, фруктовый, зеленый	слива, папайя
дельта-декалактон	персик, молочные продукты, кокос	персик, ананас
гамма-декалактон	свежий, персик, кремовый	абрикос, персик, слива, манго
гамма-додекалактон	молочные продукты, фруктовый	абрикос, слива
винный лактон (двухкольцевой гамма-лактон)	сладкий, кокос	яблоко «кокс», мандарин, грейпфрут, юдзу

Некоторые плодовые фураноны

Фуранон	Характеристики запаха	Составляет запахи
фуранеол, клубничный фуранон (гидроксидиметилфуранон)	карамель, фруктовый	садовая клубника, ананас, манго, томат, канталупа
сотолон, пажитниковый фуранон (гидроксидиметилфуранон)	пажитник, карамель, кленовый сироп	ананас
мезифуран, ягодный фуранон (метоксидиметилфуранон)	карамель, прокислый, дымный	альпийская, мускусная земляника
кленовый фуранон (этилсотолон)	карамель, фруктовый	ежевика, малина
винный лактон (диметилбензофуранон)	сладкий, кокос	яблоко «кокс», мандарин, грейпфрут, юдзу

ими. Особенно примечателен перекрестный десятиуглеродный двухкольцевой фуранон, известный как **винный лактон**, придающий кокосовую сладость как свежим плодам, так и винам, но впервые открытый в моче коалы:



это также метаболический побочный продукт питания исключительно богатыми пиненом эвкалиптовыми листьями!

Теперь к тому, что я называю привлекающей обоняние группой плодовых летучих молекул. Они бывают различных цепочечных и кольцевых структур, но объединяются одним общим свойством: присутствием серных атомов. Их запахи охватывают весь спектр от навязчивых до определяющих и до отвратительных. Вы помните сульфидные, вонючие, похожие на гниющие овощи **сульфиды** и **тиолы**, вырабатываемые микробами в бедных кислородом местах обитания типа нашего рта и внутренностей? И содержащие серу цепочки, придающие благоухание кошачьей моче и человеческому поту? Некоторые плоды вырабатывают эти же самые и похожие молекулы, но обычно в следовых количествах, которые отодвигают их на второй план эфирного гула, в то же время добавляя иное измерение совокупному запаху. Такая характеристика часто описывается как «экзотическая» или «тропическая», поскольку она более свойственна азиатским и южноамериканским плодам, где

животная мускусность, возможно, помогла расширить их притягательность для местной фауны. Как мы увидим, у откровенно серного дуриана есть множество поклонников в джунглях.

Названия серных летучих молекул многочисленны и сбивающие с толку. Сульфиды знакомы по минеральному и животному миру. Термины **сульфанил-**, **-тиол** и **тиа-** указывают на добавочное присутствие серы в углеводных цепочках стартового набора, в эфирах и даже в терпеноидах. Сульфаниловые спирты, эфиры и кетоны критичны для опознания грейпфрута, гуавы и маракуйи, а также важны для некоторых других, от тропического манго до клубники и европейских винных сортов винограда. Метилсульфанилгексанола, содержащийся в маракуйе, — мясной, фруктовый серный компонент нашего подмышечного пота, а метилсульфанилпентанон, содержащийся в нескольких плодах, — кетон кошачьей мочи!

Итак, вот некоторые из специальных летучих ингредиентов плодовых ароматов: определяющие плодовость обычные эфиры, кремово-кокосовые лактоны, сладкие карамельные фураноны и экзотические, животные серные молекулы. Теперь вперед к самим плодам, после обычного дисклеймера. Как и цветы, из которых они образовались, плоды испускают много-много летучих молекул, и

Некоторые важные серные летучие молекулы в плодах

Серная молекула	Характеристики запаха	Важна в
диметилсульфид, диметил ди-и три-сульфиды	серный, приготовленные овощи	личи
метантиол, этантиол, пропантиол	серный, гниющая капуста	дуриан, личи
сульфанилгексанол	цитрус, тропический, грейпфрут	грейпфрут, гуава, маракуйя, винные сорта винограда (Совиньон-Блан, другие)
метилсульфанилгексанол	мясной, фруктовый, сера	маракуйя
сульфанилгексилацетат	черная смородина	гуава, маракуйя, клубника
метилсульфанилацетат и-бутират	сырный, чеснок, капуста	клубника
метилсульфанилпентанон	тропический, кошачья моча	грейпфрут, юдзу, манго; черная смородина?
метоксиметилбутилтиол	черная смородина, сера	черная смородина
метилбутентиол	серный	манго
ментентиол	грейпфрут, сочный	грейпфрут
этилсульфанилэтантиол	жареный лук	дуриан
диметилтретиолан	серный, лук	дуриан

здесь я могу назвать только пригоршню наиболее ярко выраженных — зачастую только для одной из многих вариаций заданного плода. Далее следуют наброски, а не портреты. Но наброски могут прояснить, какие черты делают конкретные плоды узнаваемыми в качестве самих себя, помогают нам заметить эти черты и оценить характеристики, формирующие их притягательность.

УМЕРЕННЫЕ ПЛОДОВЫЕ ЛЕСА ТЯНЬ-ШАНЯ

Прежде чем мы вернемся к нашей упорядоченной последовательности рыночных прилавков, давайте совершим короткую виртуальную экскурсию к остаткам дикой местности, обеспечившей их товаром. Вообразите, что вы летите, как летел Рафаил Джона Мильтона через прятные леса Эдема, но вместо этого к настоящим лесам в центральноазиатской системе горных хребтов, извест-

ной в Китае как Тянь-Шань, или «небесные горы». Она расположена к северу от Индийского полуострова и Гималаев и простирается на отметках от ниже уровня моря до высоты более чем двадцати четырех тысяч футов, или четырех с половиной миль (семь тысяч метров). Этот регион охватывает бесконечные различные комбинации типов почвы, обнажения и климата, и некоторые из этих экологических участков служат приютом для предков или близких родственников значительного количества наших любимых плодов.

На средних отметках высоты в Казахстане и Таджикистане путешественники в течение веков сообщали о находках обширных рощ и даже лесов диких яблонь, включая один из главных родительских видов наших культивированных яблок. Неподалеку располагается бывшая казахстанская столица Алма-Ата*, чье название происходит от местного названия этого плода и где в 1990-х годах журналист Фрэнк Браунинг наблюдал яблони, «расту-

* С 1997 года столицей Казахстана является Астана.

щие везде и всюду, вдоль изгородей, между трещинами в тротуаре». Некоторые из горных деревьев приносят яблоки столь же крупные и лакомые, сколь современные «улучшенные» разновидности. И яблоки — это только начало. Рядом с ними в плодовых лесах региона Тянь-Шань растут дикие виды груш, абрикосов, вишен, слив и шелковиц. А также инжир и гранат, виноград, смородина и крыжовник. А еще земляника и малина с ежевикой, клюква и бузина. (А еще грецкий орех, миндаль, лесной орех и фисташка.)

Большинство этих плодов лишь едва напоминают то лакомство, потенциал которого развили бы тысячелетия селекции и разведения, но леса Тянь-Шаня порой близки к раю сырья материалов и обещания для любителей плодов. И их дикие, но при этом крупные сладкие яблоки — свидетельство мощи животной необходимости для направления творческой деятельности растений. Растительные биологи Барри Джунипер и Дэвид Мэбберли пришли к заключению, что деревья, приносящие крупные сладкие плоды, получили предпочтительное внимание и распространение от азиатского бурого медведя, объедающегося всевозможной пищей осенью, чтобы подготовиться к спячке. По их мнению, медведи были первоначальным Джонни Яблочным Семечком.

Многие из древесных фруктов и ягод Тянь-Шаня — члены семейства розоцветных; там также растут более двадцати видов самой розы. Принадлежащие к семейству роз древесные плоды подразделяются на две разные группы: семечковые плоды (яблоки и груши) с их скоплением маленьких семян в жесткой сердцевине, проходящей через центр, а затем косточковые плоды (вишня, слива, абрикос и персик) с одним-единственным семенем, окруженным крупной, центральной, твердой косточкой. Семейное сходство может быть неочевидным по их формам или вкусам, но вы можете получить намек на это по типичному запаху, когда выковыриваете семечко-другое из древесных плодов и внимательно жуετε. Они все горькие, очевидно защитный меха-

низм, чтобы отбить у животных охоту жевать их, и они все пахивают экстрактом миндаля. Мы узнаем этот запах, потому что миндаль — это семена вида-собрата косточковых плодов, и, когда они раздавливаются, ароматические разновидности реагируют, испуская летучий бензальдегид в качестве предупреждающей молекулы вместе с горьким и потенциально смертельно токсичным циановодородом (см. с. 231).

Семейство розоцветных добилося довольно-таки значительных успехов в колонизации большей части Северного полушария, зачастую благодаря разносящим семена птицам. Многие плоды региона Тянь-Шань первоначально пришли из других мест, и у них есть родственники в Евразии и Северной Америке, и плоды, которые мы едим сегодня, часто имеют сложную мультиконтинентальную родословную. Когда мы вернемся на наш виртуальный рынок, я начну с плодов, которые мы уже мельком углядели в горах, и условно сгруппирую их и другие плоды по семейству и родине. Плоды достаточно часто встречаются нам в повседневной жизни, поэтому я в основном обойдусь без необязательных описаний.

СЕМЕЧКОВЫЕ ПЛОДЫ: ЯБЛОКИ, ГРУШИ, АЙВА

Для начала: прилавок, посвященный яблоку и товарищеским растущим на деревьях семечковым плодам, которые представляют образец выработки эфиров. Не считая винные сорта винограда и крахмалистые банан и платан, яблоки — самый популярный плод в мире: годовое производство составляет примерно двадцать фунтов (десять килограммов) на каждого человека планеты, и есть тысячи названных разновидностей. В эфирах яблока преобладают парочки из уксусной кислоты со спиртами длиной в два, четыре и шесть углеродов, и также вносят свежую характеристику летучие молекулы зеленой листвы. Среди широко растущих яблочных разновидностей зеленокожий сорт «Гренни Смит» примеча-

телен своим относительно низким уровнем эфиров и ароматом, в котором вместо этого преобладают альдегиды зеленой листвы. Красно-зеленый Макинтош такой же, в то время как более однородно красные и желтые разновидности, такие как «фуджи», «делишес», «гала» и «пинк леди», более насыщенно эфирные. Переспелый плод обладает похожей на растворитель характеристикой из-за преобладания этилацетата. В большинстве случаев разновидности, спеющие в начале сезона, имеют тенденцию быть благоуханными и хрупкими, в то время как спеющие в конце сезона разновидности лучше хранятся и проявляют свой аромат, только когда их жуешь.

В 2007 году в компании своего друга и коллеги Дэйва Арнольда я получил возможность попробовать несколько сотен яблочных разновидностей из коллекции яблочной зародышевой плазмы Министерства сельского хозяйства США в Женеве, Нью-Йорк. Среди них мы уловили нотки аниса, груши, банана, цветов, чая, цитруса и кокоса благодаря следам бензоидов, терпеноидов и необычных эфиров, характеризующих эти материалы. Тамошние исследователи рассказали нам, что

они сталкивались с плодами, напоминающими томаты, масло, капусту, восковые мелки и кошачью мочу. Яблочное гурманство достигло высшей точки с английским писателем начала двадцатого века Эдвардом Бэньярдом, описавшим ароматы и идеальные периоды выдерживания в подвале — порой в течение месяцев — более пятидесяти разновидностей. Сорт «гравенштейн», мою любимую специализацию маленьких ферм в Северной Каролине, он описал как «благоухающий самой эссенцией яблока»: парфюм, который «считается из маслянистой кожицы и остается на пальцах». Удивительно верно! И за его любимым плодом явно стоит нечто большее, чем даже он мог когда-либо мечтать попробовать.

Бэньярд назвал яблоко царем плодов, а грушу — царицей. **Европейские** виды **груши**, также широко растущие в Америке, имеют несколько общих из тех же самых коротких эфиров, содержащихся в яблоках, и именно поэтому гексил- и бутилацетаты могут напоминать как яблоко, так и грушу. Крайне выраженные грушевые эфиры строятся из длинной изломанной десятиуглеродной декадиеновой кислоты. Их самый интенсив-

Яблоки, груши, айва

Плод	Составляющие запахи	Молекулы
яблоко (<i>Malus domestica</i> или <i>pumila</i>)	сладкий, спелый, яблоко, растворитель, зеленый, свежий	эфиры (этил-, бутил-, метилбутил-, гексилацетаты), бутанол, гексеналь и гексаналь
яблоко: необычные акценты	анис, пряный, роза, апельсин, клубника, ананас, цитрус, кокос	эстрагол, анисол, розовый оксид, дамасценон, винный лактон
груша евроазиатская (<i>Pyrus communis</i>)	сладкий, спелый, яблоко, груша, цветочный	эфиры (бутил- и гексилацетаты, метил- и этилдекадиеноаты, фенилэтилацетат)
груша азиатская (<i>P. pyrifolia</i> , <i>serotina</i> , <i>ussuriensis</i>)	сладкий, спелый, яблоко, растворитель, цветочный	эфиры (этилацетат и -бутират и -гексаноат, гексилацетат), фарнезен, толуол, фенилэтанол
айва (<i>Cydonia oblonga</i>)	зеленый, древесный, фруктовый, сладкий, винный, груша, цветочный	фарнезен, эфиры (этилгексаноат, -октаноат, -декадиеноат), витиспиран, неролидол

ный источник — разновидность, известная как «бартлетт» или «вильямс», но «комис» вырабатывает большее количество совокупных летучих молекул, включая похожий на клубнику этилметилбутират и цветочный бензотриазол эфир — фенилэтилацетат. Другие распространенные разновидности, такие как «анжу» и красновато-коричневый «боск», более слабо испускают летучие молекулы и имеют относительно мягкие ароматы. **Азиатские груши**, все более доступные на западных рынках, обычно менее грушевидные, чем европейские, более круглые и красновато-коричневые, с более хрустящей текстурой и совершенно иным ароматом. Они испускают либо мало, либо вообще никакие из типичных грушевых эфиров и обладают более обобщенной плодовостью, порой похожие на конфету, порой цветочные, порой с ярко выраженной напоминающей растворитель ноткой толуола, который мы в иных случаях встречаем в клее, пластике и типографских красках. **Айва** тоже родом из Центральной Азии и похожа на покрытое пушистой кожицей, более-менее продолговатое желтое яблоко. Ее мякоть плотнее и жестче, чем у яблока, поэтому ее обычно готовят. Даже сырая айва удивительно ароматная, когда спелая, богато фруктовая из-за нескольких эфиров с более длинной цепью, чем у содержащихся в яблоке, и подкрепленная несколькими терпеноидами, придающими ей сенную, винную и цветочную характеристики.

КОСТОЧКОВЫЕ ПЛОДЫ, А ТАКЖЕ ИНЖИР, ГРАНАТ, ХУРМА

Следующий прилавок: косточковые плоды деревьев из семейства розоцветных, два других неродственных древесных плода, тоже растущих в центральноазиатских лесах, и еще один с более восточной территории. Косточковые плоды — виды-собратья миндаля из рода *Prunus*, имеют несколько общих с ним бензотриазольных летучих молекул. Зернышки защищены летучим пахнущим эссенцией миндаля предупредительным сигналом (бензальдегид!) и

порой используются для ароматизации алкоголя и сиропов. Мякоть **кислых вишен**, любимиц для выпекания пирогов, обладает самым сильным миндальным запахом, в основном с бензотриазольными поддерживающими нотками цветов, меда, гвоздики и ванили. **Сладкая вишня**, не просто другая разновидность, но другой вид, имеет общие цветочную и медовую нотки, но снижает другие бензотриазоиды в пользу фруктовых эфиров и летучих молекул зеленой листвы.

Сливы очень разнообразны: есть дюжина видов и пара тысяч названных разновидностей, многие из которых — гибриды, а также гибриды слив и абрикосов (плумкоты, плуоты, априумы). Даже среди основных европейских видов есть фиолетовые, зеленые и желтые разновидности — черносливы, ренклоды, терносливы, мирабели — с характерными ароматами, и коммерческие сливы в Северной Америке — американо-азиатские гибриды в основном. Большинство слив, похоже, имеют общие компоненты: бензальдегид, цветочный линалоол, несколько эфиров и сладкие кокосовую и персиковую нотки лактонов, в европейских сортах более разнообразные спирты и эфиры, в американо-азиатских гибридах более разнообразные лактоны.

По сравнению со сливами **персики и нектарины** гораздо легче охарактеризовать. Они имеют общие семейные бензальдегид, линалоол и сложные эфиры, но их затмевают десятиуглеродные лактоны, причем настолько, что характеристика этих чистых молекул описывается как персиковая. Поскольку мы встречаем такие же или очень похожие лактоны в молочных продуктах и тропических кокосах, манго и ананасах, ароматы персика могут также напоминать эти нюансы. Сладкие лактоновые нотки также ярко выражены в **абрикосах**, смешанные с важной фиалковой характеристикой ионона и зеленой свежестью восьми- и десятиуглеродных цепочек, более типичных для листьев и огурцов.

Рядом с косточковыми плодами лежат два плода деревьев, не принадлежащих к семейству роз, распространившихся до Централь-

Некоторые косточковые плоды

Плод	Составляющие запахи	Молекулы
кислая вишня (<i>Prunus cerasus</i>)	миндаль, цветочный, мед, гвоздика, ваниль	бензальдегид, бензиловый спирт, фенилацетальдегид, эвгенол, ванилин
сладкая вишня (<i>P. avium</i>)	зеленый, цветочный, миндаль, фруктовый	гексеналь, гексенол, гексанааль, ионон, бензиловые спирт и альдегид, эфиры (этилацетат и гексаноат)
слива европейская (<i>P. domestica</i>)	цветочный, фруктовый, миндаль, спирт, зеленый, цветочный, персик	линалоол, эфиры (этилбутират, гексилацетат, многие другие), бензальдегид, метилбутанол, гексанол, нонанол, гамма-декалактон
слива азиатская, американская (<i>P. serotina</i> , <i>americana</i> , другие и гибриды)	цветочный, миндаль, фруктовый, кокос, персик, кремовый, свежий	линалоол, бензальдегид, эфиры (бутилацетат и -бутират), гамма-окта-, гамма-дека-, гамма-додека-лактоны, нонаналь, гексеналь
персик, нектарин (<i>P. persica</i>)	персик, кокос, кремовый, свежий, миндаль, фруктовый, цветочный	гамма- и дельта-декалактоны, гексеналь и гексанааль, бензальдегид, эфиры (бутил-, гексил-, гексенацетаты), линалоол
абрикос (<i>P. armeniaca</i>)	цветочный, персик, кремовый, лист герани, огурец	ионон, гамма-дека- и гамма-додека-лактоны, линалоол, октадиенон, нонадиеналь

ной Азии из своей первоначальной родины в Средиземноморье. **Инжир** начинает свой жизненный цикл как грушевидный цветок, пустой внутри, пропускающий крошечных опыляющих ос через маленькую пору, затем заполняющийся и созревающий в сладкую мягкую массу с маленькими хрустящими семенами или псевдосеменами внутри. Его летучие молекулы включают ацетатные эфиры, но также четырехуглеродный спирт и кетон, имеющие кремовую, масляную характеристики, и миндальную и цветочную нотки; совокупный эффект может напоминать мед. У **граната** тонкая, похожая на кожу оболочка, покрывающая десятки индивидуальных, сочных, типично темно-красных плодиков с твердым семенем в центре. У плодиков мягкий, но уникальный аромат с зелеными и сосново-древесными акцентами его эфирного ядра.

Хурма — последний плод на этом прилавке, оранжевый плод дерева, размером с кулак, родом из Китая и сейчас выращиваемый в Японии, Израиле, Италии и Калифорнии. Его американский вид-собрать мельче и более семенистый, менее широко ценим, его труднее найти. Азиатская хурма относительно мягкая, с медовой, карамельной и бальзамической сладостью и оттенком картофеля из-за содержащего серу альдегида метионаля.

КЛУБНИКА/ЗЕМЛЯНИКА

Теперь мы смещаем ракурс с крупных плодов, растущих на древесных ветвях, на маленькие плоды, растущие гораздо ниже: на лозах, стеблях, маленьких кустарниках и прижимающихся к земле растениях. На те, которые условно называют ягодами (ботаническое

Некоторые плоды деревьев не из семейства роз

Плод	Составляющие запахи	Молекулы
инжир (<i>Ficus carica</i>)	фруктовый, кремово-масляный, древесный, миндаль, цветочный	эфирь (бутил-, изоамил-, гексилацетаты), ацетонин (гидроксипутанон), гермакрин, бензальдегид, линалоол
гранат (<i>Punica granatum</i>)	зеленый, фруктовый, сосна, древесный, прокислый, грибной, цветочный	гексеналь, этилметилбутират, пинен, мирцен, кариофиллен, гептеналь, этилгексанол
хурма (<i>Diospyros kaki</i>)	зеленый, картофель, мед, карамель, бальзамический	гексеналь, метиональ, фенилацетальдегид, фуранеол, метилацетат

определение включает бананы и исключает малину — мы его проигнорируем). Семейство розоцветных развило много отменных диких ягод в Центральной Азии и других регионах, все из них — культивированы и улучшены любителями плодов Героя-Углерода, и ни одна из них так значительно, как земляника. Сага обычной садовой земляники заполнила книги. Здесь короткая, летучая версия, история, которую вы можете почуять над несколькими кучками разных по размеру и аромату плодов на прилавке.

Ботаническое название земляники, *Fragaria*, происходит от ее названия на древней латыни, *fraga*, что означало «благоухающая ягода». Из двадцати видов рода *Fragaria* **альпийская** или **дикая земляника**, по-французски *fraise des bois*, — самая типичная и широко распространенная в северных регионах Северного полушария, включая регион Тянь-Шань. И белый, и красный сорта были взяты в европейский сад из дикой природы много веков назад. Маленькие, губчатые плоды все еще выращивают как культуру специального назначения, и у них аромат, сильно отличающийся от современной земляники, со смолистыми терпеноидами и плодово-цветочным азотным летучим метилантранилатом, общим с «конкордом» и родственными американскими сортами винограда (см. с. 256).

Вторая местная северная евроазиатская земляника — **мускусная земляника**, ги-

бридный потомок альпийского и другого дикого европейского вида, *F. viridis*. Ее плоды несколько крупнее, неравномерно красные снаружи и белые внутри, и, как и предполагает ее название, она обладает более богатым ароматом, чем альпийская, с разнообразием эфиров вместо терпеноидов, включая один экзотический, содержащий серу, немного метилантранилата и два фуранона — мезифуран, вкладывающий как желательную карамель, так и менее желательную прелость, и карамельно-фруктовый фуранеол. Она может быть лакомой, но растение приносит плоды только в течение пары недель каждый год.

И это было примерно все касательно европейской земляники — метилантранилат плюс терпеноиды или эфиры плюс фураноны — до открытия Нового Света. На сцену выступили два американских земляничных вида, оба являются гибридными потомками альпийского вида. Французский исследователь с невероятно уместным имечком Фрезье (что созвучно с французским словом «земляника/клубника») собрал с Тихоокеанского побережья Чили образцы сорта, веками культивируемого народами мапуче и уильиче. Эта **чилийская земляника** была белой, крупной и богато ароматической, с фруктовыми эфирами, персиковым лактоном и более изысканным фураноном — фуранеолом. Английские колонисты обнаружили другой вид в далекой восточной Северной Америке: **виргинскую**

землянику, которую Уильям Бартрам описал как растущую в благоуханном изобилии, красную и плодоносную, столь же одаренную эфирами, фуранонами и лактоном. Два американских вида очутились в саду коллекционера во Франции, и где-то в начале восемнадцатого века пыльца виргинской оплодотворила завязи чилийской.

В результате родилась современная гибридная **садовая земляника/клубника** *Fragaria x ananassa*, названная так в то время, как объяснил Антуан Дюшен (см. с. 140), потому, что ее запах напоминал ананас как по насыщенности, так и по качеству. Само собой разумеется, одни и те же летучие молекулы играют главную роль в обоих плодах: сладкие фуранеол и эфиры бутирата. И, в отличие от альпийской и мускусной ягод, ни американские родители, ни их гибридное потомство не испускают цветочно-фруктовый метилан-

транилат. Для европейских носов, новый гибрид испускал бы запах, скорее похожий на экзотический ананас, чем на известные им виды земляники. (Единственное известное исключение: немецкий старинный гибрид Мизе Шиндлер, испускающий немного метилантранилата.)

Нынешняя обычная гибридная земляника также имеет масляную и серную нотки, а еще сырную от масляной кислоты, ингредиента эфиров бутирата. Как только вы осознаете, что в землянике есть эти не такие уж и фруктовые нотки, вы можете порой уловить их и оценить глубину, которую они придают вкусу. Чтобы проявить их более отчетливо, положите корзину свежей земляники в пластиковый пакет и завяжите его, оставив его достаточно надутым воздухом. Спустя несколько часов аккуратно раскройте пакет и принимайтесь. Она будет на удивление вонючей, возможно

Некоторые земляничные разновидности

Разновидность земляники	Составляющие запахи	Молекулы
альпийская, дикая, <i>fraise des bois</i> (<i>Fragaria vesca</i>)	смолистый, древесный, дикая земляника	пинен, мирцен, терпиненол, фелландрен, миртенилацетат, метилантранилат
мускусная (<i>F. moschata</i>)	фруктовый, потный, мускусный, дикая земляника, прокислый, карамель, тропический	эфиры (гексил-, октил-, миртенилацетаты; метилбутират), метилмасляная кислота, метилантранилат, мезифуран, фуранеол, серные летучие молекулы (сульфанилгексилацетат)
чилийская (<i>F. chiloensis</i>)	фруктовый, сладкий, карамель, потный, персик	эфиры (бутил- и этилацетат, этилбутират и -гексаноат), мезифуран, фуранеол, метилмасляная кислота, декалактон
виргинская (<i>F. virginiana</i>)	фруктовый, сладкий, карамель, смолистый, сырный, кокос	эфиры (метил- и этилбутират и метилбутират), мезифуран, фуранеол, терпиненол, масляная кислота, окталактон
обычная, садовая, виргинская x чилийская (<i>Fragaria x ananassa</i>)	сладкий, карамель, зеленый, фруктовый, масляной, сырный, потный, тропический	фуранеол, гексеналь, эфиры (метил- и этилбутират и метилбутират), диацетил, масляная кислота, серные летучие молекулы (метантиол, метилтиоацетат)

потому, что следовые эмиссии масляной кислоты и/или серных молекул скапливаются до уровня, достаточно высокого, чтобы состоять с эфирами за наше восприятие.

В течение многих поколений разводчики плодов были в первую очередь озабочены развитием более крупных, более сочных, более плодоносных разновидностей земляники, и аромат лишенной антранилата обычной земляники не сильно-то изменился или же лишь поблек по насыщенности и сложности. Это изменилось в 1990-х годах с появлением французской разновидности **Мара де Буа**, выведенной специально, чтобы вернуть антранилатовый характер альпийской земляники (*fraise des bois*) обычной землянике. Она была хорошо принята и служит хорошим предзнаменованием для возрастающего разнообразия вкусов крупных, сочных плодов. Тем временем выискивайте миниатюрные альпийскую и мускусную земляники. Если у вас есть доступ к солнечному участку, посадите образец земляники.

ЯГОДЫ СО СТЕБЛЯ, КУСТА И ЛОЗЫ

Теперь вперед ко второму прилавку с полудюжиной кучек маленьких ягод, несколько коричневых, пушистых и продолговатых, а затем несколько разных гроздей винограда. Сначала два вида-собрата из щедрого семейства розоцветных. Ежевику и малину называют стебельными ягодами, потому что они растут на длинных, тонких, жестких, похожих на тростинки стебельках, обычно шипастых. Они члены плодового и запутанного рода *Rubus*, включающего сотни разных видов и гибридов, среди которых — **ежевика** сизая, малина великолепная, морощка, бойзенова ягода и региональные версии темно-фиолетовой ежевики и красной малины. Местные виды стебельных ягод имеются на большинстве континентов, причиной чему (как минимум отчасти) является то, что они — подходящие для птиц маленькие ярко окрашенные плоды. Из самых распространенных разно-

видностей на рынках и в садах присутствует ежевика, которая характеризуется ярко выраженными карамельно-сладкими фуранонами, цветочным линалоолом и фиалково-цветочными ионами, а также кокосово-сырным нюансом семиуглеродного кетона, гептанона. В **малине** преобладают цветочные летучие молекулы, и она испускает необычную молекулу, достаточно специфическую для этой ягоды, поэтому она была названа малиновым кетоном; это бензоидное кольцо, украшенное четырехуглеродной цепочкой и имеющее ягодную, цветочную и похожую на джем из сваренных плодов характеристики.

Теперь мы оставляем семейство розоцветных позади и переходим к паре неродственных, но плодородных производителей ягод. Род *Vaccinium* включает несколько сотен в основном северных кустарниковых видов, процветающих во влажной и лесной местности с кислыми почвами; он дает нам чернику, клюкву, чернику облиственную, бруснику и их многочисленные вариации. **Черника** бывает нескольких различных видов с широко разнообразными летучими смесями. Низкорослые разновидности обычно имеют более сильные и более эфирные ароматы, в то время как более распространенные высокорослые сорта обладают свежей, цветочной и чайной нотками альдегидов и терпеноидов. **Клюква** богата миндальными, смолистыми и сладко-бальзамическими бензоидами с избыточной бензойной кислотой, составляющей терпкость и устойчивость к порче. Евро-американский вид клюквы (*V. oxycoccos*), как утверждается, имеет более высокий уровень летучих выбросов и более насыщенный аромат, чем коммерческий американский вид.

Кустарниковый род *Ribes* включает около 250 видов родом из умеренного пояса Северного полушария и дает нам несколько относительно второстепенных ягод — смородину и крыжовник. **Черная смородина** в особенности обладает характерным прокислым оттенком из-за присутствия нескольких содержащих серу летучих молекул, вероятно, включая

Некоторые распространенные ягоды

Плод	Составляющие запахи	Молекулы
ежевика (<i>Rubus fruticosus</i> и другие)	карамель, фруктовый, фиалка, цветочный, кокос, сырный	фуранеол, кленовый и другие фураноны, этилгексаноат, ионы, линалоол, гептанон, гептанол, гексаналь
малина (<i>Rubus idaeus</i> и другие)	малина, фиалка, цветочный, сосна, фруктовый	малиновый кетон, ионы, дамасценон, пинен, эфиры (этилацетат и -гептаноат)
черника (<i>Vaccinium corymbosum</i> и другие)	свежий, цветочный, жирный, фруктовый, чай	гексеналь, линалоол, нонадиеналь, метилметилбутират, геранилацетон, дамасценон
клюква (<i>Vaccinium macrocarpon, oxycoccos</i>)	миндаль, цветочный, смолистый	бензальдегид, бензиловый спирт, бензилбензоат, терпинеол, этилметилбутират, ионон, гептеналь
черная смородина (<i>Ribes nigrum</i>)	фруктовый, свежий, сосна, прокислый, серный	эфиры (этилбутират, гексилацетат, метилбензоат), гексеналь, пинен, терпиненол, метоксиметилбутилтиол; кошачий кетон?
крыжовник (<i>Ribes uva crispa</i>)	травяной, гриб, ананас, яблоко, цветочный	гексеналь, октенол, этил- и метилбутират, гексенон, ацетофенон
китайский крыжовник, киви (<i>Actinidia chinensis, разновидность deliciosa</i>)	зеленый, растворитель, фруктовый	гексеналь, гексеналь, пентанон, эфиры (метил- и этилацетат и -бутират), пинен
золотой киви (<i>A. chinensis, разновидность chinensis</i>)	фруктовый, свежий, жирный, тропический	эфиры (этил- и бутилбутират), гексеналь, гептанааль, октанааль, эвкалиптол, диметилсульфид

«кошачий кетон» (см. с. 83), но исследования с этим не согласны. **Крыжовник** — более крупный и более кислый родственник черной смородины; в нем преобладают зеленые и фруктовые летучие молекулы с цветочной ноткой ацетофенона.

Еще более крупные пушистые коричневые продолговатые плоды рядом с крыжовником известны как **китайский крыжовник** в Новой Зеландии, где сельскохозяйственные производители пережили бум в 1960-х годах, когда их выращиваемая культура продвигалась в Соединенных Штатах как **киви**. Он растет на древесном вьющемся растении родом из Китая и более примечателен своей ярко-зеленой

мякотью и венцом маленьких черных семечек, чем своим ароматом, действительно напоминающим неродственный европейский крыжовник. Подходяще к его цвету преобладают альдегиды зеленой листвы с эфирами и похожим на растворитель кетоном, смещающими травянистость в плодовую область. Менее распространенная разновидность, **золотой киви**, созревает до желтоватой мякоти и перекрывает зеленые нотки более изобильными эфирами, эвкалиптом и прокисло-тропическим сульфидом.

Теперь вперед к знакомому виду гроздьям. Их тоже собрали с вьющихся лоз, растений с длинными стеблями, поддерживающих

Некоторые европейские и американские сорта винограда

Виноград	Составляющие запахи	Молекулы
столовый, неароматический (<i>Vitis vinifera</i>)	зеленый, свежий, восковой, фруктовый, цветочный	эфирь (этилацетат и -гексаноат), гексаноаль, октаноаль, нонаноаль, деканоаль, фенилэтанол
мускатный (<i>V. vinifera</i> , разновидность <i>Muscat</i>)	сладкий, цветочный, роза, цитрус, фруктовый, лаванда	линалоол, гераниол, цитронеллол, эфирь (линалил-, геранил-, цитронеллилацетаты)
круглолистный (<i>V. rotundifolia</i>)	прокислый, карамель, цветочный, фруктовый, потный	амиоацетофенон, мезифуран, фуранео, фенилэтанол, эфирь (этиметибутират и -бутират), метилмасляная кислота
Конкорд (<i>V. labrusca</i>)	фруктовый, цветочный, мускусный, клубника, карамель	метилантранилат, амиоацетофенон, эфирь (этил- и метилгидроксипутират, этилдекадиеноат), дамасценон, фуранео, мезифуран

себя, цепляющихся к соседним объектам или стелющихся по земле. Английское слово *vine* (лоза) произошло от латинского слова «вино», и винный сорт винограда — первообразная лоза. Его дикие предки обвивали деревья в лесах по всей Центральной и Западной Азии, и виды-собратья делали то же самое в Северной Америке.

Большинство современных **столовых сортов винограда** — разновидности европейского винного сорта винограда, и у большинства довольно-таки простой аромат, обусловленный парочкой фруктовых эфиров, свежими альдегидами и цветочным спиртом без каких-либо выраженных терпеноидов. **Мускатный виноград** — это единственное исключение: это древняя европейская разновидность, возможно первая опознанная как характерный сорт, название (и синоним **мускадин**), вероятно, связано со столь же выраженным запахом кабарги из рода *Moschus* (см. с. 371). Он богат терпеноидами и их ацетатными эфирами, и у него сильный сладкий аромат с розовым и цитрусовым аспектами.

(О винных сортах винограда и их летучих молекулах см. с. 450.)

Два других исключительных сорта винограда — американские виды с напористыми ароматами, когда-то известные как «лисы». Эта характеристика, возникающая из-за редкого содержащего азот бензоида аминацетофенона, важна в некоторых тропических цветах, пахучем каштановом меде и кукурузных чипсах. Аминацетофенон не был обнаружен на лисьих телах, но, оказывается, он важная летучая молекула некоторых видов летучих мышей из Нового Света (азиатские плодоядные летучие мыши называются летучими лисицами), чьи пещеры воняют им. **Круглолистный виноград** и его продукты, которые сложно найти за пределами их местного региона на юго-востоке, смешивают этот запах мускуса с карамельными, фруктовыми и цветочными летучими молекулами, а также потной кислотой с разветвленной цепью. **Виноград «конкорд»**, знакомый по типичным американским виноградным желе, добавляет азотный, похо-

жий на конфету, фруктово-цветочный эфир метилантранилат.

ПЛОДЫ ТЫКВЕННОГО СЕМЕЙСТВА: ОГУРЕЦ И ДЫНИ

Теперь мы переходим к нескольким рыночным прилавкам, посвященным индивидуальным семействам плодов. На первом демонстрируются огурцы и дыни, все члены семейства тыкв или тыквенных, плоды которых растут на недревесных лозах, отмирающих каждый год. То же самое семейство приносит нам съедобные кабачки и тыквы, которые обычно необходимо готовить, чтобы сделать их удобоваримыми (см. с. 409). Тыквенные, похоже, возникли в Азии и затем распространились по всему миру, порой переплывая через океаны; Америка и Африка, соответственно, родины овощных кабачков и арбузов. В их семействе преобладают несколько девятиуглеродных альдегидов, в цепочках которых есть одна или две двойные связи (ноненаль, нонадиеналь), и эти молекулы придают им характерные огуречный или дынный ароматы. Как мы увидим, некоторые моллюски и рыбы испускают те же самые летучие молекулы и, таким образом, как утверждается, обладают свежим, огуречно-дынным ароматом. Вероятно, они первыми применили эти альдегиды, поэтому всечующий Шеф-повар космоса сказал бы, что у огурцов и дынь есть свежие водные нотки!

Огурец — необычный плод. Он несладкий и не испускает никаких характерно фруктовых эфиров, поэтому мы не относимся к нему так, как к другим фруктовым плодам. Он лучше всего как освежающе влажный, хрустящий овощ, самое то в салатах из сырых ингредиентов. Огуречный аромат берется в основном от девятиуглеродных альдегидов вместе со свежими, пахнущими зеленью шести- и восьмиуглеродными цепочками.

Очень сладкие истинные **дыни** признаются видом-собратом огурца и развились от влажных, но пресных предшественников в Персии примерно тысячу лет назад. Английское название *melon* заимствовано у греков,

которые называли этот плод *melopepon*, «яблоко-тыква». Многочисленные разновидности дыни подразделяются на две широкие группы, определяемые частично их типичными запахами. Одна группа обычно испускает немножко или вообще никакие летучие молекулы от цельных плодов, которые обычно гладкокожие, медленно созревают и остаются съедобными в течение нескольких дней после созревания. Вторая группа обычно испускает изобилующие летучие молекулы от жестких, сетчатых кожиц; эти дыни быстро созревают и быстро портятся. Обе группы испускают очень различные летучие коктейли от своей мякоти, но современные разводчики дынь скрестили их членов, чтобы создать новые разновидности с промежуточными характеристиками, поэтому отличия не такие очевидные, какими они когда-то были.

Неароматические дыни, типичный пример которых — **медовая дыня** с зеленой мякотью, имеют общие с огурцом альдегиды, но усиливают их цветочными и медовыми бензоидами. **Ароматические дыни**, часто называемые **канталупами** или **мускусными дынями**, воздерживаются от огуречных альдегидов ради максимальной плодовитости с изобилующими характеристиками нескольких яблочно-ананасовых эфиров, цветочных бензоидов, нескольких содержащих серу молекул, предоставляющих мускусный аспект, и карамельно-фруктового фуранеола.

Особое место занимает маленький **дудайм**, или **мелкоплодная дыня**, диаметром около пяти сантиметров и с тонким слоем пресной мякоти. Ее выращивают в восточных средиземноморских регионах и в Западной Азии просто ради ее богатого аромата, который испускается в основном кожейцей и может придать благоухание всему помещению. Аромат усиливает летучие молекулы канталупы гвоздичной ноткой эвгенола, медицинским хавиколом и сладко-сенными и кокосовыми лактонами.

Арбуз скорее кузен, чем вид-собратье огурца и истинных дынь, из рода, эволюционировавшего в Африке, а не в Азии. Возможно, он

Некоторые плоды тыквенных

Плод	Составляющие запахи	Молекулы
огурец (<i>Cucumis sativus</i>)	огурец, дыня, жирный, зеленый, гераниевый-металлический	нонадиеналь, ноненаль, гексаналь, октадиенон
медовая дыня (<i>C. melo inodorus</i>)	огурец, свежий, цветочный, сладкий, кремовый, дыня, медицинский	нонадиеналь и нонадиенон, фенилэтанол, фенилацетальдегид, ноненаль, гваякол
дыня-кенталупа (<i>C. melo reticulata</i>)	сладкий, фруктовый, цветочный, свежий, жирный, приготовленные овощи, серный, карамель	эфирь (этилацетат и -бутират и -гексаноат), октеналь, октенон, бензиловь ацетат и спирт, сернь летье молекуль (диметил ди- и три-сульфидь, сульфаниловь эфирь), фуранео
ароматная, мелкоплодная дыня, дудайм (<i>C. melo dudaim</i>)	сладкий, фруктовый, цветочный, гвоздика, медицинский, миндаль, персик, кокос	эфирь (этилбутират и -гексаноат), эвгено, хавикол, бензальдегид, сернь летье молекуль (сульфаниловь эфирь), гекса-, окта-, дека-лактонь
арбуз (<i>Citrullus lanatus</i>)	свежий, восковь, огурец, дыня, фруктовый, абрикос, цветочный, фиалка	гексаналь, нонанон, нонаналь, ноненон, ноненаль, нонадиеналь, метилгептенон, этилметилбутират, дигидроактинидиолид, геранилацетон, ионон

сперва был культивирован как источник воды, которую он может высасывать отовсюду и запасать в засушливых условиях. Похожий на огурец арбуз, вероятно, был одомашнен в северо-восточной Африке примерно пять тысяч лет назад, сладкие разновидности — в восточных средиземноморских регионах две тысячи лет назад, а знакомая темно-красная мякоть появилась в Италии к четырнадцатому веку. Ароматы современных разновидностей имеют некоторое сходство с огурцом и гладкокожими дынями, но к девятиуглеродным альдегидам они добавляют свежие, цветочные спирты и фруктовые эфиры. Арбузы с красной мякотью также испускают похожие на абрикос и фиалку фрагменты красного каротиноидного пигмента ликопина. Желтые и оранжевые разновидности окрашены род-

ственными, но отличными каротиноидами, и у них обычно отсутствуют эти нотки.

ПЛОДЫ СЕМЕЙСТВА ПАСЛЕНОВЫХ: ТОМАТЫ И СТРУЧКОВЫЕ ПЕРЦЫ

Следующий рыночный прилавок покрыт вереницей томатов, стручковых перцев и парой их родственников из семейства пасленовых, также включающего баклажан и картофель — и табак. Большая часть съедобных пасленовых родом из Нового Света, и мы используем большинство из них скорее как овощи, чем как фрукты, отчасти потому, что они не становятся особенно сладкими, когда созревают, и отчасти потому, что их запахи не являются характерно фруктовыми: эфиры — не их

Томаты, перцы и родственники

Плод	Составляющие запахи	Молекулы
томат (<i>Lycopersicon</i>)	зеленый, печеное яблоко, металлический, кокос, гриб, цветочный, солодовый, карамель	гексеналь и гексеналь, дамасценон, эпоксидный деценаль, винный лактон, октенон, линалоол, метилбутаналь, фуранеол
томатильо (<i>Physalis ixocarpa</i>)	зеленый, грушанка, томатная лоза, солодовый, мед	гексанол, гексеналь и гексенол, метилсалицилат, фенилацетальдегид, изобутилтиазол, метилбутаналь
перуанская вишня, капский крыжовник (<i>Physalis peruviana</i>)	персик-абрикос, сладкий, кокос, фруктовая груша, восковой цитрус	гамма-окталактон, гамма-гексалактон, этилоктаноат, гептанон, нонаналь
чили, стручковый перец (<i>Capsicum annuum</i>)	неспелый: овощно-землистый, огурец, серный; спелый: зеленый, фруктовый, сладкий, древесный, овощной	неспелый: метоксипиразины, гексеналь и гексеналь, нонаналь, оцимен, серные летучие молекулы (диметилдисульфида, гепантиол); спелый: гексанол, гексеналь, метилгептилпропеноат, оцимен, метоксипиразины
перец хабанеро (<i>C. chinense</i>)	фруктовый, цветочный	эфир (гексилбутират и-пентаноат), циклогексанол, ионы

главные летучие молекулы. **Томат** отмечен свежей, зелено-овощной, грибной, цветочной, похожей на печеное яблоко и солодовой нотками, а также сладкой карамелью фуранеола. Это уникальная и сложная, неэфирная смесь, больше склоняющаяся к соленому, чем к фруктово-сладкому.

Рядом с томатами лежат горстки чего-то похожего на маленькие грозди мертвых листьев. Внутри бумагообразных оболочек находятся плоды двух родственников томата. **Томатильо** означает «маленький томат», и эти плоды другого рода в семействе действительно напоминают зеленые или фиолетовые версии маленького томата. Их запах тоже сравнительно утонченный; разнообразия и характеристик его летучих молекул значительно меньше. Вид-собрать томатильо, **перу-**

анская вишня, или **капский крыжовник**, разрушает томатный стереотип: его оранжевые плоды размером с ягоду гораздо более тропически-фруктовые, с лактонами и эфиром, напоминающими косточковые плоды и кокос.

Рядом с миниатюрными невзрачными оболочками находится визуальное буйство цветов, размеров и форм: все члены с пустыми внутри плодами рода *Capsicum* из Нового Света, широко известные как перцы, потому что некоторые обладают остротой, напомнившей ранним европейским исследователям черный перец. Многие из острых сортов **чили**, если использовать версию их оригинального названия на языке науатль, используются в таких малых количествах, что их аромат незаметен. Неострые разнообразно-

сти знакомы как овощи, и их зеленые и спелые версии имеют очень разные запахи. Даже именитые шеф-повара с очень европейскими вкусами во всеуслышание заявили о своей ненависти к **зеленым стручковым перцам**. В их запахе преобладает необычное содержащее азот углеродное кольцо, пиразин, с сильной зелено-овощной характеристикой, он также содержится в зеленом горошке и бобах, в салате-латуке и шпинате. Прибавьте к этому серные, напоминающие приготовленные овощи нотки сульфида и тиола, и в результате получится овощ в квадрате без особой деликатности. Однако же позвольте этому же самому стручковому перцу созреть в **спелый стручковый перец**, и цвет изменяется на более фруктовый красный, оранжевый или желтый, уровень сахаров и сладости повышается, и запах преобразуется. Хотя в большинстве плодов созревание привносит более сложный и более сильный запах, в стручковых перцах уровень почти всех летучих молекул понижается, и один эфир и более легкие летучие молекулы зеленой листвы становятся более выраженными, чем пиразин.

В роде *Capsicum* есть пара десятков видов, и некоторые из менее распространенных ценятся как за остроту, так и за аромат. Один пример — **чили хабанеро**, который в спелой форме обладает эфирной плодовостью, напоминающей банан и ананас. Есть также неострые разновидности хабанеро, ароматом которых можно наслаждаться безболезненно.

ЦИТРУСОВЫЕ ПЛОДЫ: ЦЕДРА И СОК

Теперь к рыночному прилавку, заполненному лимонами, лаймами, апельсинами, грейпфрутами и горсткой похожих по виду сфер. Среди всех наших любимых плодов цитрусовое семейство выделяется как характерная группа: у всех ее членов толстые, покрытые мелкими пупырышками корки, внутреннее разделение на сегменты, заполненные маленькими мешочками с соком, и свежие, резкие запахи, больше похожие на хвойные деревья, чем

на сладко-фруктовые яблоки и клубнику. По факту семейство получает свое название от этого сходства с ароматическими деревьями. Слово «цитрус» происходит от латинского *citrum* для обозначения древесины вида средиземноморского кипариса (*Tetraclinis*), ценимой за придание благоухания помещениям и одежде; а *citrum*, в свою очередь, возможно, происходит от *cedrus*, греческого *kedros*, названия ароматического можжевельника. Цитрусовые плоды родом из субтропической и тропической Азии и были неизвестны в Средиземноморье до завоеваний Александра Великого примерно в 330 году до нашей эры. Первый прибывший пример содержал маленькую порцию несъедобно кислого сока, но массивная цедра могла придать благоухание целым помещениям, ее терпеноидные летучие молекулы напоминали как хвойные деревья, так и душистые травы, которые мы сейчас описываем как лимонные. Этому заморскому фрукту было дано название цитрон. После того как мусульмане привезли несколько видов-собратьев в этот регион тысячелетие спустя — сперва кислый апельсин, затем лимон и помело, — цитрон предоставил семейству название.

У цитрусовых плодов раздвоение личности: у корки и внутреннего содержимого очень разные структуры, вкусы и кулинарные применения. Относительно сухая, губчатая **цитрусовая цедра** защищает внутренние семена и мешочки с соком и запасает свои химические средства защиты в сферических масляных железах, видимых как крошечные контрастные точки на поверхности. Надавливание или разрезание плода высвобождает содержимое желез защитным спреем. Именно эта анатомия позволяет барменам ароматизировать коктейль, скручивая над ним кусок апельсиновой корки или выжимая и поджигая масла зрелищной вспышкой.

В летучих молекулах корки преобладают не фруктовые эфиры, а терпеноиды, напоминающие сосновые деревья, смолы, ароматические душистые травы и цветы; к ним обычно присоединяются альдегиды длиной

от восьми до десяти углеродных атомов, длиннее, чем шестиуглеродные летучие молекулы зеленой листвы. Несколько терпеноидов так преобладают в цитрусовых плодах, что они определяют запахи друг друга. Это верно касательно **нерала и гераниала**, совместно возникающих зеркальных отражений терпеноидов, определяющих запах лимона. Другой терпеноид, **лимонен**, — самая изобилующая летучая молекула в большинстве цитрусовых плодов, с более общей, «цитрусовой» характеристикой: свежей и слегка мятной. Характерные запахи разных цитрусовых корок, похоже, обусловлены по большей части разными пропорциями общих терпеноидов с более длинными альдегидами и некоторыми эфирами, тоже помогающими отличить один вид от другого. Однако же два вида корок обязаны своими характерными запахами специфическим терпеноидам. Лимонная цедра определяется нералем и гераниалем, а грейпфрутовая — древесно-грейпфрутовым сесквитерпеноидом нуткатеном.

Под терпеноидным щитом цедры находятся **цитрусовые сегменты**, порция плода, привлекающая животных-разносчиков семян ценными водой и сахарами. Многочисленные индивидуальные маленькие мешочки, содержащиеся в каждом сегменте, вырабатывают собственные летучие молекулы, включающие смесь терпеноидов и более типично фруктовых эфиров и альдегидов. Поскольку по большей части углеводородные терпеноиды (лимонен, терпинен, пинен, мирцен) плохо растворяются в воде, они менее выражены в цитрусовых плодовых сегментах по сравнению с эфирами, альдегидами, кетонами и спиртами. Они имеют тенденцию привязываться к остаткам мякотных сегментов и мешочков, когда из плодов выжимают сок. Вот почему соки с мякотью более ароматические. И механические соковыжималки, измельчающие корку вместе с мякотью, усиливают сок корковыми терпеноидами, чего нельзя добиться выжиманием сока вручную.

Цитрусовый род неразборчив в связях: разные виды с готовностью скрещиваются

друг с другом и производят новые гибридные виды. Генетические исследования указывают на то, что большинство наших распространенных цитрусовых плодов — потомки трех родительских видов: цитрона, мандарина и помело. Скрещивание цитрона с другими видами дало маленький «мексиканский» лайм и лимоны. Скрещивание мандарина и помело дало кислый апельсин и сладкий апельсин, а также клементин и мандарин уншиу. А скрещивание между родителями и потомками дало грейпфрут (помело x сладкий апельсин), более крупный персидский лайм (мексиканский лайм x лимон) и бергамот (лимон x кислый апельсин).

Порой родственная линия, похоже, отражается в ароматах, порой нет. Здесь на рыночном прилавке где-то с дюжину более знакомых цитрусовых плодов, условно сгруппированных по их семейным отношениям. Опять же помните, что есть много разновидностей каждого, летучие молекулы могут варьироваться среди плодов с одного и того же дерева, и анализы одного и того же плода зачастую тоже варьируются. Таблицы справа — только приблизительный справочник.

ЦИТРУСОВЫЕ ПЛОДЫ: ОТ ЦИТРОНА ДО ЮДЗУ

Сначала кислые и ароматические цитрусовые плоды. Цитрон и его прямые потомки — лимон и мексиканский лайм — имеют либо скудные, либо очень кислые соки, не являющиеся сильно ароматическими; главный интерес заключается в их корках. Вдобавок к изобилующему, но универсальному лимонену, **цитрон** одарил **лимоны** и лаймы вариательной смесью сосново-скипидарных, характерно лимонных и цветочных терпеноидов. Похоже, что относительные пропорции этих характеристик, особенно баланс между хвоей и лимоном, — это то, что определяет их разные вкусы, поэтому я добавил некоторые показательные числа в таблицу (касательно источников см. с. 500–501). Сам цитрон испускает в наибольшем количестве

Цитрон, лимоны и лаймы

Плод и часть	Составляющие запахи	Молекулы (процент от совокупных летучих молекул)
цедра цитрона (<i>Citrus medica</i>)	цитрус, скипидар, сосна, лимон, цветочный	лимонен (52%), терпинен (27%), пинен (4%), оцимен, нераль + гераниаль (4%), линалоол
цедра лимона (<i>C. limon</i> , цитрон х кислый апельсин)	цитрус, сосна, скипидар, лимон, цветочный	лимонен (65%), пинен (12%), терпинен (6%), сабинен, нераль + гераниаль (2%), линалоол
цедра мексиканского лайма, ки-лайма (<i>C. aurantifolia</i> , цитрон х папеда)	цитрус, скипидар, сосна, смолистый, древесный, лимон, цветочный	лимонен (65%), терпинен (7%), пинен, сабинен, мирцен, терпиненол, терпинеол, нераль + гераниаль (1%), линалоол
цедра персидского лайма, лайма Таити, лайма Беарсса (<i>C. latifolia</i> , мексиканский лайм х лимон)	цитрус, скипидар, сосна, смола, лимон, травянистый, цветочный	лимонен (40%), терпинен (20%), пинен, сабинен, мирцен, нераль + гераниаль (4%), бизаболен, эфиры (терпинил- и нерилацетат)
цедра лимона Мейера (<i>C. meyeri</i> , цитрон х апельсины)	цитрус, скипидар, сосна, тимьян, цветочный, лимон	лимонен (80%), терпинен (7%), мирцен, цимен, пинен (2%), тимол, линалоол, нераль + гераниаль (0,1%)

как хвойные, так и лимонные летучие молекулы, высокий уровень терпинена согласуется с древнегреческой ассоциацией с древесиной кедра и можжевельника. Лимоны сокращают число как хвойных терпеноидов, так и лимонной пары нераль + гераниаль, но дают лимонной характеристике больше относительного веса. Маленький **мексиканский** или **ки-лайм** поступает наоборот: он понижает лимонную характеристику и повышает хвойную, увеличивая количество древесных, смолистых терпеноидов. Более крупный, более толстокожий **персидский лайм**, наиболее обширно доступная версия лайма в странах с умеренным климатом, — это гибрид мексиканского лайма и лимона, и его летучий профиль, похоже, отражает это: он богат как хвойными, так и лимонными терпеноидами и прибавляет к ним парочку фруктово-цветочных терпеноидных эфиров. **Лимон Мейера**, сложная родослов-

ная которого включает как сладкий, так и кислый апельсины, содержит лишь след лимонной пары нераль + гераниаль, включает смолистый мирцен, содержащийся в лаймах, и добавляет смеси причудливый оттенок: тимол, основной медицинский запах тимьяна, который есть также у юдзу (см. ниже). Совокупный эффект интригующе отличен от более прямолинейных лимонных разновидностей и, вместе с его менее кислотным соком, сделал лимон Мейера притягательной альтернативой стандартным лимонам.

Далее более сладкие плоды мандаринового клана. Его мегазвезды мирового масштаба — сладкие апельсины, но это, возможно, больше связано с их размером и физической устойчивостью, чем с их вкусом. Родительские мандарины маленькие и тонкокожие, но насыщенно ароматические, и они передали своему потомству как аромат, так и

оранжевый цвет. Их название происходит через португальский от слов из малайского и хинди, значащих «советник»; португальцы привезли их в Средиземноморье из Китая через некоторое время после того, как они в шестнадцатом веке привезли сладкий апельсин. **Танжерин** происходит от названия, данного характерным мандарином из города Танжер. Клементин и мандарин уншиу — две из многочисленных коммерческих разновидностей. Корки их всех испускают цитрусовые, древесные, смолистые, цветочные терпеноиды и пару восковых, жирных альдегидов; их приятно сладко-кислые соки сочетают некоторые из этих молекул с фруктовыми эфирами.

Первыми апельсинами, достигшими Запада, были **горькие**, или **севильские, апельсины**, привезенные мусульманами в Испанию в десятом веке. Хотя мы сейчас ассоциируем название этого фрукта с его цветом, слово orange, как считается, пришло через санскритское наранг от южноиндийского слова, связанного с благоуханием. (На Западе orange не обозначало цвет до шестнадцатого века.) Как

и предполагают характеризующие его прилагательные, кислый или горький апельсин не съедобен сам по себе, но он стал стандартным ингредиентом джемов-мармеладов. И его корка, и его сок содержат свежие, хвойные и цветочные терпеноиды.

Сладкие апельсины — приятно промежуточный продукт маленького, изысканного, насыщенного мандарина и крупного, стойкого, относительно нейтрального помело. Цедра сладкого апельсина имеет знакомый хвойный, лимонный, цветочный набор, но добавляет несколько более длинных и довольно-таки характерных альдегидов длиной от восьми до десяти углеродов, вносящих запахи, обычно описываемые как восковые и похожие на цитрусовую цедру. А сладко-кислый сок более традиционно фруктовый, с преобладанием нескольких стандартных эфиров.

Красные апельсины — разновидности сладкого апельсина, усиливающие свои оранжевые каротиноидные пигменты красными антоцианинами и, похоже, обладающие более насыщенным вкусом, больше похожим на малину и клубнику, чем на апельсины. Их цвет

Мандарины и апельсины

Плод и часть	Составляющие запахи	Молекулы
цедра мандарина (Citrus reticulata, deliciosa, clementina, unshiu...)	цветочный, жирный, сладкий, сосна, металлический, цитрус	линалоол, декадиеналь, винный лактон, пинен, мирцен, октаналь, лимонен
сок мандарина	свежий, фруктовый, смолистый, цветочный	гексаналь, этилметилбутират, мирцен, терпинен, линалоол
цедра кислого апельсина (C. aurantium, цитрон x мандарин x помело)	цитрус, смолистый, цветочный, сосна	лимонен, мирцен, линалоол, пинен
сок кислого апельсина	цитрус, сосна, цветочный, скипидар	лимонен, пинен, линалоол, гептанон, терпинеол, цимен
цедра сладкого апельсина (C. sinensis, мандарин x помело)	цитрус, герань, сосна, цветочный, зеленый	лимонен, мирцен, пинен, терпинен, линалоол, октаналь, ноненаль, деканаль, деценаль
сок сладкого апельсина	фруктовый, цитрус, сладкий, зеленый, цветочный	эфиры (этилбутират и -метилбутират), лимонен, гексаналь, линалоол, деценаль
сок красного апельсина	фруктовый, цитрус, цветочный	эфиры (этил- и метилбутират, этилметилбутират), лимонен, линалоол, мирцен, нуткатон

помогает предположить это, но по сравнению с другими апельсинами красные апельсины действительно имеют более высокие пропорции характерных летучих молекул, помогающих охарактеризовать ягоды: в три — шесть раз больше эфиров бутирата, особенно ярко выраженных в клубнике и ананасе, в столько же раз больше древесного мирцена и аж в десять раз больше цветочного линалоола, тоже важного в клубнике и малине.

Многие производители апельсинов покрывают свои плоды воском, чтобы снизить потерю влаги, замедлить метаболизм и продлить срок годности. Но, поскольку покрытие ограничивает доступ живого плода к кислороду, его внутренние ткани переключаются на анаэробный метаболизм и вырабатывают этиловый спирт. Спирт может накапливаться и также увеличивать выработку фруктовых этиловых эфиров, поэтому более старый переспелый плод имеет заметный спиртной и похожий на растворитель запах, а также необычно сильную плодовость.

Современные разводчики расширили мандариновое семейство гибридами, усиливающими мандариновый вкус в плодах размером с апельсин; они включают апельсин Темпла, и Тангор (мандарин х сладкий апельсин), и Танжело (мандарин х грейпфрут).

Помело, как и предполагает его название на ботанической латыни, — это большой цитрус; странное общеупотребимое название — сложная смесь французского, голландского и португальского, также передаваемая как пуммело. Его диаметр обычно составляет от шести до десяти дюймов (от пятнадцати до двадцати пяти сантиметров), но оно на удивление легкое для своего размера, поскольку большая часть его объема представляет собой губчатую корковую ткань. Его цедра и сок относительно мягкие на вкус, со скромным количеством стандартных цитрусовых терпеноидов, подкрепленных необычным древесным сесквитерпеноидом, нуткатоном, названным по кедровому дереву, в котором его впервые обнаружили.

Каким бы непримечательным ни был его собственный вкус, помело — скрытный родитель сладкого и кислого апельсинов и более прямолинейный родитель **грейпфрута**, возникшего как гибрид со сладким апельсином на острове Барбадос в начале девятнадцатого века. Цедра грейпфрута относительно бедна терпеноидами, за исключением нуткатона, вместо этого в ней преобладают восковые, цитрусовые альдегиды с прямой цепью. Сок грейпфрута содержит немного эфиров и свежие и цитрусовые альдегиды вместе с нут-

Помело и грейпфрут

Плод и часть	Составляющие запахи	Молекулы
цедра помело (<i>Citrus maxima</i>)	цитрус, цветочный, сосна	лимонен, гераниол, нерол, линалоол, терпинеол
сок помело	сосна, жирный, лимон, роза, восковой, цветочный, древесный грейпфрут	пинен, декадиеналь, цитронеллаль, нонаналь, линалоол, лимонен, нуткатон
цедра грейпфрута (<i>C. paradisi</i> , помело х сладкий апельсин)	свежий, зеленый, цветочный, эвкалипт, древесный грейпфрут	октаналь, деценаль, додеканаль, эвкалиптол, нуткатон
сок грейпфрута	фруктовый, кокос, травяной, древесный грейпфрут, серный, кошачий	эфиры (этилметилпропаноат, -бутират, -метилбутират), винный лактон, гексеналь, деценаль, нуткатон, серные летучие молекулы (ментентиол, метилсульфанилпентанон)

катомом, но его наиболее примечательные компоненты — парочка содержащих серу молекул, терпеноид и пятиуглеродная цепочка. Они вносят не фруктовую, не хвойную, не цитрусовую, несколько овощную, несколько животную характеристику, часто описываемую как экзотическую или тропическую, поскольку подобные молекулы и нотки содержатся в гуаве и маракуйе (см. с. 269). Сок красной разновидности грейпфрута, накапливающей красный терпеноидный пигмент ликопин, как было обнаружено, содержит древесный кариофиллен и сладко-свежий валенцен, оба сесквитерпеноиды, а также цветочный оксид линалаола.

Чтобы закончить этот очень смешанный салат из цитрусовых плодов, возьмем тот, который едят целиком, и три, которые редко можно увидеть на западных рынках. **Кумкваты** — кусочки на один зубок, состоящие в основном из цедры; у них нет нелетучих терпеноидов и фенольных молекул, придающих другим цитрусовым коркам горький вкус. Их летучие молекулы и аромат напоминают цедру сладких апельсинов. **Юдзу**, маленький и кислый, желто-оранжевый, когда спелый, не принадлежит ни к одному из трех основных кланов и кажется богаче и слаще по запаху,

чем большинство цитрусов, возможно из-за его необычно сложной смеси терпеноидов, тимола, кокосово-сладкого винного лактона и одной серной летучей молекулы. Его особенно любят в Корее и Японии, где целый плод используется для придания благоухания воде для купания, и из него готовят джем-мармелад для добавления в горячую воду для чая. В японской кулинарии цедро юдзу измельчается с солью и чили для приготовления приправы юдзукоё, а его сок смешивается с соевым соусом для приготовления соуса для макания под названием пондзу. Маленький **каффир-лайм** тоже одна из белых ворон в семействе, он используется в Юго-Восточной Азии для придания своим сосново-лимонным характеристикам различным блюдам (хотя реже, чем листья дерева каффир-лайма, в которых преобладает похожий на лимонник цитронеллаль).

Далее идет бергамот размером с апельсин, вероятно, наиболее узнаваемый как характерный запах чая «Эрл Грей», не особенно цитрусовый, больше напоминающий цветы лаванды. Летучие молекулы его цедры именно это и предполагают, с преобладающими цветочными терпеноидами и линалилацетатом, одним ключом к богатому запаху этих цветов (см. с. 192). Откуда же взялись похожие на ла-

Необычные цитрусовые плоды: кумкват, юдзу, каффир-лайм, бергамот

Плод и часть	Составляющие запахи	Молекулы
кумкват (виды <i>Fortunella</i> / <i>Citrus</i>)	цитрус, смолистый, сосна, восковой, цветочный	лимонен, мирцен, пинен, октил- и геранилацетаты
цедро юдзу (<i>Citrus junos</i>)	цветочный, зеленый, бальзамический, серный, тимьян, жирный	линалоол, ундекатриенон, серная летучая молекула (метилсульфанилпентанон), тимол, декадиеналь
сок юдзу	цветочный, кокосово- древесный, зеленый, тимьян, жирный	линалоол, винный лактон, ундекатриенон, метилэпигасмонат, тимол, гексеналь, декадиеналь
цедро каффир-лайма (<i>Citrus hystrix</i>)	сосна, древесный, лимонный	пинен, сабинен, цитронеллаль, терпиненол
цедро бергамота (<i>Citrus bergamia</i> , лимон и кислый апельсин)	цветочный, сосна, лимон, лаванда, цитрус	гераниол, пинен, линалаоол, нераль + гераниаль, линалилацетат, оксид лимонена

ванду летучие молекулы? Бергамот — гибрид лимона и кислого апельсина, ни один из этих плодов не напоминает лаванду, но вот цветы и листья кислого апельсина напоминают. И те и другие ценятся в парфюмерии как источники неролиевого и петигренового масел (см. с. 364, 366), и бергамотовое масло было одним из ингредиентов оригинального одеколона (см. с. 380). Необычное название плода, судя по всему, происходит не от итальянского города Бергамо, но из-за сходства его слегка продолговатой формы с формой другого высокоцитимого плода, бергамотовой груши, название которой произошло от турецкого бег-армуди, «груша принца». Он, возможно, возник где-то в Средиземноморье и сейчас в основном производится в южном итальянском регионе Калабрия. Из целого плода порой готовят ароматный джем-мармелад.

ДРУГИЕ СУБТРОПИЧЕСКИЕ И ТРОПИЧЕСКИЕ ПЛОДЫ: ОТ БАНАНОВ ДО АНАНАСОВ

Теперь мы покидаем плодородное цитрусовое семейство и его терпеноидные вариации и подходим к прилавку с несколькими знаковыми и разнообразными фруктами, варьирующимися по семейным корням, форме, цвету и ароматам. Их объединяет происхождение в азиатских и американских тропиках и субтропиках. Они охватывают весь летучий спектр, от терпеноидов до эфиров и лактонов до бензоидов, фуранонов, серных молекул и даже горчичных изотиоцианатов. Для людей в умеренных регионах Европы и Северной Америки эти плоды когда-то были новыми и волнующими открытиями, а также совершенно другими плодами с насыщенными и порой странными вкусами. И по сей день профессиональные специалисты по ароматам описывают характеристики некоторых из этих летучих молекул как «тропические» или «экзотические». Почему же плоды из теплого климата могут быть такими характерными? Может быть, избыточные ресурсы помогают им исследовать более широкий ряд лету-

чих молекул. Возможно, избыточное соперничество вынуждает их использовать этот более широкий ряд и усиливать свои запахи, чтобы выделиться. Возможно, потому что летучие мыши — типичные поедатели плодов и распространители семян, и они реагируют на серные летучие молекулы, характеризующие многие тропические плоды. Мы в действительности не знаем, но об этом интересно размышлять.

Финики — плоды размером с большой палец, растущие крупными гроздьями на пальмовых деревьях родом из засушливого Среднего Востока, и их культивировали там и в Западной Азии в течение тысяч лет. В других местах они наиболее знакомы в своей высушенной солнцем форме, размером в две трети, и больше сахара по весу, коричневые и морщинистые, а также со сладким карамельным ароматом, развившимся, пока они высушались. На более ранних стадиях твердой спелости и мягкой спелости, известных как бессер и рутаб, все еще пухлые и песочно-коричневые, финики типично содержат смесь фруктовых эфиров и бензоидов, напоминающих мед, экстракт миндаля, сено и даже корицу; некоторые разновидности также испускают цитрусовые и цветочные терпеноиды.

Бананы — плоды крупных недревесных растений родом из Юго-Восточной Азии и с островов Тихого океана и самый важный тропический фрукт в мировой торговле. Они типично собираются и часто продаются, пока они все еще зеленые и пресные; когда они созревают, они изменяют цвет, преобразуют крахмал в сладкие сахара и развивают аромат. Как умеренные яблоко и груша, тропический банан обязан своей летучей личностью эфирам. В банановых летучих молекулах преобладают различные разветвленные углеродные цепочки, возникающие от расщепления аминокислот, вместо жирных кислот. В сладких бананах преобладают эфиры, образуемые спиртом с разветвленной цепью метилбутанолом, также известным как изоамиловый спирт; эти эфиры и спелые бананы определяют друг друга. Когда бананы созревают,

Некоторые тропические и субтропические азиатские плоды

Плод	Составляющие запахи	Молекулы
финик (<i>Phoenix dactylifera</i>)	фруктовый, сладкий, экстракт миндаля, сено, кремовый	эфиры (этил- и геранилацетаты), фенилацетальдегид, бензальдегид, кумарин, бутанедиол
банан (виды <i>Musa</i>)	банан, фруктовый, травяной, гвоздика, масляной	эфиры (метилбутилбутират и -ацетат, этилметилпропионат, гексилацетат), гексанааль, эвгенол, диацетил
плантан (виды <i>Musa</i>)	травяной, пряный, фруктовый, древесный	гексенааль, гексанааль, этилмасляная кислота, необычные бензоиды (элемицин, винилметоксифенол)
манго (<i>Mangifera indica</i>)	фруктовый, ананас, карамель, смолисто-скипидарный, тропический/маракуйя, серный, персик, кокос	эфиры (этилбутират и -метилбутират), ундекатриен, фуранеол, мирцен, оцимен, серные летучие молекулы (метилсульфанилпентанон, метилбутентиол), гамма-дека- и дельта-окта-лактоны
Личи (<i>Litchi chinesis</i>)	цветочно-розовый, лимон, фиалка, зеленый, цитрус, сера	розовый оксид, цитронеллааль, линалоол, фенилэтанол, ионон, ноненааль, октанол, нонадиенааль, серные летучие молекулы (диэтилдисульфид, диметилтрисульфид, метилтиазол)

их первоначальный зелено-банановый запах исчезает и сменяется на более сладкую плодovость с гвоздичной ноткой эвгенола, появляющейся в некоторых разновидностях. Когда они проходят свой расцвет, они развивают ферментированные и медицинские нотки этанола, этилацетата и других летучих молекул, перекрывающих основные характеризующие эфиры.

Плантаны* — банановые разновидности, которые преобразуют меньше крахмала в сахара, когда они созревают, и не развивают типичный банановый запах, поэтому их обычно готовят как крахмальный овощ. Плантаны испускают пряные и древесные нотки с бен-

зоидной трассы вместе с альдегидами зеленой листвы. Интересным образом, но плантаны запасают некоторые другие летучие молекулы, присоединяя их к нелетучим сахарам. Разминание мякоти или ее нагревание может высвободить некоторые из этих запасенных летучих молекул и их запахи, включающие потную, ванильную и цветочную нотки (от метилмасляной кислоты и спирта, ванилина и фенилэтанола соответственно).

Манго растут на крупных деревьях родом из Индии и Юго-Восточной Азии, свешиваясь с высоких ветвей, где их легко обнаружить по запаху в сумерках или ночью, таким способом, который, похоже, привлекает внимание

* Или платано. — *Прим. ред.*

крупных плодоядных летучих мышей из этого региона. Спустя несколько лет после того, как мы с Дэйвом Арнольдом прогрызли наш путь через яблочное поле Министерства сельского хозяйства США, мы посетили частную коллекцию манго во Флориде, где выращиваются десятки тысяч различных разновидностей, развившихся в Азии и еще кое-где. Их вкусы охватывали довольно-таки широкий спектр, от зеленых и скипидарных до похожих на ананас, кокос, персик, клубнику, потных, цветочных — все на сладкой, фруктовой основе, и все узнаваемо похоже на манго. Аналитики манго из Немецкого Исследовательского Центра Пищевой Химии утвердили в 2016 году, что пятнадцать ключевых летучих молекул вырабатывают «оркестровый аромат манго», упорно сохраняющийся, несмотря на присутствие или отсутствие других запахов. Среди этих ключевых молекул — фруктовые эфиры, карамельный фуранеол и лактоны, напоминающие персик и кокос.

Личи или **личжи** — маленький древесный плод родом из субтропического южного Китая и, возможно, самый цветочный из всех плодов: он испускает группу терпеноидов, придающих ему сильную розовую, цитрусовую характеристику, один из них называется «розовым оксидом» за свои знакомые источник и запах. Менее выраженный, но давно замеченный любителями личи чесночный, серный фон, судя по всему, сильно выраженный в плодах, только что собранных с дерева, менее очевидный к тому времени, как они попадают на рынок.

Теперь мы смещаем родину с Азии на Америку и берем **авокадо**, растущее в субтропических и тропических регионах, массивное семя и необычная мякоть которого позволили предположить, что он эволюционировал, чтобы привлечь крупных млекопитающих, сейчас вымерших, а не птиц или маленьких млекопитающих. Плотная мякоть, окружающая семя, богата не сахарами, а маслом, и ее летучие молекулы — в основном ореховые, жирные альдегиды, сообщающие об энергетическом богатстве мякоти. С ним

обычно обращаются скорее как с овощем, чем как с фруктом.

Папайя родом из центрально- и южноамериканских тропиков, тропический фрукт, уступающий только личи по своей цветочной характеристике. Вдобавок к цветочному линалоолу он содержит типичные тропические похожие на кокос лактоны, но он выделяется тем, что испускает содержащий азот и серу изотиоцианат — молекулу, характерную для едких членов капустного семейства, особенно для горчицы и редиса! Эта серная, жгучая характеристика очевидна в семенах папайи, где сконцентрирован защитный изотиоцианат, в то время как в мякоти она куда менее навязчивая, но все равно вносит свой вклад в уникальную ароматическую личность плода. Есть папайи с желтой и красной мякотью, и красные разновидности, похоже, испускают больше иона, фиалково-цветочного терпеноидного фрагмента, ассоциируемого с красным пигментом ликопином.

Маракуйя растет на буйных лозах, чьи крупные цветы со сложным узором напомнили европейцам крест и страдания Христа, или страсть (отсюда другое название **страстоцвет съедобный**). Наиболее типичны желтые и фиолетовые разновидности одного и того же вида, у желтой разновидности типично более сильный аромат. Обе разновидности отличаются от других тропических фруктов своими многочисленными серными летучими молекулами, которых больше пятидесяти, придающими им их характерный запах. Порой он балансирует на грани потного и животного; некоторые из тех же самых летучих молекул содержатся в телесных жидкостях наших домашних животных и в нас самих (см. с. 248).

Гуава и фейхоа или акка Селлова — тропические и субтропические американские члены семейства миртовых, включающего таких ароматических членов, как эвкалипт, гвоздика и пимента лекарственная. Разновидности **гуавы** варьируются от желтых до красных и, как правило, характеризуются альдегидами зеленой листвы и фруктовыми эфирами;

Некоторые тропические и субтропические плоды из Америки

Плод	Составляющие запахи	Молекулы
авокадо (<i>Persea americana</i>)	травяной, ореховый, жирный, сладкий, смолистый	гексеналь, гексаналь, пентаналь, нонаналь, метилацетат, мирцен
папайя (<i>Carica papaya</i>)	цветочный, редис, грушанка, смолистый, фруктовый, кокос, фиалка	линалоол, бензилизотиоцианат, эфиры (метил- и бензилбензоат, этилбутират), гамма-гекса- и гамма-окта-лактоны, ионон
маракуйя (<i>Passiflora edulis</i>)	фруктовый, цветочный, карамель, черная смородина, грейпфрут, тропический, серный	эфиры (гексилгексаноат и -бутират), ионон, жасминовый лактон, фуранеол, серные летучие молекулы (сульфанилгексанол, метилсульфанилгексанол и его ацетат, эфиры бутирата и гексаноата)
гуава (<i>Psidium guajava</i>)	травяной, грейпфрут, черная смородина, фруктовый, карамель, цветочный	гексеналь, серные летучие молекулы (сульфанилгексанол- и сульфанилгексилацетат), эфиры (этилбутират, циннамилацетат), фуранеол
фейхоа (<i>Acca sellowiana</i>)	грушанка, медицинский, тропический, фруктовый, зеленый	эфиры (метил- и этилбензоаты, этил- и гексенилбутираты), гексеналь
ананас (<i>Ananas comosus</i>)	карамель, фруктовый, ананас, свежий, кокос	фуранеол, эфиры (этилметилбутират и -пропионат), ундекатриен, дельта-окта- и дельта-дека-лактоны

желтые, судя по всему, богаты карамельным фураноном и некоторыми серными спиртами и эфирами, также содержащимися в черной смородине и грейпфруте. **Акка Селлова** или **фейхоа** происходит из рода-кузена и имеет совершенно иной запах, в котором преобладают эфиры бензоата, также ярко выраженные в клюкве, имеющие похожие на грушанку, медицинские характеристики.

Последний по порядку, но не по значению среди знакомых тропических плодов — **ананас**, обитатель Южной Америки, где на туземном наречии тупи он известен как нанас; европейцы называли его pineapple (сосновое яблоко) за его сходство с сосновой шишкой.

Плод образуется слиянием десятков индивидуальных плодиков вокруг общей сердцевины; он созревает поступательно, начиная с нижней части, где он прикреплен к материнскому растению. Ананас — образцовый тропический фрукт, насыщенно ароматический и кисло-сладкий, и он произвел сильное раннее впечатление на европейцев. Попробуйте вообразить, каково это было бы для едоков яблок и клубники попробовать редкий ананас, как Чарльз Лэм знаменито описал в 1823 году в своей «Диссертации о жареном поросенке»:

«Ананас — великолепная особа. Она и в самом деле почти что слишком бесподобная,

это удовольствие, если и не грешное, но все же столь похожее на грех, что и правда совестливому человеку следует сперва призаться: слишком упоительная для смертного вкуса, она ранит и сдирает кожу с губ, прикасающихся к ней, словно поцелуи любовницы, она кусается — она являет собой наслаждение, граничащее с болью из-за свирепости и безумия ее вкуса...»

Веком ранее именно ароматическое сходство с ананасом новой гибридной клубники подсказало ее ботаническое название, *Fragaria х ананаса*, и это сходство было и есть подлинно. Сравните клубничные летучие молекулы (см. с. 254) с ананасовыми и увидите, что фуранеол, наиболее ярко выраженный в ананасе, отсутствует в местной европейской альпийской землянике. У фуранеола есть несколько названий, включая «клубничный фуранон» и «ананасовый кетон», и он крайне важен в обоих плодах. Еще одна из ананасовых летучих молекул, одиннадцатитуглеродная цепочка с тремя двойными связями, как утверждается, пахнет как ананас сама по себе, а лактоны предоставляют нюансы кокоса.

ПЛОДЫ ДЛЯ РАЗМЫШЛЕНИЙ: ГИНКГО, ВАНИЛЬ, ДУРИАН

Теперь к последним плодам на рынке, странным образцам, но отнюдь не жалким объедам. Кучка маленьких желто-оранжевых сфер, пучок тонких темно-коричневых стручков длиной с руку, а также крупная желтая масса размером с миску для салата, покрытая короткими шипами, один отрезанный край которой демонстрирует узловатые скопления белой плоти внутри, — эти три необычных плода предлагают точки зрения, отклоняющиеся от эфирно-терпеноидного основного течения, к которому принадлежат наши любимчики.

Первая кучка — плоды **гинкго**, дерева с привлекательно поднятыми вверх ветвями и веерообразными листьями, которое когда-то росло по всему Северному полушарию и до сих пор растет как морозостойкое уличное дерево. Индивидуальные деревья гинкго либо

мужского, либо женского пола, и городские лесоводы обычно стараются высаживать только известно мужские деревья, чтобы избежать хлопот с плодами женских. Или, правильней сказать, с семенами: маленькие сферы, опадающие осенью, не являются плодами. Они предвестники плодов.

Гинкго — реликтовое дерево, выжившее со времен юрского периода, который был примерно двести миллионов лет назад. Это за десятки миллионов лет до возникновения первых растений, приносящих цветы и плоды. Гинкго куда ближе к саговникам и хвойным деревьям. Мясистая часть его «плода» — это анатомически часть семени, а не распухшая стенка завязи цветка. Но она явно играет ту роль, для которой в конце концов были изобретены мясистые плоды, для привлечения внимания животных — распространителей семян.

Когда они созревают и опадают с дерева, семена гинкго вырабатывают ошеломительный смрад: смесь запахов острого сыра, рвоты и экскрементов. Его источники — простые молекулы стартового набора, четырех- и шеституглеродная масляная и гексановая кислоты. Многие плоды из основного течения вырабатывают некоторые кислоты в процессе созревания, но они немедленно смешивают их со спиртами, образуя приятные эфиры бутирата и гексаноата. Сами по себе кислоты обычно признаки разложения.

Семена гинкго — едкий запах того, что растения могли предложить животным до того, как они изобрели истинные плоды. В Китае, единственной стране, где они разводятся ради их крахмальных (и пресных) зерен, только что опавшие семена поедаются дикими кошками, собаками и циветами. Кто же разносил их раньше в юрском периоде, задолго до того, как появились кошки, собаки и фруктовые деревья? Некоторые биологи строят предположения, что семена гинкго развили свою пахучую плоть, чтобы привлечь маленьких динозавров-падальщиков! Поэтому в следующий раз, когда вас неприятно удивит упавшее на обочину семя гинкго, восполь-

зуйтесь случаем оценить изобретательскую целеустремленность Героя-Углерода и то, как он сумел продвинуться с вонючей первобытности к ананасу и персику.

Второй исключительный плод, на этот раз истинный плод, — это **ваниль**, пряность. Мы обычно не считаем стручок ванили плодом, потому что у него нет очевидного мясистого слоя. Вместо этого его созревающие стенки становятся похожими на кожу и коричневыми и лопаются, обнажая крохотные семена, покрытые тонким слоем сахарной, маслянистой, ароматической жидкости, чем-то вроде сиропа. И ни стенки стручка, ни сироп не испускают обладающие фруктовым запахом эфиры.

Какие же животные в тропических лесах Мексики сочли подобный плод привлекательным? Не обычные четвероногие и птицы, а летучие мыши и пчелы! Летучие мыши порой улетают с целым плодом, а пчелы-эуглоссины металлической окраски, загадочным образом являющиеся заядлыми коллекционерами запахов, по наблюдениям, подбирают липкие семена, собирая сироп (другие насекомые, вполне возможно, делают то же самое). Сладкие, кремовые, цветочные бензoiдные летучие молекулы стручка, ванилин и его вариации, привлекают этих распространителей семян, а также подавляют рост вызывающих порчу микробов.

Так что, судя по всему, мы обязаны этими конкретными удовольствиями от одной из самых популярных в мире пряностей тропическим летучим мышам, блестящим пчелам и докучливой плесени. Примечательный набор влияющих факторов.

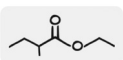
Третий экстраординарный плод — **дуриан**, «царь плодов» в своей родной Юго-Восточной Азии. Считается, что он возник в тропических джунглях Борнео; Таиланд и Малайзия — лидеры в мировом производстве. Может, он и царь, и с его крупным размером и бронированной шипами кожицей он выглядит более соответственно занимаемому положению, чем яблоко Баньярда, но, как некоторые правители, он внушает как любовь, так и ненависть. В Сингапуре запрещено перевозить дуриан в общественном транспорте или приносить их во многие здания, поскольку их запах насыщенный, всепроникающий и зловонный. Увидев экстравагантные вкусовые нотки Альфреда Уоллеса и Э.Дж.Г. Корнера, которые я процитировал в начале этой главы — лук и крем, дренажные трубы и угольный газ, — я обязан был попробовать этот плод на его родине. В 2014 году я совершил паломничество к прилавку с прославленными дурианами на окраине Сингапура и обнаружил, что большинство из полудюжины разновидностей, которые я попробовал, были на вкус как клубника и смесь жареного лука и чеснока. Они

Некоторые необычные плоды и плодообразные семена

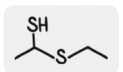
Плод	Животные нотки	Молекулы
гинкго (<i>Ginkgo biloba</i>)	прогорклый, сырный, рвота, экскременты	масляная и гексановая кислоты
ваниль (<i>Vanilla planifolia</i> и другие)	ваниль, сладкий, кремовый, медицинский, цветочный	ванилин, ванилиновая кислота, гидроксibenзальдегид, анисовый спирт
дуриан (<i>Durio zibethenus</i>)	фруктовый, жареный лук, гниющий лук, гниющая капуста, сульфидный, карамель	эфиры (этилметилбутират и -пропаноат), многочисленные серные молекулы (этантiol и метантiol, этилсульфанилэтантiol, этандитiol, диметилтритiolан), этилфуранеол

мне достаточно понравились, чтобы контрабандой пронести один в свой номер в отеле, спрятав его в двух сумках, чтобы съесть его на следующий день. Спустя всего лишь час или два его королевское присутствие заполнило помещение и стало непереносимым. У меня не было иного выбора, кроме как совершить цареубийство и избавиться от тела, смыв его по кусочкам в унитаз.

Как и предполагают соответствующие луковые и протухлые впечатления, дурианы — серные химики-энтузиасты. Они вырабатывают дюжину тиолов и пару сульфидов, некоторые из них — необычные молекулы с двумя и тремя серными атомами. Хотя многие тропические фрукты добавляют интересные серные следы к центральной эфирной плодovости, дурианы повышают тиолы и сульфиды до ролей второго плана.



Немецкие ароматические химики сообщили в 2017 году, что простая смесь из всего лишь двух летучих молекул может гарантированно напомнить дуриан людям, когда-либо ощущавшим его запах: эфир **этилметилбутират**, глав



ный компонент запахов клубники и ананаса, и **этилсульфанилэтантиол**, редкая серная молекула, пахнущая как жареный лук.

Каких же животных дурианы успешно рекрутируют этой смесью фруктового и серного? Согласно ботанику Корнеру:

«В Малайе запах плодоносящих деревьев в лесу привлекает слонов, скапливающихся ради того, чтобы первыми выбрать плоды; затем приходят тигры, свиньи, олени, тапиры, носороги и обитающие в джунглях люди. Гиббоны, мартышки, медведи и белки могут съесть плоды на деревьях; орангутаны могут доминировать на этом пиршестве в Суматре и Борнео...»

Более современные наблюдения добавили к этому списку малайских медведей, гигантских крыс, дикобразов и макак, и орангутаны, судя по всему, особенно обожают дурианы — как и, разумеется, некоторые из их человеческих кузенов, которые культивируют

и собирают их тоннами. Большинство из этих распространителей семян дурианов — всеядные животные, а не строго плодоядные, поэтому серные летучие молекулы могут помочь предположить животную добычу или падаль, более богатые жирами и белками, чем большинство плодов — какими дурианы по факту и являются.

Если запах дуриана сводится к клубнике и жареному луку, необычному, но вряд ли ужасающему сочетанию, тогда что же объясняет отвращение и запреты, которые он вызывает? Возможно, его неослабевающая насыщенность: ценная на открытом воздухе тропического леса, кишашего существами и их соперническими летучими молекулами, но не слишком-то приятная в замкнутых и дезодорированных пространствах цивилизации, где незначительные отдающие гнильцой тиолы могут накапливаться до полноценной протухлости. Мне понравились сингапурские дурианы на обочине дороги, но не в моем номере в отеле. Альфред Уоллес испытал этот же самый контраст:

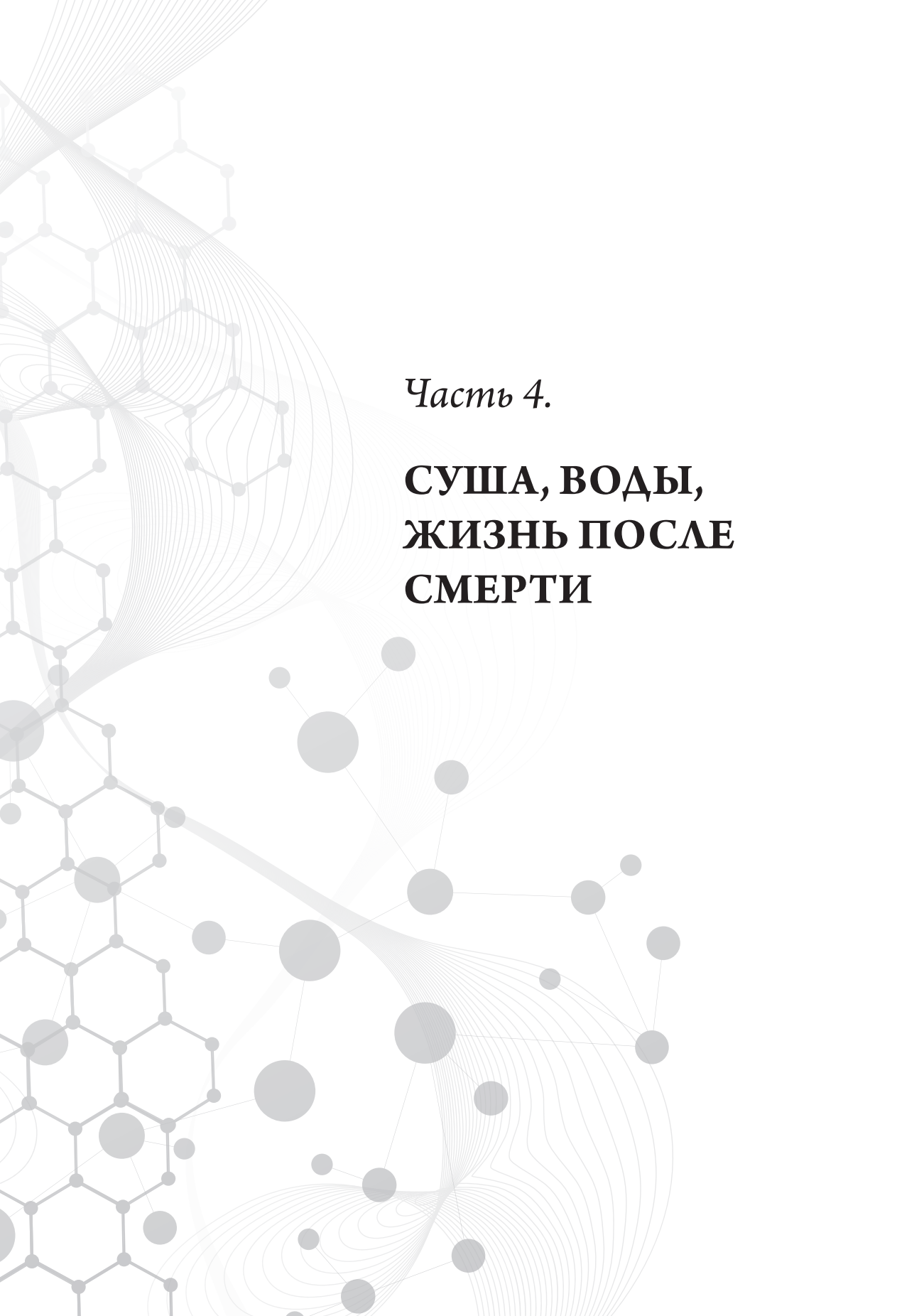
«Когда его приносят в дом, запах зачастую такой зловонный, что некоторые люди так и не могут заставить себя его попробовать. Так произошло и в моем случае, когда я впервые попробовал его в Малакке, но в Борнео я нашел свежий плод на земле, и, поедая его на улице, я тотчас же стал убежденным едоком дурианов».

Если вы заинтересовались дурианом, но вам в ближайшем будущем не предстоит путешествие на Дальний Восток, тогда купите один на азиатском рынке или закажите в интернете и возьмите его на улицу. Если он хотя бы близок к спелости и характерен, он будет сенсационен, один из самых запоминающихся плодов в вашей жизни.

Дурианом мы завершаем наш семиглавный обзор царства наземных растений и их летучего богатства с запахами воздуха сельской местности, которым мы дышим, и продуктами, которые мы едим. Как мы увидели, летучие молекулы — одно незаменимое средство,

при помощи которого укоренившиеся растения защищают и обновляют самих себя в мире, кишасщем существами, голодными до их материи. Большинство растительных летучих молекул — защитные предупреждение и оружие, но, контролируя их дозу, мы умудряемся наслаждаться ощущениями, которые они стимулируют, причем настолько, что мы сами добровольно защищаем эти растения. Мы делаем то же самое для цветов и их смешанных химических посланий. И в случае плодов из этой главы мы получатели субсидий от продолжавшихся в течение эпох переговоров между производящими семена растениями и разносящими семена всевозможными животными. Плоды не только лакомые сами по себе, но они обучают нас возможностям лакомства.

Мы подошли к последнему прилавку царства растений на нашем воображаемом рынке. Пройдите на выход, и мы подходим к огромной куче выброшенных цветов, овощей, душистых трав и плодов — все увядшие, испорченные, побитые. Их полезная жизнь окончена. Но они вот-вот станут стартовыми материалами для творческой деятельности других царств живых организмов, которые в первую очередь помогли благоприятствовать их росту. Теперь мы обращаемся к посмертной судьбе многих растений, царству грибов и сотворению почвы.

The background features a complex, abstract design. On the left side, there are several overlapping hexagonal molecular structures, resembling a honeycomb lattice, rendered in a light gray color. These structures are interspersed with a series of thin, flowing, wavy lines that sweep across the page from the top left towards the bottom right. Scattered throughout the lower half of the image are various sized gray circles, some of which are connected by thin lines, creating a network-like or molecular structure. The overall aesthetic is scientific and modern, with a monochromatic gray and white color scheme.

Часть 4.

**СУША, ВОДЫ,
ЖИЗНЬ ПОСЛЕ
СМЕРТИ**

ГЛАВА 14.

СУША: ПОЧВА, ГРИБЫ, КАМЕНЬ

Не подлежит сомнению, что лучшая почва пахнет как высококачественная мазь... Это запах, часто распознаваемый на закате... в том месте, где концы радуги встречаются с землей, или когда дождь промочил землю после долгой засухи. Именно тогда земля выдыхает свое собственное божественное дыхание, полученное от солнца и обладающее несравненной сладостью. Именно это должна испускать почва, когда ее вспахивают... Запах — лучший способ судить о почве.

Плиний, «Естественная история»

Признается, что многие природные сухие глины и почвы развивают особенные и характерные запахи, когда на них подышат или намочат их водой... В первую очередь именно в засушливых регионах, где сравнительное отсутствие органической материи в почвах и частое преобладание различных видов выходящих на поверхность горных пород на участке — характерные свойства, этот запах наиболее широко распознаваем и часто ассоциируется с первыми дождями после периода засухи... Разнообразная природа преобладающих материалов позволила нам предложить название «петрикор» для этого, судя по всему, уникального запаха, который можно считать «ихором» или «разреженной эссенцией», происходящей от горной породы или камня.

В петрикоре наши обонятельные чувства дают нам знание одного пункта в великом природном цикле физических и химических реакций.

Изабель Беар и Ричард Томас, «Природа аргиллитового запаха», 1964 год;
«Происхождение петрикора», 1966 год

Запахи почвы, запахи горной породы и камня — настоящие обонятельные вехи! Они возникают от участков самой Земли, комка космических обломков, согретая звездой поверхность которых — наш дом. Поэтому долго считали, что они содержат подсказки к наиважнейшим процессам планеты. И это правда, даже когда мы встречаем их в цветочных горшках и пешеходных дорожках, этих перемещенных и переделанных кусочках Земли.

Для римского натуралиста Плиния запах плодородной почвы — смешанное дыхание Солнца и Земли, особенно очевидное, когда Земля выдыхает тепло дня на закате и когда небеса касаются ее радугой и дождем. Прелестьная басенка. Спустя две тысячи лет и на другом краю света австралийские ученые Изабель Беар и Ричард Томас обратились к греческой мифологии, чтобы назвать запах долго пребывавших в сухом состоянии горных пород и почвы, когда они только что

были увлажнены. От petri- (камень) и ichor (нематериальная кровь богов) они создали парадоксальный термин «петрикор»: неосязаемая, но пахучая «разреженная эссенция», испускаемая от земли, когда она находится в наиболее осязательно твердой форме.

Несмотря на его выразительную родословную, петрикор — неудачный термин. Он усиливает наше первое впечатление, когда мы чувствуем запах только что намочшего камня, будто этот запах принадлежит самому камню. Мы думаем, будто бы мы ощущаем его «минеральность». Но мы ошибаемся, наведенные на ложный след твердым присутствием камня. Беар и Томас обнаружили, что запах на самом деле возникает от рассеянных парящих в воздухе остатков живых организмов Земли. Так получается, что сухая горная порода собирает эти остаточные летучие молекулы день за днем — как это делают частички пыли в атмосфере, — пока внезапный дождь не высвобождает их пахучим всплеском. Поэтому запах горной породы, как и запах приближающегося дождя, — разреженная эссенция живой планеты. Более верным эллинизированным названием было бы геяикор: выдох Гей, матери-земли.

Почвы вносят свой вклад в геяикор, и их запахи тоже сильнее всего после недавнего дождя. Почва — это то место, где обитатели суши жили, умерли и затем обрели жизнь после смерти, когда Гея забрала обратно их субстанцию и перераспределила ее для новых поколений. Запах почвы — приближенное дыхание этого цикла, как раз тогда, когда он начинает рассеиваться в открытом воздухе. Он сладкий, ни стерильный, ни вонючий, когда он возникает от динамики прижизненного и посмертного кормления друг другом, активно создавая почву и ее плодородность. Это запах великого цикла, без которого суша была бы не более чем обнаженной скалой.

Почва — поверхность контакта минеральной планеты и живых сообществ, населяющих ее. Это то место, где скала, воздух, вода и жизнь смешиваются более тесно, чем где-либо еще. Ее не существовало до тех пор, пока ран-

ние микробы из воды не прицепились впервые к скалистым берегам молодой Земли. Эти первопроходцы и их последователи постепенно преобразили сушу. Они корродировали и растворяли ее своими кислотными жидкостями. Когда они умерли, они оставили в наследство мягкие крошки своих останков, смешавшиеся с частицами выветренной скалы. Коллаж из неорганических и органических кусочков сохранял влагу, минералы и воздух, давал приют от солнца и непогоды и предлагал оазисы, где клетки-падальщики могли бы процветать, а затем, в свою очередь, умирать. Обнаженные участки планеты начали исчезать под ковром почвы, все более благоприятствующей для новой жизни.

Крупнейшим благотворителем почвы и ее крупным получателем пожертвований было царство растений. Наземные растения материализуют солнечный свет и воздух в листья, стебли, стволы и плоды и за эпохи сбросили достаточно частей самих себя, чтобы образовывать ковер, способный поддерживать деревья высотой триста футов (сто метров). Наше слово soil (почва) происходит от древнего корня, означающего «сидеть». Почва — низкопрофильный трон царства растений, сосредоточие власти, от которого и господствующие деревья, и скромные сорняки даруют пишу и приют другим обитателям суши.

Для того чтобы обложной дождь растительных останков стал почвой и прокормил новые поколения, сложные, физически жесткие растительные структуры должны быть вновь расщеплены на простые годные к применению углеродные молекулы. Бактерии исполняют свою роль, наводняя поврежденные ткани, метаболизируя свободные питательные вещества и, в свою очередь, становясь пищей для маленьких животных. Всевозможные животные, от отдельных клеток до земляных червей и до бобров, помогают, измельчая растения и их останки, поглощая часть, предоставляя остаток для работы другим и в конце концов вкладывая свои собственные останки.

Но ведущие редуценты — грибы, царство грибов и плесени, шляпочных грибов и дрож-

жей, — члены совершенно иного живого царства, чьи самые ранние предки, возможно, колонизировали мокрые побережья задолго до того, как это сделали зеленые растения. Вместе с некоторыми случайными бактериями, соперничающими с ними, грибы привносят свои собственные характерные наборы летучих молекул в нашу повседневную жизнь. Они помогают ароматизировать почву, гнилые плоды и сырые чуланы; они также создают лакомые продукты и напитки, некоторые из которых на вес минерального золота.

Далее в этой главе: осенние листья, кухонный компост, шляпочные грибы и трюфели, набухающее хлебное тесто и вонючее пиво, камни мокрые и сухие. Широкое разнообразие декораций, поэтому мы будем сменять их в воображении, когда потрется.

ГРИБКИ, ШЛЯПОЧНЫЕ ГРИБЫ, ДРОЖЖИ, СТРЕПТОМИЦЕТЫ

Чтобы познакомиться с грибами, давайте начнем с прогулки в прохладной влажной тени лесного заказника или участка лесной зоны, с которым вы знакомы. Мы оставляем проторенную тропу и опускаемся на четвереньки, чтобы потыкаться, покопаться и обнюхать все на маленьком участке шириной с локоть. Среди разбросанных листьев находятся побитые плоды, некоторые из которых пузыряются вытекающими соками, некоторые — с бархатистыми зелеными пятнами, некоторые — с черным пушком. Есть разлагающаяся древесная ветка, один ее конец коричневым и крошащимся, другой — белый и мягкий. Наполовину зарытый камень с чем-то, похожим на брызги оранжевой краски, но с затейливым лепестковым узором. Гроздь сероватых грибов, выглядывающих на поверхность, один из них демонстрирует похожие на корни волокна у своего основания. Участок земли с бледно-зеленой коркой. Запахи: разнообразно винные, резкие, гнилые, прокислые, грибные. Землистые.

Каждая из этих незначительных особенностей — представительство царства грибов,

каждая — конкретный гриб, занятый грязной и бесценной работой по разложению. Пузырящиеся соки: дрожжи. Зеленый бархат и черный пушок: плесневые грибки. Коричневая и белая ветка: менее и более эффективные древесные гнили. Брызги краски: лишайник. Шляпочные грибы: временные выросты подземной сети. Зеленая корка: объединенное сообщество грибов, лишайников, бактерий, водорослей и мхов, вместе образующих поверхность почвы. Вместе с растениями и животными грибы составляют третье царство сложных форм жизни, преобладающих в нашем повседневном опыте. И их летучие молекулы и запахи очень своеобразны.

Слово *fungus* (гриб) сперва обозначало на латыни «губка» и позднее применялось к шляпочным грибам, которые являются губчатыми и высвобождают впечатляющее количество воды, когда они скукоживаются от жара. Ученые приняли это слово для обозначения всего эволюционного клана, включающего шляпочные грибы, по оценкам, миллион различных видов, колонизировавших как воду, так и сушу (а также реактивное топливо и краску!), со структурами, варьирующимися от бесконечно малых клеток до трюфелей размером с баскетбольный мяч.

Хотя шляпочные грибы кажутся похожими на растения по своей неподвижности и среде обитания, они и их клан более близки к животным как генетически, так и по их основной жизненной стратегии: они неспособны заниматься фотосинтезом, поэтому им необходимо получать питательные вещества от других живых организмов или их останков. Они начинают жизнь как микроскопическая похожая на семя спора, прорастающая в активно метаболизирующую клетку. Дрожжевые клетки остаются одиночными, живя со всем как одноклеточные бактерии, и от них отпочковывается независимое потомство, но большинство грибов образуют длинные, разветвленные, многоклеточные волокна под названием гифы (от греческого «паутина»). Их мелкая белая вуаль — первый видимый признак роста плесени на плодах и хлебе.

Гифы почвенных грибов зачастую скомканы вместе в массу переплетающихся белых нитей, коллективно известных как мицелий (от греческого «гриб»). Растущие кончики этих мицелиев могут растягиваться на целые мили почвы и проникать в твердые растительные и животные ткани, мертвые и живые, чтобы собирать питательные вещества.

Некоторые грибы поражают живые растения и животных и вызывают болезни, в то время как другие, включая многие виды шляпочных грибов и трюфелей, развивают взаимовыгодные отношения с конкретными деревьями и их корнями, поставая почвенные минералы в обмен за сахара и другие питательные углеводные цепочки. Еще есть много обитателей почвы, собирающих питательные вещества из тканей лежащей на земле мертвечины. В отличие от животных, которые поглощают пищу в свои тела, там переваривают ее и выделяют отходы, несимбиотические грибы выпускают мощные пищеварительные ферменты в окружающую среду и затем поглощают молекулы строительных элементов, которые ферменты высвобождают из местных останков. Любые другие существа, оказавшиеся поблизости, тоже

могут присоединиться к пиршеству. Эти почвенные грибы перерабатывают упавшие плоды, опавшие листья, животный помет и сложную материю самой почвы, высвобождая запасенную химическую энергию и строительные элементы и подпитывая всю окружающую среду.

Самые массивные наземные растения — это деревья, и их древесина особенно плотная, и ее трудно расщепить. Некоторые бактерии, а также грибы бурой гнили могут переваривать целлюлозу и гемицеллюлозу, два основных компонента древесины. Но третий, лигнин, полезен для живых деревьев как раз потому, что он препятствует микробному поражению. Грибы белой гнили входят в число немногочисленных специалистов планеты по перевариванию более сложных лигнинов деревьев с твердой древесиной; грибы шиитаке и вешенки — их самые вкусные представители.

Шляпочные грибы — специальные структуры, которые некоторые грибы формируют для выработки и рассеивания своих спор, белые душевые головки, поднимающиеся от гниющей древесины или почвы, чтобы оросить миллиардами спор проходящие потоки

Некоторые знакомые грибы: шляпочные грибы, плесневые грибки, дрожжи

Гриб	Типичная среда обитания	Применения
обычный белый/коричневый шампиньон, <i>Agaricus bisporus</i>	растительный опад, помет	пища
шиитаке, <i>Lentinula edodes</i>	валежник	пища
белый гриб, боровик, болет, виды <i>Boletus</i>	симбиоз с корнями деревьев	пища
трюфели, виды <i>Tuber</i>	симбиоз с корнями деревьев	пища
виды <i>Aspergillus</i>	заплесневелые овощи, зерно	приготовление соевого соуса, мисо, рисовых спиртов
виды <i>Penicillium</i>	заплесневелые цитрусовые плоды	приготовление сыров и колбас, изготовление антибиотиков
виды <i>Rhizopus</i>	заплесневелые хлеб, плоды	приготовление темпе
пивные, хлебопекарные дрожжи, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	портящиеся плоды, поврежденные растения	приготовление вина, пива, хлеба, соевого соуса, дрожжевого экстракта
виды <i>Brettanomyces</i>	винодельни, пивоварни	приготовление пива

воздуха. Другие виды, нитевидные грибки, как те, что разлагают наши продукты видимыми поверхностными пятнами, поднимают крохотные споровые метательные установки на коротких нитях, придающих им бархатистый, мохнатый или пушистый вид. Третьи, включая одноклеточные дрожжи, высвобождают свои споры невидимо.

Помимо своей роли производителей почвы, грибы — виртуозные химики, чьи творения различно поддерживают и лечат нас. Мы ценим шляпочные грибы и трюфели больше за их характерные запахи и вкусы, чем за их питательные вещества. При помощи плесневых грибков мы превращаем пресные молоко и соевые бобы в ароматные сыры и аппетитный соевый соус; при помощи дрожжей плоды и зерно становятся вином и пивом. Многие грибы пытаются ограничить нахлебничество оппортунистических соседей химическими видами оружия, чтобы отпугнуть, подавить или убить их. В то время как некоторые из этих молекул токсичны для нас — и делают поедание диких грибов рискованным делом, — другие оказались полезными. Среди них пенициллин.

Одно последнее знакомство с некоторыми основными существами, ароматизирующими почву: с микробами, которые не являются истинными грибами, но они такие хорошие грибные подражатели, что были первоначально неправильно идентифицированы и названы в их честь. **Стрептомицеты** (от греческих слов «изогнутый» и «гриб») — это бактерии, семейство которых возникло примерно в то время, когда растения овладевали сушей, и, судя по всему, развило похожий на грибы характер, чтобы приспособиться к жизни в почве. Как и большинство грибов, стрептомицеты выделяют пищеварительные ферменты в свою окружающую среду и формируют споры и похожие на гифы цепочки клеток. Они также вырабатывают мощные антибиотические молекулы, чтобы защищать себя: стрептомицин, тетрациклин и несколько других лекарственных средств происходят от стрептомицетов.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОЧВЫ: ОПАВШИЕ ЛИСТЬЯ, КУХОННЫЙ КОМПОСТ

Сотворение почвы начинается с доставки к земле ее серых ингредиентов, главным образом мертвых или умирающих растительных тканей. По подсчетам, где-то десять миллиардов тонн древесных иголок и листьев истекают по всему миру в любое заданное время. Хотя большая часть летучих молекул, высвобождаемых ими, поглощается почвой, остатков, попадающих в воздух, достаточно, чтобы вносить крупный вклад в органические летучие выбросы с суши, в ее приливы запаха и предшественников геяикора.

Листья и другие растительные части опадают со своими резидентными микробами, и те начинают процесс преобразования растительного опада в почву, метаболизируя готовые источники энергии, сахара, крахмал и некоторое количество целлюлозы, мембранных липидов и белков. К ним скоро присоединяются плесневые грибки. В умеренных лесах у различных микробов и грибов уходит несколько недель на то, чтобы поглотить половину углеводов в опавших листьях. Когда то, что остается, это по большей части укрепляющий структуру лигнин, преобладают грибы-специалисты по лигнину вместе со стрептомицетами. Может уйти шесть месяцев на то, чтобы расщепить половину лигнина в листе.

Вам не нужно идти в лес, чтобы понюхать эти первоначальные стадии создания почвы: **осенние листья** во дворе или канаве подвергаются тому же самому процессу. Большая часть разлагающейся растительности имеет тенденцию высвобождать многие из одних и тех же простых углеродных цепочек стартового набора, эфирные и похожие на растворитель метиловый и этиловый спирты, ацетальдегид и ацетон — все продукты частичного расщепления сложных углеродных цепочек. Опавшие иголки в хвойных лесах высвобождают большие количества своих типичных терпеноидов, пинена, карена и лимонена, в то

время как широколиственная листва вместо этого испускает почти не пахнущего терпеноидного родственника, изопрен (см. с. 178). Многие листья покрыты защитным слоем воска, и, как было обнаружено, почвенные грибы используют воск на сосновых иглах и вырабатывают крупные кольцевые молекулы, содержащие от двенадцати до шестнадцати углеродов, являющиеся близкими родственниками «мускусных» молекул, высоко ценимых в парфюмерии (см. с. 370).

Вероятно, самые характерные летучие молекулы опавших листьев — сладко пахнущие, похожие на табак **фурфурол** и гидроксиметилфурфурол, пятиугольные кольца с одним кислородом, вырабатываемые микробами и грибами, когда они расщепляют целлюлозу. Грибной метаболизм более стойкого лигнина высвобождает следы толуола и ксилола.



Мы лучше всего знаем эти молекулы как растворители, производимые из нефти, поэтому для нас они обладают похожим на растворитель «химическим» запахом (см. с. 337), но они довольно-таки естественно составляют пьянящий аромат лесной подстилки.

Есть одно удивительное дерево, листья которого ценятся за свой осенний запах точно так же, как кленовые листья — за свой цвет. Опавшие листья растущего в умеренных азиатских регионах **багрянника**, *Kuchenbaum* или «пирожного дерева» по-немецки (*Cercidiphyllum japonicum*), пахнут как кара-

мель, сахарная вата и сладкая выпечка благодаря накапливанию ими большого количества углеродно-кислородного кольца мальтола (см. с. 388) как раз перед тем, как они опадают. Как же дерево может извлечь пользу из своего ковра сладко пахнущих листьев? Все еще загадка.

Садовый компост — это находящаяся на заднем дворе ускоренная версия природного разложения. Собираение в кучу садовых отходов и кухонных объедков создает концентрированную массу питательных веществ, стимулирующую быстрые микробный и грибной метаболизм и разложение. Вдобавок к выработке химической энергии эти реакции также вырабатывают тепло, и, поскольку внутреннее содержимое компостной кучи эффективно изолировано, ее температура может подниматься до достаточной высоты, чтобы приготовить стейк более чем хорошей прожарки! Компостные микробы, переносящие такие температуры, судя по всему, эволюционировали в горячих источниках, природных растительных кучах и животном помете. Вырабатываемые ими запахи могут быть либо приятными, либо противными, в зависимости от составляющих компоста и того, как они сложены в кучу. Свежие «зеленые» отбросы сохраняют большую часть белковых структур, управлявших их клетками, в то время как мертвая «коричневая» материя сохраняет всего ничего. Если компостная куча содержит больше белковых структур от

Некоторые запахи опавшей листвы

Запахи	Молекулы
спирт	метиловый, этиловый спирты
зеленый, свежий	ацетальдегид
растворитель	ацетон
сладкий, древесный, хлебный	фурфурол
карамель, табак	гидроксиметилфурфурол
сладкий, эпоксидный клей	толуол (метилбензол)
пластик	ксилол (диметилбензол)
теплый, сладкий, приятно животный	C_{12} , C_{14} , C_{16} лактонные кольца
сладкий, карамель, пирог	мальтола

свежего материала, чем есть готовой энергии для коричневой материи, чтобы строить новые клетки для ее использования, тогда компостная команда тоже расщепляет структуры для энергии. Поскольку белки содержат азот и серу, в результате получается куча, пахнущая рыбными аминами и едким аммиаком, а также сульфидными, гниющими сульфидом водорода и метилсульфидом. Если свежий материал хорошо разбавлен мертвыми листьями или древесными щепами (от двадцати пяти до пятидесяти частей коричневой материи на одну зеленую), тогда выработка аминов и сульфидов минимальна, и куча пахнет как сильная версия лесной подстилки.

Второй фактор, определяющий компостный запах, — это то, насколько хорошо проветривается куча. С избытком доступного кислорода в новой куче преобладающие компостирующие микробы — аэробные, и они расщепляют свои углеродные источники вплоть до лишения запаха оксида углерода (IV) и воды. Когда куча оседает и становится более компактной, низкий уровень кислорода способствует росту анаэробных микробов. В результате получается их типичная сильная смесь кислых, рвотных, прогорклых кислот с короткой цепью, рыбных аминов и протухлых сульфидов. Это запахи компоста, сложенного слишком плотно или неспособного выделить излишки воды, или же цветочных горшков, промоченных насквозь неделями мокрой погоды. Это также запахи свежего навоза и природных болотистых местностей (см. с. 299).

ПОЧВЕННЫЕ ЗАПАХИ: ХАРАКТЕРНАЯ ЖИЗНЬ, ЗАГАДОЧНЫЙ ГЕОСМИН

В конце концов растительный опад и компост оказываются под землей как часть почвы как таковой, где они вносят вклад в фон ее характерного запаха. Органические останки составляют всего лишь несколько процентов объема почвы, и их большая часть — это гумус, смесь стойких молекулярных остатков, поглощающих и удерживающих немного воды

и минералов, помогающих сохранять почву пористой, влажной и питательной и придающих ей ее характерный коричнево-черный цвет.

Непотревоженная почва кишит всевозможной жизнью, большая часть которой пока что неидентифицирована. Подсчитано, что в каждом грамме почвы содержатся десятки миллиардов бактерий и десятки тысяч разных видов микробов, включая грибы, вместе с крошечными червями и насекомыми. Основная масса большинства почв — это примерно равные объемы каменных частиц и пространства между ними, либо пустого, либо заполненного водой. Маленькие мокрые поры обычно заняты бактериями, и грибные гифы прокладывают свой путь через более крупные, чтобы найти редкие оазисы растительных или животных останков или живые растительные корни.

С таким разнообразным коллективом существ в почве неудивительно, что ее летучие молекулы тоже составляют легион. Среди них преобладают несколько непахнущих газов: метан, оксид углерода (IV) и оксиды азота. Первый — продукт микробного метаболизма в бедных кислородом регионах почвы, два других — от аэробного расщепления растительных и животных останков. Оставшиеся выбросы, от одной десятой до одной трети от общего объема, — это по большей части обычные летучие молекулы стартового набора (см. с. 58–60) вместе с терпеноидами, возникшими в иголках и листьях. И маленькая доля состоит из летучих молекул, построенных обитателями почвы в качестве сигналов, средств защиты, гормонов, а также других кислот для роста и размножения.

Характерный запах почвы и ее источник были прослежены химиками, искавшими не божественное дыхание Плиния, а причину грязного вкуса в речных водах и рыбе. После первичных исследований французского химика и немецкого бактериолога примерно на рубеже двадцатого века, английские ученые определили в 1930-х годах, что и сильный побочный запах в питьевой воде из реки Нил,

и «землистое загрязнение» в шотландском речном лососе были оба вызваны бактериальными-стрептомицетами.



В 1965 году микробиолог Нэнси Гербер из Ратгерского университета определила структуру землисто пахнущей летучей молекулы, вырабатываемой стрептомицетами, и назвала ее **геосмин**, от корней, обозначающих «земля» и «запах».

Эта обонятельная веха — видоизмененная версия сесквитерпеноида, с десятью углеродными атомами, построенными в два соединенных кольца и украшенные двумя метиловыми группами. Сегодня известно количество других производителей геосмина. Они включают обитающие в почве и воде цианобактерии и миксобактерии, водоросли, мхи и лишайники, землястые на вкус свеклу, мангольд и шпинат, кактусовые цветки, случайный гриб — хотя, по имеющимся на данный момент сведениям, ни единого шляпочного гриба — и многоножек. Но определенно самые распространенные производители геосмина — стрептомицеты и цианобактерии.

Позднее Нэнси Гербер обнаружила две другие молекулы стрептомицетов, вносящие вклад в запах почвы: еще один терпеноидный дериват, метилизоборнеол, и содержащий азот **изопропилметоксипиразин** (см. с. 159).



Пиразин также вырабатывается картофелем, зеленым горошком и растением, смола которого, называемая гальбан, используется в парфюмерии (см. с. 367). Гербер отметила устойчивость и сходные черты этих трех летучих молекул: запахи «были склонны долго сохраняться и цепляться к аппарату и людям». Геосмин

пахнет «землисто»; метилизоборнеол — «как камфора»; пиразин — «прокисло». Все три вызывают проблемы со вкусом разводимой рыбы (см. с. 314). На удивление, но ни один из них, похоже, не является мощным химическим средством защиты, особенно по сравнению с антибиотиками и токсинами, вырабатываемыми стрептомицетами. Вместо этого, возможно, это способ для микробов подать сигнал о своем присутствии друг другу, пометить территорию и избежать столпотворения.

Преобладание геосмина в запахе почвы частично обусловлено его выработкой вездесущими микробами, но также нашей чрезмерной чувствительностью к нему: мы можем ощутить его в очень малых количествах. С чего это мы так чувствительны к молекулам, не являющимся токсичными? Это закономерно, что Земля пахнет землисто, а геосмин — признак жизни, что предполагает гостеприимное место, влажное и плодородное — позитивные вещи. (В кактусовых цветках он, возможно, заманивает животных-опылителей как обещание скудной пустынной влаги.) Но мы обычно не глотаем землю! В воде и рыбе геосмин — неуместная землистость. Те же самые стрептомицеты и цианобактерии, которые вырабатывают геосмин, способны выделять мощные токсины, как и вырабатывающие геосмин пенициллиновые плесневые грибки, от которых гниют плоды и зерно. Хорошо быть чувствительным к присутствию этих потенциально вредоносных микробов и опасаться землистости, когда она исходит не Землей или продуктами, которые мы из нее вытаскиваем.

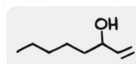
Некоторые характерные запахи почвы

Запахи	Молекула
землистый	геосмин (модифицированный сесквитерпеноид)
землистый, камфора, прокислый	метилизоборнеол (модифицированный монотерпеноид)
землистый, прокислый, картофель, зеленый горошек	изопропилметоксипиразин

Итак, особый запах почвы — это смесь обычных терпеноидов и пиразина, наложенных на обычные выхлопные газы живого метаболизма. Его основные авторы — бактерии, а не грибы, являющиеся основными авторами самой почвы. Мы часто описываем шляпочные и другие съедобные грибы как имеющие землистый аромат. Но их запах совсем не похож на запах почвы, из которой они появляются. Грибы вносят свой собственный набор обонятельных ориентиров в ароматическую палитру.

ГРИБНЫЕ ЛЕТУЧИЕ МОЛЕКУЛЫ И ЗАПАХИ

Листья зеленых растений имеют «зеленый» запах, когда их давят, потому что они испускают шестиуглеродные альдегиды и спирты зеленой листвы (см. с. 137). Большинство грибов имеют «грибной» или «плесневый» запах, потому что они испускают характерную группу восьмиуглеродных альдегидов и спиртов. Они называются октanal и октanol соответственно, когда они представляют собой простые цепочки, октeналы и октeнолы, когда между двумя углеродами в цепочке есть двойная связь. (Есть больше одного октeналя и октeнола, потому что двойная связь может возникнуть между разными парами цепочных углеродов.) Как это верно для шестиуглеродных листовых летучих молекул, восьмиуглеродные грибные летучие молекулы — химические виды оружия и сигналы, и грибы повышают их выработку, когда их ткань повреждается. Самая распространенная и характерно грибная молекула, порой называемая **грибным спиртом**, — это октeнол.



Он токсичен для микробов и отгоняет слизней, обычно слоняющихся по лесной подстилке. Но он и другие восьмиуглеродные летучие молекулы также регулируют жизнедеятельность самих грибов. Было обнаружено, что они различно препятствуют росту мицелиев, выработке спор и прорастанию спор — воз-

можно, в качестве защитной остановки работы всех систем.

Почему у грибов восьмиуглеродные цепочки, а у растений — шестиуглеродные? Возможно, для двух обитающих в почве царств было выгодно поддерживать отдельные арсеналы и каналы связи, чтобы избежать перепутывания друг с другом или с рагу стартового набора других почвенных микробов. Это также вопрос биохимического удобства. Оба набора вырабатываются расщеплением длинных углеродных цепочек, формирующих мембраны в клетках и вокруг них. Имеющие зеленый запах шестиуглеродные фрагменты начинаются с линоленовой кислоты, избыточного компонента фотосинтезирующих структур листа с тремя двойными связями. Грибы не зеленые, не занимаются фотосинтезом и содержат очень мало линоленовой кислоты; вместо этого их ферменты работают с линолевой кислотой и ее двумя двойными связями и вырабатывают восьмиуглеродные фрагменты, наиболее часто и многочисленно — октeнолы.

Восмиуглеродные летучие молекулы не являются «землистыми» так, как геосмин, тяжелый и цепляющийся. Разломите свежий гриб, поднесите его к своему носу и вдохните, эффект жгучий и бесплотный, поскольку избыточные восьмиуглеродные спирты оказывают эффект, сходный с их двухуглеродным тезкой, этиловым спиртом. Они испускаются как смесь, их пропорции зависят от конкретного вида, его стадии роста и других факторов. Изолированные и понюханные индивидуально, все из восьмиуглеродных летучих молекул также имеют тенденцию напоминать другие объекты, в которых они ярко выражены, особенно восковой аспект цитрусовых корок и порой куриный жир, богатый линолевой кислотой и, таким образом, также ее фрагментами. Кетон октeнон выделяется своими дополнительными металлическими, похожими на кровь характеристиками, которые они напоминают, потому что это основной фрагмент, вырабатываемый химически активными металлами из длинных углерод-

Некоторые распространенные восьмиуглеродные летучие молекулы грибов

Молекула	Запахи
октанола	восковой, зеленый, цедра апельсина, гриб
октаналь	восковой, цитрус
октанон	зеленый, фруктовый, прокислый
октенола, «грибной спирт» (окт-1-ен-3-ол)	гриб, жирный, землястый, зеленый
октенола (окт-2-енола)	жирный, цитрусовые корки
октеналя	жирный, зеленый, цитрусовые корки
октенон	металлический, кровь, гриб, землястый
октадиенола (две двойные связи)	жирный, куриный бульон

ных цепочек, когда мы держим в руках ключи и монеты, моем горшки и кастрюли или истекаем богатой железом кровью, прикусив язык или порезавшись (см. с. 398).

Мы обычно замечаем характерный запах грибов, когда мы попадаем в закрытое пространство, достаточно сырое, чтобы поддерживать их рост. Плесень и другие грибки процветают в ваннах комнатах, подвалах и кладовках, даже на такой минимальной пище, как пыль в углах, остатки мыла в строительном растворе между плитками и краска. От сильных плесневых запахов людям может стать плохо, и парящие в воздухе споры, сопровождаемые ими, могут действительно вызвать болезни. Однако некоторые плесневые грибки, судя по всему, улучшают качество воздуха, поглощая летучие молекулы других грибов и используя их в качестве пищи! В течение веков было известно, что на стенах винных подвалов и складов винокуров образуются лохматые и закопченные отложения, и они в конце концов были идентифицированы как плесневые грибки, кормящиеся спиртовыми парами, выпускаемыми бочками с вином и спиртными напитками. Один лохматый плесневый грибок, широко распространенный в подвалах Германии и Венгрии, различно называемый *Racodium* или *Zasmidium*, может метаболизировать формальдегид, а также другие подвальные испарения, и его порой специально подкармливают вином, чтобы побудить его расти и очищать подвальный воздух.

Восьмиуглеродные цепочки — самые характерные и узнаваемые грибные летучие молекулы, но определенно самый популярный грибной продукт — простая двухуглеродная молекула: спирт этанола. Его похожий на растворитель запах довольно-таки непримечательный. Но дрожжи выделяют его в изобилии, чтобы подавить своих соперников, и миллиардам из нас и в самом деле нравится его опьяняющее воздействие на наши нейроны. Нет никакой другой летучей молекулы на планете, вырабатываемой или поглощаемой в большем количестве. Мы поближе обнюхаем спирт и другие дрожжевые летучие молекулы через несколько страниц.

Грибные летучие молекулы, которые мы замечаем наиболее часто, принадлежат дюжине или чуть большему количеству распространенных грибов, достаточно вкусных, чтобы их есть. Эти шляпочные грибы и трюфели демонстрируют, насколько значительно больше их царство может предложить, чем просто характерную грибную сущность.

ГРИБНЫЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ: ШЛЯПОЧНЫЕ ГРИБЫ

Для большинства из нас шляпочные грибы — нечто вроде овоща, их почти всегда готовят. Для изучающих царство грибов, шляпочные грибы — «плодовые тела». Как и содержащие семена плоды растений, они — специализированные структуры для выпуска в мир

следующего поколения. Когда подземные родительские сети накопили достаточно энергии и материи и условия благоприятно влажные, они организуют массу гифов структуру, которая может силой проложить свой путь вверх. Как только она прорывается через почву, она открывает похожую на зонтик шляпку, на которой расположены маленькие поры или похожие на лезвия жабры, и затем высвобождает миллиарды спор в проходящие воздушные потоки.

Разумеется, плодовые тела, поднимающиеся от почвы или гниющей древесины, мало напоминают яблоки и клубнику! Плоды зеленых растений — символы обмена, вознаграждающего животных за помощь в распространении семян. Основной распространитель для грибов — это ветер, которому не нужны ни привлекающий взор цвет, ни привлекающий обоняние запах, ни ценные питательные вещества. Поэтому грибы обычно не приманивают животных и могут даже вызывать тошноту своими токсинами, чтобы отбить охоту откусить второй кусок. Но есть исключения. Протухлая **веселка** испускает многочисленные сульфиды и индол и пахнет примерно как трупные цветки, привлекающие опыляющих мух (см. с. 182). Интересным образом, но она также испускает цветочный фенилэтанол, как это делают и несколько других грибов. Споры ближе по размеру к пыльце, чем к семенам, поэтому, возможно, некоторые шляпочные грибы получают пользу от внимания насекомых, посещающих их, потому что они ассоциируют цветочные летучие молекулы с наградой в виде нектара, с предоставлением которого грибы не заморачиваются.

В запахах шляпочных грибов обычно преобладают восьмиуглеродные цепочки. Разрезание и шинкование стимулирует их выработку. Разные виды дополняют эти характерные запахи другими, зачастую заранее заготовленными летучими молекулами, наиболее типично — бензольными кольцами и серными молекулами, со случайными фруктовыми эфирами и сосновыми или цветочными терпеноидами. В результате получается спектр арома-

тов, имеющих общее семейное сходство, но охватывающих довольно-таки широкий ряд. Шляпочные грибы обычно не едят сырыми, но они зачастую довольно-таки ароматные на разделочной доске, и в большинстве случаев их природные ароматы проявляются даже тогда, когда готовка прибавляет к ним новые летучие молекулы (см. с. 408).

Всевозможные сушеные грибы — удивительный ароматический ресурс. Губчатые грибы легко высыхают, и, когда они это делают, в особенности при помощи слабого нагревания, их аромат усиливается. Они сохраняют как минимум часть своего наиважнейшего грибного характера, но он обогащен полчищем новых летучих молекул, вырабатываемых клеточным содержимым, когда оно сжимается и его элементы вступают в реакцию друг с другом. Эти молекулы включают имеющий мясистый запах фурантиол и похожий на картофель метиональ, оба — серные соединения, а также ряд пахнущих жареным, содержащих азот пиразинов и азотно-серных тиазолов. Почитаемый царь боlet (боровик, белый гриб) — чемпион по этой трансформации, но даже обыкновенные шампиньоны развивают большую глубину аромата, когда высыхают.

Многие шляпочные грибы создаются грибами, живущими независимо на опавших листьях или гниющей древесине, и эти виды легко культивируются и недорого продаются. Шляпочные грибы симбиотических грибов, включающих боровики и лисички, более редкие и более дорогостоящие, потому что им требуется долговременное сотрудничество с древесными корнями, типично несколько лет, и на данный момент эти взаимоотношения все еще остаются слишком сложными, чтобы симулировать их другими способами. Хотя некоторые симбиотические грибы сейчас культивируются на плантациях, истинно дикие грибы собираются в лесных угодьях. Это считается разумно отвечающей принципам устойчивого развития практикой, потому что родительское тело гриба остается неповрежденным под землей.

Итак, давайте вернемся в лесную местность, где мы впервые запачкали руки и колени, и отправимся на поиски наших любимых съедобных грибов.

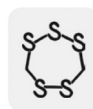
ЗАПАХИ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ ШЛЯПОЧНЫХ ГРИБОВ

Мы начнем на границе леса, где есть травяной опад и древесные пни, основная территория для разлагающихся органические останки грибов, которые проще всего культивировать. **Двуспоровый шампиньон белой окраски**, а также **коричневой, кремовой и портобелло** — все версии одного и того же вида, крупному портобелло позволяют созревать дольше всех. *Agaricus bisporus* — любящий гумус гриб, и он хорошо растет на всевозможных растительных остатках, включая лошадиный навоз; близкие родственники распространены на пригородных лужайках и в садах. В его запахе преобладают типичные восьмиуглеродные цепочки. Грибной октенол обгоняет зелено-фруктовый октанон, когда неповрежденный гриб режется или давится, затем исчезает, когда он высушивается или готовится, и на первый план выходят похожий на экстракт миндаля бензальдегид и бензиловый спирт. Вид-собрать называется **миндальным шампиньоном** за свое избыточное количество этих бензоидов. **Вольвариелла вольвовая** — азиатский эквивалент стандартного шампиньона; это гриб белой гнили, который также хорошо растет на компостированной соломе и испускает в основном октенол.

Есть пригоршня различных вешенок, все виды рода древесной гнили *Pleurotus*, но со своими собственными характеристиками. Стандартная серая **вешенка** напоминает обычный шампиньон своими восьмиуглеродными цепочками и миндальной ноткой, но у нее есть также парочка цветочных летучих молекул, помогающих ей казаться более ароматной. **Королевская вешенка, степная вешенка или степной белый гриб** — по большей части толстая белая ножка с маленькой коричневой шляпкой; к обычному октенолу она прибавля-

ет пару серных летучих молекул и их похожие на картофель и орехи нотки. Когда ее готовят, королевская вешенка вырабатывает похожий на карамель и пажитник фуранон сотолон. **Абалоновая** версия *Pleurotus* удивительна тем, что испускает значительное количество девятиуглеродного цветочного альдегида ноналя. А причудливая **розовая вешенка** несет сладкий и медицинский оттенки фурана и фенола. Ее розовый цвет обусловлен содержащим азот пигментом индолоном, и, когда она начинает портиться, она испускает мочевого, аммиачный запах, который готовка не в состоянии купировать.

Шиитаке — широко популярный азиатский гриб, растущий в дикой природе на поваленных стволах японского каштанника, или шиши, родственника каштана. Сейчас он культивируется на отходах древесины. Аромат не похож ни на один другой гриб, он обусловлен несколько загадочным набором серных летучих молекул. Аромат сырого и неповрежденного шиитаке просто грибной. Когда его режут или давят, он испускает типичные грибные восьмиуглеродные молекулы, но также капустные сульфиды и необычные кольца с двумя углеродными атомами и тремя, четырьмя или пятью серными. Более маленькие кольца напоминают лук, в то время как пятисерная молекула в основном предоставляет характерный аромат шиитаке и была названа **лентионином** в честь научного названия шиитаке.



Образование лентионина, в частности, похоже, задействует комбинацию грибного энзимного действия и спонтанных химических реакций: самый сильный аромат шиитаке возникает в результате, когда свежие грибы высушиваются при умеренно высокой температуре, примерно (60°C), а затем восстанавливают влажностное содержание в горячей воде. Их простое нагревание без высушивания вырабатывает более характерную грибность.

Аромат шиитаке очень специфичен для данного гриба, но есть и другие грибы, подражающие серным запахам зеленых растений. Как и указывает его название, **чесночник**

Некоторые грибы, растущие на опаде и валежнике

Гриб	Составляющие запахи	Молекулы
шампиньон двуспоровый (белой и коричневой окраски); шампиньон обыкновенный, настоящий (<i>Agaricus bisporus</i> , разновидность <i>alba</i> , <i>avellanea</i> ; <i>A. campestris</i>)	грибной, экстракт миндаля, цветочный	октенол, октанон, бензиловый спирт и альдегид и ацетат, анисальдегид, фенилэтанол
миндальный шампиньон (<i>Agaricus subrufescens</i>)	грибной, экстракт миндаля, анис, сладкий	октенол, бензальдегид, бензиловый спирт
вольвариелла вольвовая (<i>Volvariella volvacea</i>)	грибной, свежий	октенол, октанол, октадиенол, лимонен
вешенка (<i>Pleurotus ostreatus</i>)	грибной, экстракт миндаля, цветочный	октенол, октенон, октаналь, октанон, нонаналь, бензиловые спирт и альдегид, фенилэтанол, линалоол
вешенка королевская (<i>Pleurotus eryngii</i>)	грибной, картофель, сладкий, ореховый; приготовленная: пажитник	октенол, метиональ, пентилфуран, ацетилтиазол; приготовленная: сотолон
вешенка абалоновая (<i>Pleurotus abalonus</i>)	грибно-цветочный, сладкий	нонаналь, октенол, пентилфуран
вешенка розовая (<i>Pleurotus salmoneostramineus</i>)	грибной, сладкий, медицинский, жирный; старая: мочево	октенол, пентилфуран, фенол, декадиеналь; старая: амины
шиитакэ (<i>Lentinula edodes</i>)	грибной; высушенный: шиитакэ, серный, лук	октенол, октанон; высушенный: лентионин, диметил- ди- и три-сульфиды, тритиолан, тетратиан
чесночник большой (<i>Marasmius alliaceus</i>)	чесночный, фруктовый	диметил- ди- и три-сульфиды, ди- и три-тиагексаны, бензальдегид

большой пахнет как самые зловонные из рода *Allium*; он испускает знакомые сульфиды, а также короткие углеводные цепочки с двумя и тремя серными атомами.

ЗАПАХИ СИМБИОТИЧЕСКИХ ГРИБОВ

Теперь давайте направимся дальше в лес, где гифы симбиотических грибов растут в тесной связи с древесными корнями, и их плодовые тела могут выдать их присутствие лишь парой-тройкой опавших листьев, приподнятых над остальными. Среди самых ценных — различные виды рода *Boletus*, прежде всего **бе-**

лый гриб или **боровик**, различно называемый по-английски сер или king bolete, по-французски сере, по-итальянски во множественном числе porcini. Это коренастые, мясистые грибы со шляпкой, покрывающей плотную губку пор, а не листообразные жабры. Они обладают обычным грибным запахом в сыром виде, но в высушенном развивают более сильный и гораздо более сложный аромат с мясной, ореховой и жареной нотками серной летучей молекулы и нескольких пирaziнов, характерных для готовки при высокой температуре (см. с. 389). Другой гриб, аромат которого преобразуется сушкой, — это **млечник**, по-английски candy cap (конфетная шляпка),

Некоторые грибы, растущие в симбиозе с деревьями

Гриб	Составляющие запахи	Молекулы
белый гриб, боровик, боlet (Boletus edulis)	свежий: грибной, солодовый; сушеный: грибной, мясной, кокос, жареный, картофель	свежий: октенол, октенон, метилбутаналь и метилбутанол; сушеный: фурантиол, гамма- окталактон, октадиенон, октаналь, метиональ, метил- и этилпиразины
млечник, Maggi-pilz (виды Lactarius)	кленовый сироп, пажитник, карри	сушеный: сотолон, каприновая кислота, метилмасляная кислота
лисичка (виды Cantharellus)	грибной, фруктовый, зеленый, абрикос	октенолы, октенилацетат, метилоктаноат, гексенон, дигидроактинидиолид
лисичка черная, вороночник рожковидный (Craterellus cornucopioides)	грибной, фруктовый, свежий, экстракт миндаля, мед, медицинский	октенолы, лимонен, бензальдгид, фенилуксусная кислота, метилбензоат
лисичка желтеющая, лисичка трубчатая (Craterellus lutescens, tubaeformis)	грибной, цветочный, мед, абрикос	октенол, фенилэтанол, фенилацетальдегид, нонаналь, геранилацетон, дигидроактинидиолид
мейтаке, гриб-баран (Grifola frondosa)	грибной, камфора	октенол, метилбутанон, метилдигидроксibenзоат
мацутаке, сосновый гриб (виды Tricholoma)	металлический, сладкий, цветочный, грибной, картофель, сосна, корица, камфора	октенон, этилметилбутират, линалоол, октенон, метиональ, терпинеол, метилциннамат, борнилацетат
сморчок (виды Morchella)	грибной, цветочный, фруктовый, кокос, картофель	октенон, нетаналь, 10 метиловых эфиров, бутилбутират, метилбутаналь, метиональ

по-немецки Maggi-pilz (гриб Магги), немецкое название ссылается на коммерческий бренд сухой смеси для супа. И английское, и немецкое названия отражают две различные характеристики, приписываемые фуранону сотолону (см. с. 151), который развивается в процессе сушки гриба: с одной стороны — кленовый сироп, с другой — пажитник и острые индийские смеси пряностей. У высушенных млечников такой сильный запах кленового сиропа, что их используют для приготовления вкусного грибного мороженого!

Лисички — еще одни любимчики среди диких грибов, в их случае — за фруктовый

и пряный аромат пары восьмиуглеродных спиртов, входящих в состав эфиров, и терпеноидного фрагмента, ярко выраженного в абрикосах. Их близкие родственники, **черная лисичка, желтеющая и трубчатая лисички**, имеют общую с ними характерную форму с расклешенной шляпкой, открывающей жабры, низко спускающиеся по ножке, но у них свои собственные интересные запахи: фруктовый, цветочный и медовый. **Мейтаке**, или **гриб-баран**, растущий в виде массивных скоплений маленьких шляпок, которые могут весить 100 фунтов (45 килограммов), имеет похожую на камфору характеристику

необычного кетона, родственного содержащимся в голубых сырах летучим молекулам плесени *Penicillium*, и странного эфира бензоата. **Мацутаке**, или **сосновый гриб**, высоко ценится в Японии как осенний ингредиент, его часто быстро жарят на гриле или варят в супе, чтобы сохранить его характерную смесь сосновых, медицинских, пряных и цветочных летучих молекул. Эта смесь богаче всего в только что созревших экземплярах, затем быстро исчезает до простой грибности, когда проходит их пора расцвета.

Сморчок — один из более странных на вид грибов, с закрытой пустой внутри шляпкой, пересеченной сетью бороздок; его споры высвобождаются из уголков между ними. Это также один из наименее изученных, несмотря на то что некоторые виды ценятся во всем Северном полушарии, когда они показываются на поверхности, обычно весной. Одни, похоже, формируют симбиотические отношения с деревьями, в то время как другие растут на разлагающейся растительной материи и недавних пожарищах. Единственное тщательное исследование на сегодняшний день, посвященное черному сморчку, обнаружило грибной октенол в компании группы фруктовых эфиров и летучих молекул, предоставляющих цветочную, кокосовую и похожую на приготовленный картофель нотки.

ТРЮФЕЛИ: ОБРАЗЫ СИМБИОЗА И ТЕРРУАРА

Есть некоторые грибные плодовые тела, которые не может разглядеть на лесной подстилке даже самый востроглазый грибник. И их невидимость — ключ к их сильным, негрибным и особо ценным запахам. **Трюфели** — слово, связанное с *tuber* (опухание) — это распространяющие споры комки, создаваемые почвенными грибами, живущими в симбиозе с корнями деревьев-партнеров. В отличие от шляпочных грибов, они никогда не растут над поверхностью почвы. Вместо этого они побуждают животных — белок и других маленьких млекопитающих, диких кабанов —

откапывать их, есть их и рассеивать их остатки, включая споры. В последнее время они побудили людей рассеивать их аж до отдаленных континентов! Побуждающий стимул для нас — это их букет летучих молекул.

Трюфели лучше всего известны сегодня как деликатес: они редки и дороги, в ресторанах их порой подают и включают в счет по грамму. Так получилось, что они еще и лакомые воплощения симбиоза и одни из самых истинных экземпляров терруара, идеи, что вкусы еды могут отражать специфическое место, в котором она была произведена. Требуется всего лишь несколько граммов трюфеля, чтобы придать его благоухание всему блюду, поэтому трюфели относительно доступная роскошь. И они предлагают богатство ассоциаций, которыми может насладиться исследователь запахов.

Подземные трюфели не замораживаются с созданием ножек или шляпок, менее уязвимы к непогоде и пожирателям и могут затрачивать месяцы на то, чтобы развить свои плотные и питательные несущие споры ткани, порой стоимостью в несколько фунтов. Поскольку они спрятаны, они испускают летучие сигнальные молекулы, способные просочиться сквозь почву на поверхность. Им необходимо выкачать достаточно летучих молекул, чтобы быть заметными поверх основного почвенного запаха, и в течение достаточно долгого времени, чтобы иметь хороший шанс того, что на них наткнется какое-нибудь животное. Любители трюфелей пользуются этой продуктивностью, запасая их в закрытом контейнере с яйцами, маслом или рисом, которые поглощают летучие молекулы по мере того, как гриб высвобождает их в течение продолжительного времени.

Ценные виды трюфелей обладают несравненными букетами. Их незрелые плодовые тела вырабатывают некоторые из типичных восьмиуглеродных грибных цепочек, но когда их споры созревают и трюфели поспевают, они испускают совершенно иные наборы летучих молекул, чтобы привлечь животных. Среди них серные молекулы, индивидуаль-

ные запахи которых — овощной, луковый, чесночный, похожий на хрен, мясной, а также другие углеродные цепочки и кольца, являющиеся сырными, фруктовыми, кожаными, ореховыми, пьянящими.

Хотя полагалось, что трюфели создают запахи, которые они испускают, грибные биологи недавно обнаружили, что некоторые на самом деле привлекают сторонних специалистов как минимум для части своей летучей выработки — или внутренних специалистов. Оказывается, индивидуальные трюфели — это миниатюрные экосистемы. Они развиваются за счет скопления мицелиальных нитей, несущих на своей поверхности почвенные бактерии и дрожжи. Эти микробы оказываются заключены в развивающейся массе, выживают там и жертвуют ей летучие молекулы. В 2015 году европейские лаборатории сообщили, что характеризующие серные молекулы маленького белого трюфеля синтезируются не самим грибом, а его резидентными бактериями — и каким-то образом именно тогда, когда созревают споры их хозяина! Вполне вероятно, что у других трюфелей тоже есть штатные специалисты по ароматам.

Поэтому трюфели из своих местных регионов отражают свою родную почву более прямо, чем любой другой известный мне продукт. Как почвенные грибы, они помогли создать терру, землю их места обитания. Они кормятся и помогают кормиться долголетним местным деревьям; они принимают внутрь себя и поддерживают туземных микробов, указывают им ароматизировать почву вокруг них и кормят местных животных, распространяющих их споры. Лесные местности поддерживают похожую на мицелий сеть взаимозависимостей между многочисленными существами, живущими там. Трюфели — ее видимые, осязаемые, обоняемые узловые пункты.

ДЕГУСТАЦИЯ ТРЮФЕЛЕЙ, ЧЕРНЫХ И БЕЛЫХ

Хотя повара обычно усиливают вкус свежих грибов, высушивая или готовя их, трюфели

лучше всего в сыром виде, стружкой посыпанные на блюдо в последнюю минуту или подвергнутые очень кратковременной термической обработке. Их подача — упражнение по проявлению компромисса. Самый настоящий запах свежего трюфеля наиболее ощутим, когда мы обнюхиваем нетронутую массу. Ее разрезание или строгание создает больше поверхностной площади, с которой этот запах попадает в воздух и нам в нос, но урон также инициирует выработку характерной восьмиуглеродной грибности. Поэтому трудная задача — поймать запах трюфеля до того, как он понизит частоту с животного привлечения до контроля повреждений. Ритуал элитных ресторанов по предоставлению коробки целых трюфелей для осмотра и обнюхивания — это больше, чем просто шоу.

В роду *Tuber* около двухсот видов, и они распространены по всему Северному полушарию; некоторые европейские виды сейчас культивируются так далеко от дома, как, например, в Австралии. Самые ценные подразделяются на две широкие ароматические группы: первая — сложная и животная, вторая — преобладающе серная, чесночная и луковая.

Черные или перигорские трюфели черные и бородавчатые на вид, родом из южной Европы, обычно ассоциируемые с дубами, буками и каштанами. Их культивировали во Франции в течение многих десятилетий. Их основной аромат можно имитировать в недорогих маслах с трюфельным ароматом при помощи всего лишь двух летучих молекул, овощного диметилсульфида и похожей на солод и какао разветвленной цепочки метилбутаналя. Но у свежих черных трюфелей более сложный набор летучих молекул, чем у большинства других видов, с серной, молочной и фруктовой нотками, а также необычными животнo-кожаными углеродными кольцами, этил- и этилметилфенолами, напоминающими летучие молекулы дрожжей *Brettanomyces* (см. с. 295). Похожий по виду **бургундский трюфель** распространен по всей Европе и называется **летним трюфелем**, когда он собран

Некоторые трюфели

Вид трюфеля	Составляющие запахи	Молекулы
черный, перигорский (<i>Tuber melanosporum</i>)	сера, масляной, зеленое яблоко, сыр, кожа, животный, газолин, карамель, грибной	диметилсульфид и -дисульфид, диацетил, этилбутират, метилбутанол, этилметилфенол, этилфенол, фуранеол, октенол
бургундский, летний (<i>T. uncinatum, aestivum</i>)	сера, картофель, сыр, кожа, животный, гриб, «лесной орех»	диметилсульфид и -дисульфид, метиональ, метилбутанол, этилфенол, октенол
белый, пьемонтский, <i>tartufo bianco</i> (<i>T. magnatum</i>)	чеснок, лук, хрен, капуста, солодовый, грибной	дитиапентан, диметилсульфид и -дисульфид, метилбутаналь, октенол
малый белый, <i>bianchetto</i> (<i>T. borchii</i>)	солодовый, свежий гриб, лук/жареное мясо, сыр, масло, сульфидный	метилбутаналь, октенол, октанон, метилдигидротиофены, диацетил, диметиатрисульфид
гладкий, чесночный (<i>T. macrosporum</i>)	чеснок, картофель	тиапентан, тиапентен, бутанон, ацетон
«китайский» (<i>T. indicum</i>)	грибной, картофель, солодовый, виски, капуста	октенол, метиональ, метилбутаналь, метилпропанол, диметилсульфид
орегонский белый (<i>T. oregonense</i>)	серный, грибной, приготовленный картофель, цветочный, фруктовый	сульфид водорода, метантиол, диметилсульфид и -трисульфид, октенол и октанол, метиональ, метилбутанол, этилметилпропионат
орегонский черный (<i>Leucangium carthusianum</i>)	как и для белого, но менее серный; + яблоко, ананас, сладкий	как и для белого, + метилметилбутират, метилпропилметилпропионат

Неопубликованные данные об оregonских трюфелях любезно предоставлены профессором Майклом Цянем из Университета штата Орегон.

в этом сезоне. Он бледнее внутри, чем черный трюфель, и менее ароматный, с более низкими летучими уровнями по всем пунктам.

Белые трюфели, светло- и гладкокожие, — самые ценные из серной группы. Они ассоциируются с Альбой и с областью Пьемонт, но также растут в других регионах Италии и на Балканском полуострове; деревья-партнеры включают дубы, тополя и ивы. Их сильный чесночный запах обусловлен не-

обычной двухсерной, трехуглеродной цепочкой, дитиапентаном, которая так характерна, что изготовители недорогих масел с трюфельным ароматом могут просто добавить в масло эту молекулу — не нужен никакой настоящий трюфель. **Малые белые трюфели**, или **bianchetto**, растут по всей Европе и сейчас культивируются на других континентах. Их летучие молекулы частично пересекаются с пьемонтскими трюфелями, но включают от-

личный набор преобладающих серных летучих молекул, запахи которых более луковые и мясные, чем чесночные. **Гладкий** или **чесночный трюфель** можно найти по всей Европе, включая север; он обычно меньше своих кузенов, с гладкой поверхностью, покрывающей коричневатое содержимое. У него насыщенный чесночный аромат, соперничающий с ароматом белого трюфеля, возникающий от односерного, четырехуглеродного тиопентана. Более двух третей его выбросов могут составлять серные молекулы, по сравнению с половиной у белого трюфеля и одной десятой у черного трюфеля.

Хотя европейские трюфели определяют то, как должны пахнуть трюфели, несколько азиатских и американских видов становятся все более известными и ценимыми. «**Китайские**» трюфели широко растут в Центральной Азии, но экспортируются главным образом из Юньнани и Сычуани. У них мягкий трюфельный запах с серными летучими молекулами, больше напоминающими приготовленный картофель и капусту. **Орегонские трюфели** (*Tuber oregonense*, *Leucangium carthusianum* и другие) бывают белыми, черными и коричневыми и ассоциируются с пихтами Дугласа в Северо-Западных Соединенных Штатах. Я был невысокого мнения о тех нескольких маленьких оregonских трюфелях, что я попробовал за годы, но в 2017 году мне выпал шанс собирать их с экспертом по трюфелям Чарльзом Лефевром и дрессированной собакой и попробовать их, когда они крупные и свежие. Они напоминают своих престижных европейских кузенов, у черных особенно интересные фруктовые нюансы.

ДРОЖЖИ: СПИРТ, ПЛОДОВОСТЬ, МУШКИ

В число микробов, запутывающихся в гифах развивающихся трюфелей, входят другие почвенные грибы — несколько одноклеточных дрожжей, которые, как было обнаружено, вырабатывают спирты с разветвленной цепью и серные молекулы и, вполне возмож-

но, вносят вклад в совокупный трюфельный аромат. Один из их кузенов-дрожжей запутался в ткани человеческой культуры и сейчас вносит вклад в размере большого количества летучих молекул — миллиарды галлонов каждый год, — чем любой другой живой аватар Героя-Углерода.

Это одно из самых ярких обонятельных воспоминаний моей жизни: когда я вернулся в классную комнату своего третьего класса после ланча страшно холодным зимним днем, меня обволокли одновременно тепло комнаты и насыщенный, парфюмерный запах, источаемый освещенным солнцем подоконником, где этим утром мы оставили прикрытые тканью корзинки, содержащие маленькие шарики хлебного теста. Избыточно разбухшие будущие булочки были моим первым столкновением с творческой деятельностью дрожжей.

Слово «дрожжи» (yeast) происходит от древнего этимона, обозначавшего «пена» и называвшего невидимого производящего пену агента, превращающего плоды и зерно в вино, пиво и хлеб. Сегодня это относится как к грибу, главным образом ответственному за эти трансформации, так и к большой группе одноклеточных грибов, к которой он принадлежит. Повседневные дрожжи — это вид *Saccharomyces cerevisiae*, научное название которого означает что-то типа «любящий сахар, делающий пиво гриб». Это один из примерно пятисот видов дрожжей, занимающих места обитания от океанических осадков до горных вершин и до наших собственных кожи и внутренностей (см. с. 106). Обычные сахаромицеты — один из нескольких видов, использующих сахарные растительные жидкости; его самого и его близких родственников можно обнаружить на соке, вытекающем из растительных и кактусовых ран, в цветочном нектаре и кишках питающихся нектаром насекомых, а также на поврежденных и переспелых плодах.

Этот самый важный гриб в нашей повседневной жизни пахнет совсем не как шляпочные грибы, трюфели или плесневые грибки. Он демонстрирует совершенно иную сто-

рону грибной виртуозности, но на той же службе у необходимости отпугнуть врагов и завербовать друзей. У *Saccharomyces* есть множество потенциальных соперников за эти растительные соки, включая другие грибы. Он борется с ними не обычными грибными, прокислыми, плесневыми восьмиуглеродными цепочками, а летучей молекулой, которая для нас и других животных буквально опьяняющая: расслабляющая, освобождающая и ядовитая.

Это обоюдоострое химическое оружие — то, что мы обычно называем **спиртом**, двухуглеродная молекула стартового набора этиловый спирт, сокращенно **этанол**. Этанол — один из типичных побочных продуктов анаэробного метаболизма, но он вмешивается в базовые химические структуры всех клеток, поэтому большинство живых организмов не могут себе позволить накапливать его в большом количестве. Особым достижением сахаромикетов было активировать свою вырабатывающую этанол систему даже в аэробных условиях и развить необычную устойчивость к этанолу. Когда сахаромикетовая клетка приземляется в какой-нибудь растительный сок, она преобразует сахара в этанол, чтобы подавить рост других менее устойчивых микробов. Поглотив оставшиеся соковые сахара, она затем может использовать кислород,

чтобы метаболизировать этанол в оксид углерода (IV) и извлечь энергию, которую она первоначально передала в защитных целях.

Поскольку вмешательство этанола в клетки нашей нервной системы может быть приятным ощущением — обостренные чувства, являющиеся позитивной стороной опьянения, — ферментации сахаромикетов стали чрезвычайно важны для человеческих культур по всему свету. Вина, приготовленные из фруктовых соков, в среднем содержат примерно 10% этанола; зерновые сорта пива — примерно 5%; дистиллированные спиртные напитки — примерно 40%. По текущим оценкам, общее ежегодное потребление самого этанола на каждого из миллиардов взрослых во всем мире составляет примерно 6 литров.

Этанол только начало летучей творческой деятельности сахаромикетов. Они вырабатывают многие другие спирты, включая некоторые из аминокислот, а не из сахаров: винный, фруктовый метилбутанол с разветвленной цепью и цветочный, розовый фенилэтанол. И они соединяют некоторые из спиртов с кислотами с короткой цепью, образуя многообразие эфиров, летучих молекул-визиток спелых плодов (см. с. 245), также важных в некоторых цветочных запахах. Поэтому запах активных сахаромикетов напоминает раство-

Некоторые запахи дрожжей-сахаромикетов

Запахи	Молекула
спирт	этиловый, пропиловый спирты
жидкость для снятия лака, фруктовый	этилацетат
коньяк, фруктовый, банан	метилбутанол (изоамиловый спирт)
цветочный, роза	фенилэтиловый спирт (фенилэтанол)
фруктовый, яблоко, зеленый	этилгексаноат
фруктовый, персик	этилоктаноат
сладкий, банан, фруктовый	метилбутилацетат (изоамилацетат)
мед, цветочный	фенилэтилацетат
молочные продукты, крем, масло	ацетоин (гидроксипутанон)
вареное яйцо	сульфид водорода
капуста	диметилсульфид

рители, плоды и цветы, приятная ароматная сложность, которую они придают вину, пиву и их дистиллированным спиртным напиткам. (Хлеб сильнее всего пахнет дрожжами, когда поднимается; выпекание испаряет большую часть дрожжевых летучих молекул.)

Это кажется счастливой случайностью, что этот гриб ароматизирует свой защитный этанол летучими молекулами цветов и плодов вместо более типичных грибных летучих молекул. По факту дрожжевая сущность — не просто вопрос везучести. Эти цветочные, фруктовые летучие молекулы служат дрожжам таким же образом, как они служат растениям, рекрутируя животных-ассистентов. Это лучше всего задокументировано в случае маленьких насекомых, обычно называемых плодовыми мушками или укусными мушками и много изучаемых в биологических лабораториях как *Drosophila melanogaster*.

Краткое изложение долгого исследования: сахаромикеты и дрожифилы — симбиотическая пара, а дрожжевые летучие молекулы — связь между ними. Дрожифилы наиболее сильно привлекаются к плодам не фруктовыми летучими молекулами, а дрожжевыми спиртами, эфирами и другими признаками выработки этанола. Мушки развили устойчивость к этанолу, кормятся питательными дрожжами и откладывают среди них яйца, чтобы их личинки могли делать то же самое, защищенные от большинства других микробов и пожирателей. Мушек отгоняют грибной октенол и землянистый геосмин, вырабатываемые другими грибами и стрептомицетами, которые часто защищают себя мощными животными токси-

нами. А дрожжи получают пользу от того, что являются едой для мушек, когда мушки переносят выжившие клетки к другим пригодным для дрожжей плодам.

Поэтому мы обязаны насекомым, по крайней мере частично, за обостренные фруктово-цветочные ароматы вина, пива и приготовленных из них продуктов — и, вполне возможно, за совершенно иной набор летучих молекул, некоторые из них менее приятные! Они возникают от нескольких видов *Brettanomyces*, также известных как *Dekkera*, дрожжей, которых проще найти в винодельнях и пивоварнях, чем в любых естественных местах обитания. *Brettanomyces* были названы в честь Британии микробиологом из пивоваренной компании Carlsberg, обнаружившим где-то в 1900 году, что они были необходимы во вторичной ферментации английских сортов пива в процессе кондиционирования в деревянных бочках, чтобы придать им их «характерный и изумительно изысканный вкус».

«Бретты» были описаны как микробы-выживальщики, одни из немногих способных расти после основной сахаромикетовой ферментации. В процессе они метаболизируют часть этанола в уксусную кислоту и изменяют баланс эфиров. Наиболее важно, что они вырабатывают дополнительные летучие молекулы из защитных молекул фенольных колец в плодовых кожицах и оболочках семян зерна. У бреттовых кольцевых молекул есть несколько характеристик: фенолы и катехол в основном похожи на дезинфицирующие средства и животные, гваяколы дымные и похожие на гвоздику (см. с. 331). Они тоже привлекают дро-

Некоторые запахи дрожжей-бреттаномикетов

Запахи	Молекулы
укус	уксусная кислота
медицинский	винилфенол
кожа, конские конюшни	этилфенол
дымный	винилгваякол
гвоздика, пряный	этилгваякол
медицинский, лошадиный	этилкатехол

зофил и их личинок, судя по всему, потому что они указывают на доступность как питательных дрожжевых клеток, так и определенных растительных фенольных веществ, коричной кислоты и ее родственников, которые являются для мушек ценными антиоксидантами.

Потребители пива и вина ценят одни бреттовые летучие молекулы, но не другие. Гвоздичная и дымная нотки гваяколов и даже животный этилфенол ожидаемы в бельгийских и кислых сортах пива. Хотя оттенок «потного седла» — характеризующая черта некоторых традиционных вин и до сих пор порой ценится знатоками, многие сейчас считают, что животная и медицинская нотки имеют тенденцию маскировать более деликатные ароматы и снижать совокупные сложность и интерес вина.

Мы поближе рассмотрим вклады сахаромикетов, бреттов и других дрожжей в пищу и питье в главе 19.

УВЛАЖНЕНИЕ: ВЫСВОБОЖДЕННЫЕ ДОЖДЕМ ЗАПАХИ ПОЧВЫ, КАМНЯ, ВОЗДУХА

Пригладевшись поближе к характерным запахам царства грибов и его шляпочных грибов, трюфелей и дрожжей, давайте отступим назад, чтобы оценить окружающие запахи земли и роль дождя в том, чтобы привлечь к ним наше внимание.

Почему землистость Земли так акцентируется, когда дождь прерывает засуху, как Плиний и, несомненно, другие заметили давным-давно? Это один аспект феномена, который почвенные ученые называют «увлажнением». Они обнаружили, что внезапное увлажнение сухой почвы вырабатывает значительную, длящуюся часы пульсацию оксида углерода (IV). Оксид углерода (IV) сам по себе лишен запаха, но он помогает переносить пахучие летучие молекулы в воздух. Простые физические силы играют роль в увлажнительной пульсации: когда дождевая вода просачивается в почву, она вытесняет

газы, скопившиеся в ее порах, и изгоняет избегающие воды летучие молекулы, скопившиеся на частицах камня и гумуса. Еще действует биологическая сила: внезапный дождь стимулирует давно спящих микробов, чтобы они продолжили свою метаболическую деятельность и вырабатывали как оксид углерода (IV), так и пахучие летучие молекулы. Одно исследование калифорнийского травяного уголья обнаружило, что газовое высвобождение увлажнением совпало со стремительной реактивацией, спустя всего лишь несколько минут, бактериальной группы, в которую входят стрептомицеты. Таким образом, запах прерывающего засуху дождя может быть вдвойне землистым из-за высвобождения медленно накапливаемых летучих молекул и всплеска свежих.

Ничего удивительного, что кишачная жизнь в почвах и портящихся плодах испускает выхлопы метаболизма и самозащиты. Но как же могут неживые горная порода или камень обладать запахом? Они состоят из минералов, собраний атомов, крепко связанных вместе в одни из самых прочных природных материалов, которые высвобождаются в воздух только тогда, когда их перемешивает очень высокая температура, много сотен тысяч градусов. Однако же большинство из нас знает очень характерный запах, который испускают бетон, брусчатка и обнаженная горная поверхность, кратковременно, когда их внезапно намочит дождь или садовый шланг. Даже влага нашего дыхания высвобождает его, как заметили Изабель Беар и Ричард Томас в своих исследованиях того, что они назвали петрикором.

Чтобы опознать летучие молекулы петрикора, Беар и Томас аккуратно обработали каменные поверхности растворителем и получили желтоватую жидкость с характерным запахом влажного камня. Когда они проанализировали ее, то обнаружили, что это смесь углеродных цепочек стартового набора — углеводов, альдегидов, кетонов, лактонов и кислот, в частности нонановой, — а также необычных фенольных колец, украшенных со-

держащими азот группами, нитрофенолами, которые они описали как обладающие «характерным сладким ароматным запахом». Серные летучие молекулы на удивление отсутствуют, судя по всему, потому, что они окисляются на минеральных поверхностях в лишённую запаха элементарную серу.

Итак, оказывается, что запахи только что намоченного камня возникают не от собственных минералов камня. Петрикор, или геяикор, — наружный слой летучих молекул, которые испустили микробы, грибы, растения, животные, люди и наши технологии, затем они были видоизменены в атмосфере солнечным светом, кислородом, азотом и друг другом и скопились на минеральных поверхностях. Эти летучие молекулы обычно слишком рассеянные и вездесущие для нас, чтобы заметить их в воздухе вокруг нас. Но, когда дождь внезапно изгоняет их в больших количествах с минеральных поверхностей в воздух, летучие молекулы становятся ощутимыми.

Тот же самый процесс — это, вероятно, то, что придает запах самому дождю еще до того, как он начинает увлажнять горную породу или тротуар. (Озон, образующийся в воздухе во время грозы, тоже может вносить вклад в запахи бури.) Атмосфера полна пыли и других частиц, которые могут накапливать геяикор в сухом состоянии, затем высвобождают его, когда влажность воздуха достигает похожего на дыхание уровня и начинает конденсироваться в капли воды.

Именно внезапное летучее высвобождение этих увлажнений и проявляет, в ином случае, скрытую фазу того, что Беар и Томас

называли «великим природным циклом» земной жизни, когда его мелкие остаточные углеродные цепочки и кольца улетают в воздух, затем снова падают, чтобы прокормить его следующий круг.

ВЫСЕКАЮЩИЕ КАМНИ И «МИНЕРАЛЬНОСТЬ»

Дождь и влажное дыхание не единственные способы выжать летучие молекулы из камней. Хорошая трепка тоже может сработать, хотя она и не высвобождает геяикор. Люди давно заметили характерные запахи, выпускаемые, когда кусками минерального кремня резко ударяют обо что-то столь же твердое, вырабатывая искры для разведения огня или выпускания заряда из старомодного кремневого ружья. В мире вина про некоторые белые вина из прохладного климата давно говорилось, что они содержат этот аромат высекающего кремня или ружейного кремня. Почти двадцать лет назад французские винные химики связали этот аромат с характерными серными составляющими в сортах винограда и готовом вине с дымным бензолметантиолом и родственными кошачьей моче и грейпфруту тиолами (метилтиопентанон; см. с. 83, 265). Однако маловероятно, что запах самого высекающего кремня задействует такие сложные органические молекулы, и он никогда не был изучен — до совсем недавнего времени.

Примерно в 2014 году ученые из женеvских лабораторий Firmenich изучали способы улучшить запахи общественных уборных. Они обнаружили, что бак разбав-

Некоторые запахи влажного камня

Запахи	Молекулы
свежий	ацетальдегид
спирт, растворитель	различные спирты, кетоны
восковой, грязный, сырный	октановая, нонановая кислоты
аммиак, рыбный	аммиак, пиридин
сладкий, ароматный	нитрофенолы

ленного сульфида водорода (типичного для уборных) изменил запахи со стандартной яичности на что-то, что они ассоциировали с «высекающим кремнем», а также «холодным запахом фейерверков или запахом, ассоциируемым с дантистом, сверлящим зубы». Группа Firmenich обнаружила, что сульфид водорода в их баке окислился и образовал совершенно иные и необычные серные летучие молекулы, похожие на сульфид водорода, но с дополнительными одним или двумя серными атомами между водородами, мощно раздражающий и нестабильный. Они смогли опознать эти же самые **сульфаны**, когда они ударили друг о друга два куска кремния. Само собой разумеется, ученые из Firmenich обнаружили сульфаны в винах Швосс-Шасла и еще больше их в винах, обладающих, по суждению профессиональных дегустаторов, более сильным минеральным ароматом.

С чего бы это камням испускать серные летучие молекулы, когда по ним ударяют? Кремень — это разновидность кварца*, минерала, состоящего из атомов кремния и кислорода. У оксидов кремния нет своего собственного запаха, но кремень образуется в безвоздушных океанических осадках, содержащих газообразный сульфид водорода и другие летучие серные соединения от анаэробного микробного метаболизма. Серные атомы застревают в кремне как следовые загрязнения твердых сульфидов железа, тех же самых молекул, которые расцвечивают индийскую черную соль и обесцвечивают переваренное яйцо (см. с. 50). Когда кусок кремня ударяется о другой твердый материал, сфокусированная энергия удара помогает окислить некоторые из сульфидов в сульфаны. Так что, как это верно и для геяикора тоже, сырые ингредиенты запаха высекающего кремня возникают в процессе живого метаболизма. Но предыстория сульфанов кремня делает «минерал» точным отражением как их пахучей характеристики, так и их происхождения: принятие органической серы в состав железных соединений,

включение минеральных частиц в осадочные горные породы, образованные десятки или сотни миллионов лет назад, и моментальная трансформация сульфидов в сульфаны посредством простой физической силы минерала, ударяющего о минерал.

Минеральность — характеристика, часто расхваливаемая винными специалистами как каким-то образом полученная напрямую от почв конкретных виноградников и залегающих под ними извести, гранита или сланца. По факту летучие молекулы, на сегодняшний день идентифицированные как действительно придающие сильные запахи винам, — это продукт практик выращивания винограда и изготовления вина. Винные химики обнаружили, что структуры сульфанов возникают в винах несколькими способами, когда следы меди вступают в реакцию с выработанными дрожжами серными молекулами, и когда различные винные молекулы вступают в реакцию с простой элементарной серой, которой обрабатывают виноградные лозы, чтобы бороться с болезнями (даже в «органической» продукции).

Похоже, довольно-таки точно то, что винная минеральность не возникает напрямую от почвенных минералов. Она возникает по меньшей мере частично от винных молекул, напоминающих или идентичных молекулам, которые также могут быть выработаны из минералов. Это менее простая и живописная история, менее пригодная в качестве маркетингового хода для вина или экспертного мнения винного критика, но она ближе к той истине, которую мы в действительно-сти знаем, — и богаче и более наводящая на размышления. Как же это изумительно, что винограды, дрожжи, фермеры и виноделы могут действовать сообща, чтобы выработать те же самые редкие молекулы, что и комбинация древних донных микробов, эпохи геологического замешивания осадков и быстрый сильный шмяк!

И явно остается еще много чего, что предстоит узнать об ассоциируемых с минералами

* Кремень может содержать кварц, а также халцедон, опал и примеси.

Некоторые запахи высекающего камня

Запахи	Молекулы
едкий, серный	сульфаны (полисероводороды)
сульфидный	сульфид водорода, CH_3SSH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{SSH}$
капуста	метан- и этантиолы

летучих молекулах. Вдобавок к кремню железная группа также протестировала обычные конгломератные булыжники с соседней горы и обнаружила, что они испускали несколько других необычных серных летучих молекул вместе с сульфанами — запахи гриба шиитаке, скусна и жженных волос! Когда я прочитал эту деталь, я начал колотить друг о друга камни у себя на заднем дворе, в походах, в любой момент, когда эта мысль приходила мне в голову, и, само собой разумеется, близко обнюхав зону удара, я часто ощущаю резкую, паленую серность (хотя не от неосажденного гранита и других вулканических камней). Возможно, за «минеральностью» стоит нечто большее, чем кремненность.

БОЛОТИСТЫЕ МЕСТНОСТИ: БОЛОТНЫЙ ГАЗ И СОЛОНЧАКОВОЕ БОЛОТО

Чтобы завершить наш тур по суше и ее запахам, давайте облачимся в пару высоких сапог и отправимся к более сырым, менее твердым регионам земной тверди. Значительная доля почв планеты либо пропитана водой, либо погружена: постоянно в таких местах, как бассейн реки Амазонки или болотистая местность Эверглейдс во Флориде, сезонно в субарктической тундре Канады и Сибири. Они различно называются трясиными, топями, травяными болотами, грязевыми болотами, заиленными участками, торфяниками, низинными болотами и болотистыми местностями, все эти названия в английском происходят из германского языка сырой Северной Европы. На заднем дворе давно промокшие цветочные горшки и низкие участки — мелкомасштабные версии тех же самых условий, и они

предоставляют тот же самый обонятельный опыт, когда их потревожишь. Они воняют.

Пропитанные и погруженные почвы воняют, потому что воздух в их порах был вытеснен водой. В отсутствие кислорода процветать могут только анаэробные микробы. Побочные продукты их метаболизма, которые мы уже нюхнули на ранней Земле и в остатках животного пищеварительного тракта, включают одноуглеродный метан, знакомый как непахнущий природный газ, а еще двух-, трех- и четырехуглеродные кислоты — уксусную, пропионовую и масляную, — запахи которых кислые, уксусные, прогорклые, сырные, рвотные. Анаэробы также пользуются многофункциональными серными атомами как в осадочных минералах, так и в растительных останках, чтобы вытянуть электроны из углеродных цепочек и выработать разнообразие зловонных серных побочных продуктов, включая сернистый сульфид водорода, протухлый метантиол и разнообразие сульфидов, напоминающих приготовленные и/или гнилые капусту и лук. Сульфид водорода и метантиол более очевидны, когда бури или человеческая деятельность тревожат болотные осадки; в тихих условиях они по большей части окисляются, когда они поднимаются из воды, и выходят как менее пахучие метилсульфиды.

Болотные летучие молекулы, вероятно, также ответственны за многие сообщения об отдельных случаях, берущие начало века назад и приходящие со всего света, о блуждающих огоньках, неуловимых похожих на пламя мерцающих огнях, видимых над различными болотистыми местностями по ночам. Воспламеняемый метан — один подозреваемый, а другой — следы фосфина и родственных

Некоторые запахи болотистых местностей

Запахи	Молекула
уксус	уксусная кислота
сырный	пропионовая кислота
сырный, рвота	масляная кислота
сернистый	сульфид водорода
гнилой	метантиол
приготовленная капуста	диметилсульфид

содержащих фосфор молекул, некоторые из которых чесночные, и они с большей вероятностью, чем метан, могут воспламениться при отсутствии искры.

Солончаковые болота — это болотистые местности, расположенные близко к побережьям континентов и получающие большую часть воды из океанов. Их запах типично болотно-болотный, но в нем преобладает одна летучая молекула, в частности диметилсульфид, DMS. Часть DMS берется из осадков и от их анаэробных микробов, использующих минеральную и растительную серу, но боль-

ше его берется от микробов в самой воде, имеющих дело с постоянной биохимической перегрузкой из-за ее солености. Размешайте ложку с горкой соли в маленьком стакане воды, попробуйте на вкус и представьте себе, каково это — постоянно подвергаться такому воздействию изнутри и снаружи! Это одно непереносимое условие жизни в океанах. Именно поэтому солончаковые болота и океанический воздух пахнут так, как пахнут: совсем не как суша.

Теперь мы переходим от почвы, камня и болота к открытым водам Земли.

ГЛАВА 15.

ВОДЫ: ПЛАНКТОН, ВОДОРОСЛИ, МОЛЛЮСКИ, РАКООБРАЗНЫЕ, ИГЛОКОЖИЕ, РЫБЫ

Тихий — это мой родной океан; я узнал его первым, вырос на его берегу, собирал морских животных вдоль побережья. Я знаю его настроения, его цвет, его природу. Очень далеко от берега я впервые уловил запах Тихого океана. Когда человек долго был в море, запах суши простирается очень далеко, чтобы поприветствовать его. И то же самое верно, когда человек слишком долго был вдали от моря. Я уверен, что почуял морские камни, ламинарии и волнение пенящейся морской воды, резкость йода и запах из-под выброшенных на берег и измельченных известковых ракушек. Такой отдаленный и запомнившийся запах подкрадывается так незаметно, что человек не чувствует его осознанно, но, скорее, высвобождается из электризованного волнения — нечто вроде бурной радости.

Джон Стейнбек, «Путешествие с Чарли: в поисках Америки», 1962 год

Ощущения веков человека, некое пронзительное непосредственное восприятие моря и всех его водорослей и бризов пробирает тебя за долю секунды от этого маленького стимула на вкусовых рецепторах. Ты ешь море, именно так, только ощущение глотка морской воды было как по мановению волшебной палочки изъято из этого, и ты на грани того, чтобы вспомнить сам не знаешь что, русалок, или внезапный запах ламинарий во время спада прилива, или стихотворение, которое ты прочел когда-то, нечто, связанное со вкусом самой жизни.

Элеанор Кларк, «Устрицы Локмарьяке», 1964 год

Наэлектризованное волнение, бурная радость, ощущения веков, вкус самой жизни — морские запахи могут вызвать целое бурление чувств! И все это от скитальческих водорослей, обломков и затворнических комков плоти. Мы на границе бодряще иной зоны осмокосма.

Воды Земли как параллельная планета. Это мир, где кислород скуден, солнечный свет и его тепло проникают лишь до определенной границы, температуры и уровни окружающей энергии низкие; где вода может либо противодействовать силе гравитации, либо проявлять ее в сокрушительном дав-

лении. Мы можем посетить этот мир лишь на краткий срок, и его поверхность почти полностью пуста, лишь с рассеянными признаками жизни, процветающей по всему его колоссальному третьему измерению. Однако же именно здесь жизнь впервые утвердилась, сделалась разнообразной и воспитала предков всей жизни на суше. Он дает приют невообразимым количествам живых существ, и он в первую очередь сделал жизнь на суше возможной: именно здесь был изобретен фотосинтез, здесь кислород впервые начал просачиваться в воздух, и здесь все еще образуется половина нашего кислорода.

Запахи побережья, открытых вод и их существ могут дать нам своего рода доступ к тому миру и его механизмам, который не могут дать наши другие чувства. Вспомните, как Хелен Келлер наслаждалась волнами и приливами запахов суши, «наполняющих весь белый свет незримой сладостью». Волны и приливы моря тоже наполняют весь белый свет летучими молекулами, не особо-то сладкими, но вносящими такой же вклад в дыхание планеты и приоткрывающими ее скрытую жизнь.

Я предоставляю словам Стейнбека и Кларк побудить закипание вашего собственного океанического опыта, когда мы будем прокладывать наш виртуальный путь через воды. Чтобы сделать этот путь чем-то большим, чем виртуальным, отправляйтесь на пляж или приготовьте морепродукты!

ВОДЫ ПЛАНЕТЫ, СОЛЕННЫЕ И СЕРНЫЕ

Как и запахи суши, запахи вод берутся в основном от живых организмов, умудряющихся процветать там. Углеродные цепочки и кольца, которые они высвобождают в жизни и смерти, — это проявления характерных трудностей их родного дома и его характерных ресурсов.

Припомните образное изображение планеты Земля, сфотографированной с Луны, с ее мраморной окраской темно-синего и закручивающегося белого. Это портрет мира, в котором преобладает вода. Жидкая форма воды, поглощающая красный конец радуги и отражающая синий, покрывает более двух третьих поверхности Земли, и ее пар часто пропитывает регионы атмосферы и конденсируется в облака рассеивающих свет капель. Океаны почти так же стары, как и сама планета. Все еще неясно, откуда взялась вся эта вода: возможно, с астероидов и других обломков, сгруппировавшихся вместе и сформировавших протопланету; возможно, с похожих на снежные комья комет, позднее врезавшихся в нее. Когда бы ни сформировались поверхностные океаны, они вступили в пря-

мой контакт с глубинным минеральным телом планеты и начали извлекать из него заготовки жидкого дома жизни.

Жидкая вода — хороший растворитель, способный растворить в себе многие элементы и молекулы, и она в течение долгого времени делала это с твердым поверхностным слоем Земли, а также расплавленной лавой и газами, выталкиваемыми из-под него сильным жаром внутри. И не только в океанических бассейнах. Когда вода испаряется с поверхности океана, она формирует облака водяных капель, которые поглощают вулканические выбросы и другие газы, растут и сливаются друг с другом и в конце концов выпадают обратно на поверхность как дождь или снег. Когда они падают на материковую часть, вода постепенно стекает вниз к уровню моря, растворяя некоторые минералы по пути, кормя озера и реки. Но эти пресные воды составляют менее 10% поверхностных вод Земли. И они относительно бедны минералами, большая часть которых в конце концов доставляется к океанам.

Разумеется, океаны — это по большей части вода, примерно девятью шестых граммов из каждых ста. Примерно два грамма — это хлорид-ион, ион хлора с дополнительным электроном, а один грамм — натрий: два элемента, соединяющихся вместе и образующих хлорид натрия, обычную соль. Натрий берется с поверхностного слоя Земли, но почти весь хлорид в океанах растворился там на ранней стадии, когда газообразный хлор и соляная кислота изверглись из недр планеты. Пропорции натрия и хлорид-иона в океане, эквивалент примерно трехпроцентного соляного раствора, неприятно соленые на вкус — они являются главным ключом к запахам океанической жизни.

Два других аспекта минеральной химии океана влияют на его летучую химию. Хлор, самый изобилующий элемент в морской воде после водорода и кислорода, — член химической группы, известной как галогены, или «прародители солей»: они с готовностью вступают в реакцию с металлами типа натрия

и образуют соли, химический термин для соединений, которые, как обычная соль, растворяются в воде на свои галогеновую и металлическую составляющие. Два других галогена, обнаруженных в морской воде в значительных количествах, — это йод и бром. Вместе с хлором они в итоге оказываются в летучих молекулах с характерными запахами.

После хлора, натрия и магния следующий самый распространенный элемент в морской воде — это сера, обычно в своей окисленной (и отрицательно заряженной) форме — в форме сульфат-иона, SO_4^{2-} . Как мы увидели, сера — многофункциональный элемент, способный принимать дополнительные электроны или отдавать их, и ее присутствие в летучих молекулах придает им характерные запахи, разнообразно сульфидные или капустные, луковые или чесночные, гнилые или протухлые, или тропически фруктовые. С таким большим количеством серы, плавающей в океане, живые клетки эффективно используют ее, и океанический воздух изобилует ей.

ЖИЗНЬ В ВОДАХ

Как и суша, океаны тоже дом для похожих на растения основных производителей, использующих солнечный свет и растворенный оксид углерода (IV), чтобы расти и размножаться, и оппортунистических животных и других потребителей, живущих за счет их производительности. Вот краткое знакомство с основными игроками и летучими производителями.

В океанах есть поразительные количества всевозможных существ, судя по всему, значительно превышающие количество звезд в нашей Вселенной, и эти существа варьируются от отдельных клеток до китов. Коллективный термин водоросли часто применяется к океаническим фотосинтезирующим существам, и они подразделяются на две широкие группы, определяемые их размером: крошечный **фитопланктон**, от греческих слов «растение» и «плавучий», и порой массивные **морские водоросли**.

Среди фитопланктона есть **цианобактерии**, от греческого суап-, обозначающего «сине-зеленый», которые входят в число самых многочисленных существ в морях, и у них самая длинная родословная: они прямые потомки микроба, который изобрел фотосинтез. Всего лишь один из их представителей, *Prochlorococcus*, открытый только в 1980-х годах, имеет предполагаемую всемирную численность в миллиард миллиардов миллиардов и ответственен за выработку примерно одной пятой всего нового кислорода в атмосфере. Спирулина — пресноводная цианобактерия, которую культивируют и высушивают в порошковую зеленую пищевую добавку. Различные цианобактерии играют роль в ароматах некоторых сортов рыбы.

Три другие группы микроскопических фотосинтезирующих существ — те, что ароматизируют море в полном объеме. Все они — одноклеточные существа, хищные предки которых поглотили фотосинтезирующую бактерию и сделали ее фотосинтезирующую систему неотъемлемой частью своих клеток. Эти микробы более близко родственные морским водорослям, чем цианобактериям, и они возникли всего лишь несколько сотен миллионов лет назад, а не миллиардов. **Диатомеи** и **кокколитофорида** окружают себя защитными минеральными решетчатыми клетками и раковинами, соответственно, карбонат кальция последних является источником отложений того, что мы знаем как мел, минерал белых утесов Довера. **Динофлагелляты** названы за похожие на хлысты жгутики, при помощи которых они передвигаются в воде.

Морские водоросли — это знакомые нам водоросли, достаточно большие, чтобы их увидеть. Они — крупные многоклеточные кузены крошечных диатомей, динофлагеллят и кокколитофорида. Морские водоросли подразделяются на три основных семейства, называемых красными, бурыми и зелеными за их преобладающие цвета, которые отражают их различные наборы фотосинтезирующих пигментов. Именно предок из зеленого клана дал начало всем растениям, обитающим на

суше. Большинство морских водорослей держатся близко к береговым линиям, где они могут уцепиться и использовать питательные вещества, смываемые с суши, некоторые могут пережить хлещающее волновое воздействие, временное засыхание и воздействие солнца в приливной зоне. Несмотря на их видимость, они — куда меньшая доля глобальной водной биомассы, чем фитопланктон, и они ароматизируют воздух только локально.

Разумеется, царство животных тоже начало жизнь в воде, и оно тоже развило фантастическое многообразие водных существ. Они включают астрономические количества плавучего зоопланктона, кормящегося фитопланктоном, ракообразных, от миксископных веслоногих до кривого и до омаров, моллюсков, от устриц до осьминогов, медуз, орхидовидных скатов, тунцов и китов... И им очень хорошо живется по сравнению с наземными животными. Экологи обнаружили, что наземные животные, в основном насекомые, поглощают меньше 20% биомассы, вырабатываемой растениями каждый год. В противоположность этому водные животные поглощают от половины до всей выработки прибрежных водорослей каждый год, а также основную массу ежегодной выработки фитопланктона в открытом океане. Еще один критерий: на суше биомасса растений перевешивает животных в коэффициенте тысячи; в океанах животные перевешивают растения в коэффициенте тридцати.

Планктон и морские водоросли действительно применяют химические виды оружия, чтобы защитить себя от этого постоянного шторма. Поскольку они и их пожиратели живут в воде, эти средства защиты, как правило, — молекулы, которые сохраняются в воде, а не испаряются в воздух, где мы можем их почуять. Так происходит в случае токсинов, вырабатываемых в больших количествах во время «красного прилива» и других цветений определенных цианобактерий и динофлагеллят, которые могут загрязнить моллюсков, из-за чего нам становится опасно употреблять их в пищу. Другие средства защиты летучие и

пахучие. Но определенно самая изобилующая и единственная доставляемая морем летучая молекула обусловлена еще более основополагающей трудностью водной жизни, чем животные-пожиратели: соленостью океанов.

ОТКРЫТЫЙ ОКЕАН: ПЛАНКТОННАЯ СЕРА

В 1935 году лондонский ботаник по имени Пол Хаас задался целью опознать природу «особенно всепроникающего, несколько тошнотворного запаха» красной водоросли, распространенной на британских береговых линиях, формирующей длинные разветвленные волокна и известной как «омаровый рог». Этот запах неповрежденной водоросли отличался от сильно серного смрада гниющих водорослей, который он приписывал сульфиду водорода. Хаас обнаружил, что живой запах представлял собой другой сульфид — **диметилсульфид**, или **DMS**, все еще обладающий сернистым запахом, но с добавлением двух углеродных групп, придающих ему другую характеристику.

 В то время диметилсульфид был иначе известен только как газ, часто содержащийся в необработанной нефти. Сегодня он известен как, бесспорно, самая изобилующая молекула, испускаемая в водной жизни, прежде всего планктоном. DMS лежит в основе запаха моря. И он там в качестве продукта системы, выработанной водорослями, чтобы бороться с соленостью морской воды и трудностями, связанными с осмосом.

Осмос — это процесс, вызывающий сморщивание наших пальцев в ванной и стягивающий жидкость на поверхность посоленных огурцов или стейков. Живые клетки заключены в тонкие мембраны, пропускающие через себя водные молекулы. Когда есть нарушение равновесия в концентрации материалов, растворенных в воде с двух сторон мембраны, вода естественным образом течет в одну сторону или в другую, чтобы восстановить нарушение равновесия. Уравнявающее течение

воды — это осмос (такое же движение в растворенном материале называется диффузией). Чистая вода для купания попадает в наши частично водные кожные клетки; чистая соль вытягивает воду из малосоленых огуречных и мясных клеток.

Процентное содержание соли в открытых океанах примерно в три раза выше концентрации растворенных молекул внутри среднестатистической живой клетки. Задача водных существ заключается в том, чтобы как-то защитить свои сложные внутренние системы от деструктивной потери воды и вклинивания соли. Микробы, растения и животные умудряются процветать в соленой воде при помощи двух биохимических систем. Одна активно выкачивает натрий и хлор соли из их клеток обратно в воду. Другая накапливает специальные растворенные молекулы внутри клеток, чтобы помочь уравновесить растворенную соль в их окружении.

Растворенные молекулы, или растворенные вещества, которые клетка накапливает для уравнивания осмоса, обязаны быть совместимыми со структурами клетки, не влиять на них своим присутствием. Есть несколько видов молекул, отвечающих этому требованию. Одни — основные строительные элементы клетки, включая содержащие азот аминокислоты, создающие белки, и их незначительные вариации. А другие строятся специально как совместимые растворенные вещества. Они сами по определению не особенно летучие — они предпочитают окружение водных молекул воздуху. Но, когда они расщепляются для использования в других целях, некоторые из фрагментов могут быть летучими и испариться с океанической поверхности.

Несомненно, самое значительное совместимое растворенное вещество в океанах — это молекула с труднопроизносимым названием: диметилсульфониопропионат, или кратко DMSP. DMSP был впервые обнаружен двумя органическими химиками из Лидсского университета как источник DMS в красной водоросли под названием омаровый

рог Пола Хааса. Как оказалось, это также основное совместимое растворенное вещество в динофлагеллятах и кокколитофоридах, а также в некоторых диатомеях и зеленых и красных водорослях. Эти водоросли совместно ответственны за выброс десятков миллионов тонн DMS в воздух каждый год. Однако ответственны косвенно, поскольку большая часть DMS вырабатывается, когда водоросли повреждаются или поедаются, и другие существа — бактерии, одноклеточные животные, более крупный зоопланктон типа криля — расщепляют DMSP для своего собственного использования.

Таким образом, основной запах океана — это запах фитопланктона и водорослей, справляющихся с его соленостью, пожирателей и падальщиков, разбирающих справляющиеся молекулы для своего собственного использования. Почему же DMSP такой преобладающий? Одна из причин может быть в том, что океаническая сера относительно избыточная, в то время как азот, необходимый для строительных элементов аминокислот, редок. Поэтому океанические обитатели просто пользуются теми ресурсами, которые им доступны. Другой фактор — это то, что DMSP — многофункциональная молекула. Он и его фрагменты могут действовать как антиоксиданты и как резервы для построения молекул. И, когда молекула DMS отщепляется от него, остаток — нелетучая и коррозионная углеродная цепочка под названием акрилат; его присутствие имеет тенденцию препятствовать последующему кормлению зоопланктона.

Значимость DMS выходит далеко за пределы конкретных организмов, вырабатывающих его. Это общий сигнал для всей океанической пищевой сети, что поблизости есть еда. Животные всех уровней, от криля до фильтрующих китовых акул и до тюленей, привлекаются выбрасывающими DMS сообществами планктона. Во время своих тысячекилометровых перелетов над открытыми водами глупыши, альбатросы и буревестники, трубконосые морские птицы, обнаруживают

сконцентрированные популяции своей добычи, частично улавливая струйки DMS. Окажется, что пластмассы имеют тенденцию накапливать как DMS, так и микробов, вырабатывающих его, и это может быть одной из причин, почему морские существа проглатывают океанический мусор, что зачастую приводит к фатальному исходу. И молекулы DMS, добирающиеся до верхних слоев атмосферы, провоцируют образование облаков и, делая это, возможно, влияют на климат.

DMS — маленькая и простая молекула, поэтому он содержится во множестве различных мест по всему миру, и характеристика его запаха зависит от контекста. В сыром двустворчатом моллюске или приготовленной устрице это запах моллюсков. Это серная нотка в запахе сырых трюфелей, приготовленных спаржи и капусты, консервированной кукурузы, кипяченого молока. Но прежде всего этого это был запах жизни и смерти, и он все еще является таковым на побережье, вездесущий, действующий на подсознание.

ПОБЕРЕЖЬЕ: ВОДОРОСЛЕВЫЕ БРОМ И ЙОД

В отдаленном запахе Тихого океана Джон Стейнбек уловил «резкость йода»: еще одно ощущение, характерное для океанов, особенно прибрежных вод, и совсем не похожее на овощной DMS. Вместо равновесия осмоса оно отражает трудности жизни в зоне поверхности контакта моря и суши.

Йод — один из солеобразующих галогенных элементов, относительно изобилующих в море. Их растворенные соли не имеют запаха, но чистые галогены имеют общее характерное семейное сходство, характеристику, которая также встречается, когда они образуют летучие соединения с углеродом. Хлор — преобладающий галоген в морской воде, за ним следуют йод и бром. Химики из Швейцарии и Франции обнаружили все три галогена в восемнадцатом веке и начале девятнадцатого, к тому же два в морских водорослях, и

назвали один из них специально за его запах: греческий корень *bromos* значит «смад».

Сегодня наши наиболее знакомые отсылки на галогенные запахи — бытовой отбеливатель, раствор, высвобождающий малые количества газообразного хлора, и хлорированная вода в бассейнах. Различные йодные дезинфицирующие средства когда-то были типичным и характерным запахом в клиниках и больницах, и они все еще используются для очистки воды и санитарной обработки оборудования для пивоварения. Чтобы почуять йод, выжмите несколько капель легкодоступной йодной настойки в маленькое блюдо с водой. Йод менее растворим в воде, чем спирт, поэтому вода увеличивает его летучесть и присутствие в воздухе. Он напоминает хлор, но с менее агрессивной, более приятной, более богатой характеристикой.

Цели, для которых мы применяем простые хлорные и йодные молекулы, и угрозы здоровью, вызванные ими и многими содержащими галогены промышленными химикатами — пестицидами, огнезащитными материалами, растворителями, охлаждающими веществами, изоляционными материалами, пластмассами, — указывают на важнейшее свойство галогенов: они — химически активные элементы и способны нарушать работу живых клеток. Бромные соединения и газообразный хлор были среди первых химических видов оружия, примененных в ходе Первой мировой войны. Морские водоросли пользуются их доступностью в морской воде, чтобы применять галогены против пожирателей и паразитов, а также для того, чтобы справляться с химическим перенапряжением от воздействия окружающей среды на границах океанов.

Часть йодно-бромно-хлорной резкости, которую мы чуем на побережье, приходит напрямую из вод. Спрей от волнового действия подвергает морскую воду воздействию кислорода в воздухе и ультрафиолетового излучения солнца, и этого может быть достаточно, чтобы преобразовать растворенные галогены в следы их чистых газов. Некоторые растворенные галогены также вступают в реакцию с

молекулярными остатками океанической жизни и в итоге оказываются в таких летучих



одноуглеродных молекулах, как **хлороформ**, метилхлорид и **бромформ**, все со странным сладким за-

пахом вместе с более проникающим, похожим на хлор **йодоформом** и пахнущим больницей смешанным галогеном **дибром йодметаном**.

Большая часть галогенного запаха морского побережья активно вырабатывается морскими водорослями, растущими там или выброшенными на берег, особенно крупными бурыми морскими водорослями, которых принято называть ламинариями. Английское название kelp первоначально обозначало любую водоросль, которую можно сжечь, чтобы получить технологическую соду (карбонат натрия) для изготовления стекла. Сегодня так называют группу, включающую основную продукт японской кухни, комбу, и другие «гигантские» виды, образующие густые подводные леса, богатые места обитания для всевозможных других существ, вторгающихся туда, жующих их, колонизирующих их поверхности и иными способами препятствующих их росту и собиранию света. Чтобы ограничить ущерб от этих пожирателей и паразитов, ламинарии покрывают свои поверх-

ности слизью и регулярно сбрасывают их, и они используют галогенные молекулы.

Первая линия ламинариевой летучей защиты — непрерывный поток бромформа и других бромированных молекул. В случае значительного разрыва ее ткани соседние клетки высвобождают струю сильно окисляющей перекиси водорода — еще одного из наших бытовых дезинфицирующих средств, — чтобы подавить любых потенциальных захватчиков. Но перекись также наносит урон самим ламинариевым клеткам, поэтому, чтобы ограничить самоповреждение, морская водоросль высвобождает йодид*, растворенную форму йода; йодид — мощный антиоксидант, обезвреживающий перекись.

Йодид примечателен тем, что является простейшей известной антиоксидантной молекулой**, первым примером неорганического антиоксиданта, поэтому морским водорослям не приходится его вырабатывать: они просто накапливают и запасают его. Ламинарии — самые мощные накопители и испускатели йода на планете. Судя по всему, это помогает им справляться со специфическими трудностями жизни в приливной зоне, где их колошматит о камни и песок волнами и они попеременно то погружены в воду, то выброшены на берег и высушены. Даже без пожир-

Некоторые прибрежные галогенные молекулы

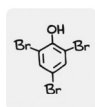
Галогенные молекулы	Запахи
хлор, Cl_2	отбеливатель, бассейн
бром, Br_2	отбеливатель, резкий
йод, I_2	йод, богатый
метилхлорид, CH_3Cl	сладкий
хлороформ, CHCl_3	сладкий
бромформ, CHBr_3	сладкий
йодоформ, CHI_3	йод, проникающий
дибром йодметан, CHBr_2I	отбеливатель, йод
бромфенолы, $\text{C}_6\text{H}_4\text{ONBr}$	йод, богатый

* Вероятно, имеется в виду йодид-ион, который является мягким восстановителем, т.е. обладает антиоксидантными свойствами.

** Отрицательно заряженным ионом.

рания морскими ежами или морскими ушками — абалонами, прямое воздействие воздуха и солнца достаточно вредоносно, чтобы активировать выработку перекисей и других форм окислительного стресса, и высвобождение йодида также ограничивает этот стресс. Как только он вступает в реакцию с перекисью, йодид соединяется с маленькими углеводными цепочками поблизости и образует йодоформ и другие летучие молекулы. Когда они высвобождаются в воздух, некоторые из них вступают в реакцию с кислородом и образуют газообразный **йод**. Это предыстория «внезапного запаха ламинарий» Элеанор Кларк во время спада прилива. Запах возникает от йодных летучих молекул, высвобожденных морской водорослью, когда она подвергается воздействию окружающей среды.

Бромные и йодные летучие молекулы — самые ярко выраженные на морском побережье, но они также могут произвести впечатление дома. На Гавайях красные водоросли, известные как **лиму коху**, используются как приправа, чтобы придать сильный океанический акцент различным блюдам (см. с. 321). А фитопланктон далеко от берега вырабатывает отличный набор галогенных соединений, вносящих вклад в совокупный вкус некоторых пойманных в дикой природе океанических рыб, моллюсков, ракообразных и иглокожих.



Эти **бромфенолы** — молекулы, построенные из шестиуглеродных колец, украшенных бромными атомами и гидроксильными (-OH) группами. Они накапливаются в телах питающихся планктоном диких креветок и в криле, через которых они прокладывают свой путь вверх по пищевой цепочке до более крупных ракообразных и рыб. Когда он не слишком сильный, их похожий на йод запах привносит приятную сложность в мягкие на вкус морепродукты. Считается, что бромфенолы служат своим фитопланктонным создателям как защитные молекулы и антиоксиданты.

Подводя итог, запахи морского побережья возникают от редких химически активных

элементов, которые морские водоросли мобилизуют, чтобы защитить себя от врагов и физическо-химического перенапряжения — и от одного из своих собственных средств защиты.

СВЕЖИЕ МОРЕПРОДУКТЫ: ПЕРВОРОДНАЯ ОВОЩНОСТЬ

Открытый океан: диметилсульфид. Водорослевые побережья: бром и йод. А теперь перейдем к рыбам, моллюскам, ракообразным, иглокожим и водорослям, которых мы добываем из вод и испытываем на вкус и запах более близко и детально. Они могут прихватить с собой немного DMS и галогенов, но есть другое семейство летучих молекул, вносящее вклад в их характерные ароматы и прежде всего определяющее запахи первозданно свежих морепродуктов. Это очень знакомое семейство: простые углеводные цепочки, без вонючей серы, азота или экзотических галогенов. Мы уже повстречали многих из них ранее в стартовом наборе простых цепочек, содержащихся почти во всех живых организмах, и некоторые из них особенно ярко выражены в наземных растениях и грибах. Они включают молекулы, вырабатывающие «зеленые» запахи раздавленных листьев, ароматизирующие дыни и огурцы, создающие грибность. Как это странно, что они тоже ярко выражены в морских животных, так что устрицы могут пахнуть как огурцы, корюшковые — как арбуз. Однако не так уж и странно: устрицы и рыбы почти наверняка испускали эти же самые летучие молекулы за сотни миллионов лет до того, как на сцену вышли огурцы и дыни. Для всечующего космического Шеф-повара огурцы напоминали бы устриц, а арбузы — рыбу, а не наоборот!

Наземные растения, и грибы, и морская жизнь имеют эти общие летучие молекулы простых углеводных цепочек, потому что они имеют сходные системы для их выработки (см. с. 137, 283–284). Стартовые молекулы — длинные углеводные цепочки, составляющие основную массу их мембран,

окружающих клетки и внутренности. Наземные растения и грибы строят эти мембраны из цепочек длиной в восемнадцать углеродных атомов с двумя или тремя образующими изломы двойными связями. Растительные энзимные системы обычно вырабатывают фрагменты длиной либо в шесть, либо в девять углеродных атомов, либо без двойных связей, либо только с одной. **Шестиуглеродные фрагменты** — это **летучие молекулы зеленой листвы, GLVs**, особенно преобладающие в раздавленных листьях. Тыквенное семейство, включающее огурцы и дыни, имеет энзимную систему, вырабатывающую **девятиуглеродные фрагменты**, и огурцы, но не дыни, создают девятиуглеродную цепочку с двумя двойными связями. Этот **нонадиеналь** — это то, что придает огурцам их пахучую личность. Грибы, в свою очередь, специализируются на создании **восмиуглеродных цепочек** (см. главу 14): эти летучие молекулы заставят что угодно, содержащее их, пахнуть грибами для нас.

Обитающие в воде существа содержат множество тех же самых строящих мембраны цепочек, имеют сходные шинкующие цепочки энзимные системы и, таким образом, вырабатывают многие из тех же самых летучих молекул, которые мы, наземные животные, ассоциируем с зелеными листьями и грибами, огурцами и дынями. Но они также содержат более длинные, более изломанные цепочки, выдающие другие фрагменты. Жизнь под водой обычно холоднее, чем на нагретой солнцем суше, и при холодных температурах молекулы движутся более медленно, и клеточные мембраны делаются жесткими. Чтобы поддерживать свои структуры и системы оптимально более подвижными, водные существа накапливают более несимметричные и гибкие цепочки длиной двадцать или двадцать два углеродных атома с четырьмя — шестью создающими изломы двойными связями. (Они включают питательно ценные цепочки под названием омега-3.) Фитопланктон и некоторые морские водоросли накапливают эти крайне изломанные цепочки в огромных количествах

и передают их тем водным животным, которые их съедают. Их нашинкованные энзимами фрагменты более разнообразны, чем типичные растительные и грибные фрагменты, и часто включают два излома или больше, и некоторые придают характерное «морское» качество совокупному запаху, в особенности семнадцатиуглеродный, трижды изломанный **гептадекатриеналь**.

Зачем же водные существа вырабатывают все эти летучие молекулы? В водорослях они явно играют роль, аналогичную той, которую они исполняют в растениях и грибах: диатомеи и морские водоросли высвобождают их, когда их клетки и ткани повреждаются, и, как известно, они токсичны для кормящегося водорослями зоопланктона. Но менее понятно: зачем невероятно подвижные животные высвобождают эти овощные летучие молекулы? Одна теория заключается в том, что, поскольку водные животные тоже вырабатывают двадцатиуглеродные цепочки, регулирующие деятельность их клеток, как это делают гормоны, летучие короткие цепочки могут быть частично переработанными остатками этих регуляторов. Возможно, они профилактика против микробов и маленьких паразитов, прикрепляющихся к животным телам. Рыбы склонны высвобождать их из своих жабр и кожи, двух органов, напрямую подверженных воздействию воды, и особенно тогда, когда они страдают из-за какого-либо перенапряжения.

Итак, у большинства водных обитателей свежие запахи, напоминающие овощи, но с похожими на зеленую листву, гриб, огурец и дыню характеристиками, часто источаемыми одним-единственным существом. На суше мертензия приморская и цветы бурачника входят в число тех немногих растений, которые испускают аналогичную мешанину. Именно эта смесь, летучий овощной салат и случайная характерная морская молекула, и является пахучей визиткой жизни под водой.

Еще одна необычная группа летучих молекул углеродных цепочек заслуживает того, чтобы ее знали, несмотря на то что она огра-

Некоторые водные летучие молекулы, вырабатываемые избирательными энзимами

Молекулы	Запахи
пентол, пентенон	зеленый, едкий
гексаналь, гексеналь, гексенол	зеленый
октеналь	жирный
октенол	гриб
октенон	гриб, землистый, металлический
октандиенол	гриб, землистый
октадиенон	лист герани, металлический
ноненаль	жирный
ноненол	зеленая дыня
нонадиеналь	огурец
нонадиенол	арбуз, металлический
гептадекатриеналь	морские водоросли
эктокарпены (C ₁₁)	лист томата
диктиоптерены (C ₁₁)	морские водоросли, мох, зеленый

Для расшифровки названий молекул: суффиксы -еналь, -енол и -енон обозначают один излом двойной связи; -диенол и так далее — два излома; -триенол и так далее — три излома*.

* Имеется в виду количество функциональных групп в молекуле: одна, две или три соответственно.

ничена некоторыми бурыми водорослями и их родными водами. Морские водоросли скрещиваются, высвобождая мужские и женские репродуктивные клетки, или гаметы, в воду, где им необходимо обнаружить друг друга. Гаметы некоторых бурых водорослей испускают полуволетучие химические сигналы, построенные из длинных полиненасыщенных жирных кислот, чтобы привлечь друг друга. Наиболее известные, названные **эктокарпенами** и **диктиоптеренами** в честь их водорослевых источников, содержат одиннадцать углеродных атомов и обладают фруктовой, моховой, пряной и водорослевой характеристиками. Один из них, по утверждениям, пахнет листьями томата.

НЕСВЕЖИЕ МОРЕПРОДУКТЫ: РЫБНОСТЬ РЫБЬЕГО ЖИРА

Когда большинство из нас думают о запахах рыб, моллюсков, ракообразных, иглокожих и морских водорослей, то листовая, грибная и

огуречная характеристики — это отнюдь не первые, приходящие на ум! Эти летучие молекулы испускаются живыми или свежеевыловленными существами, их энзимы не повреждены и постоянно работают. Как только запас энергии кончается и живые системы дают сбой, выработка этих цепочек замедляется и в конце концов останавливается. Те, что испарились в воздухе, не заменяются, и вместо этого развиваются и скапливаются другие летучие молекулы. Кислород в воздухе берет на себя работу по шинкованию длинных углеродных цепочек, особенно в их уязвимых изломах. Это неспецифическое, неэнзимное расщепление вырабатывает иной спектр фрагментов, включая **семи- и десятиуглеродные цепочки**, редко встречающиеся в живых тканях. Именно эта замена нашинкованных энзимами фрагментов на нашинкованные кислородом и превращает морепродукты из мягких, свежих и овощных в сильные и «рыбные». Это пахучая визитка смерти и приближающейся порчи в водных существах.

**Некоторые водные летучие молекулы,
вырабатываемые неизбирательным окислением**

Молекулы	Запахи
гексаналь	зеленый
гептаналь	зеленый, жирный, рыбный
гептеналь	вареная рыба, жженный
гептадиеналь	грибной, краска, прогорклый
октадиенон	герань, металлический
октатриенон	герань, рыбный
декадиеналь	жирный, жареный
декатриеналь	морские водоросли, жареный, краска

Тот факт, что мы используем название вещества для описания запаха его разложения, а не его первозданной свежести, свидетельствует о стойкой неприятности первого и мимолетной редкости второго.

Эту рыбность углеродных цепочек легко ощутить саму по себе: просто взломайте капсулу добавки омега-3 (рыбьего жира). Она четко выраженная, обволакивающая, стойкая. Ее нельзя снизить лимонным соком, и она висит в кухне в течение долгого времени после готовки. Хотя пищевые химики упорно пытались найти отдельную летучую молекулу, ответственную за рыбность рыбьего жира — характеристику, описываемую в течение десятилетий как «китовый жир», «рыбный привкус», «запах краски» и «ведро гольянов», но на самом деле, судя по всему, нет одного-единственного виновника. Похоже, ответственен маленький набор от шести- до десятиуглеродных альдегидов и кетонов, каждый не сильно-то неприятный сам по себе, но смесь — соответствующий признак того, что существо из вод было мертво уже в течение некоторого времени. Чем сильнее запах, тем дальше зашла порча.

**НЕСВЕЖИЕ МОРЕПРОДУКТЫ:
АМИНОВАЯ РЫБНОСТЬ**

Рыбность рыбьего жира весьма неприятна, но зачастую это лишь половина опыта ощущения. Многие рыбы, моллюски, ракообразные

и иглокожие из океанов оказывают ей особенно омерзительную поддержку посредством своих уравнивающих соль совместимых растворенных веществ.

В то время как водоросли создают свое основное совместимое растворенное вещество из избыливающей океанической серы, животные создают свое из избыливающего белкового азота в собственных телах. Некоторые животные растворенные вещества — вкусные аминокислоты. Ракообразные и моллюски типа креветок и омаров, двусторчатых моллюсков, устриц и мидий запасают сладкий глицин и менее заметные аланин, пролин и таурин. Хрящевые акулы и скаты в основном используют мочевины, форму запасания ненужного азота, который большинство животных выводят вместе с двумя изготовленными для особых целей дериватами аминокислот, **оксидом триметиламина** и **триметилглицином** (также известном как **глицинбетаин**), ТМАО и ТМГ. У костных рыб есть почки, органы, при помощи которых они активно регулируют содержимое своих телесных жидкостей и тканей, но они также полагаются в различной степени на несколько иных совместимых растворенных веществ, в частности на ТМАО и ТМГ, которые, судя по всему, особенно полезны в глубоких водах.

Ни ТМАО, ни ТМГ не являются летучими, оба не имеют запаха. Но, когда рыбы умирают, в воде или на палубе судна, эти растворенные вещества расщепляются как

своим собственным сдающим метаболическим механизмом, так и микробами в их кишках и коже. Основной продукт этого расщепления — летучая и поистине чрезвычайной пахучая молекула **триметиламин**, или **ТМА**.

 Рыбы, самые богатые ТМАО и ТМГ, — это те, которые вырабатывают больше всего ТМА и пахнут сильнее всех. Они причина того, почему слово «рыбный» — стандартное описание запаха ТМА и почему ТМА определяет основной аспект рыбности.

ТМА — это молекула, с которой мы уже повстречались несколько раз, всегда в менее чем приятных контекстах. Это стандартный компонент животных выделений, включая нашу собственную мочу. Это компонент букета животной смерти в целом. Трупный цветочек испускает его, чтобы симулировать этот букет и привлечь любящих падаль насекомых. Так что аминовая рыбность — близкий сосед мочевого и протухлого.

Есть хорошая причина того, что сильно «рыбная» рыба должна быть отталкивающей. Мы более чувствительны к ТМА, чем к его родственникам и продуктам дальнейшего расщепления, диметиламину и в конце концов аммиаку, в коэффициентах тысячи и десятки тысяч. Это один из первых признаков порчи, и, когда вырабатывается ТМА, в это же время вырабатываются некоторые непахнущие, но токсичные амины, в частности гистамин, вызывающий порой опасные, похожие на аллергические симптомы. Это «отравление скумбрией» или «скомбротоксикоз», довольно-таки типичная форма пищевого отравления. (Скумбрия — это рыба из семейства скумбриевых, Scombridae.) Рыбность ТМА — ранний предупреждающий сигнал возможной угрозы здоровью.

РЫБНОСТЬ НА КУХНЕ

Полезно знать: какие рыбы имеют свойство развивать рыбность рыбьего жира и аминов,

как минимизировать ее развитие и как с ней бороться.

В целом пресноводные рыбы — форель, сом, некоторые разновидности окуней — наименее проблемные. Поскольку озера и реки обычно теплее, чем океаны, жиры пресноводных рыб имеют тенденцию быть менее изломанными и менее легко окисляемыми, чем жиры океанических рыб, и, таким образом, они медленнее развивают рыбность рыбьего жира. Они также не создают ТМАО или ТМГ и, таким образом, не развивают аминную рыбность, если только их питание не включает рыбную кормовую муку с ТМАО, как порой бывает. Один особый случай — пресноводная тилапия, чьи предки жили в полупресной дельте Нила; она вырабатывает-таки ТМАО.

Бороздящие моря и океаны рыбы развивают обе формы рыбности, причем более стремительно при любой заданной температуре хранения, но они варьируются по своему содержанию ТМАО. Акулы и скаты занимают первое место и так же полагаются на азотную мочевины, как на совместимое растворенное вещество, поэтому они могут развивать сильный аминно-аммиачный запах, особенно когда их ферментируют для приготовления исландского блюда хаукартль (из акулы) и корейского хонгео-хо (из ската). Треска и ее родственники, пикша, сайда и хек, а также глубоководные рыбы больше полагаются на ТМАО, чем большинство других океанических рыб.

Обе разновидности рыбности можно минимизировать, покупая как можно более свежую рыбу, в идеале с кожей и жабрами, все еще имеющими зеленый и овощной запах, храня ее во льду и используя очень быстро. Большая часть нежелательных жировых фрагментов и ТМА вырабатывается на поверхностях микробами и кислородом, поэтому тщательное полоскание удалит их большую часть. Несколько капель лимонного сока также могут устранить аминную рыбность. Все амины — химические основания, в присутствии кислоты образуют связь с положительно за-

ряженным водородом кислоты и становятся положительно заряженными, пойманными в заряженной сети водных молекул и непахнущими. Этим способом нельзя избавиться от альдегидов рыбьего жира. Они легко расщепляются по всей кухне в процессе готовки, особенно жарки, и могут медленно высвободиться с кухонных поверхностей в течение нескольких последующих дней. Чтобы минимизировать их высвобождение, готовьте рыбу медленно в лоящей летучие молекулы жидкости или в обертке из пищевого пергамента или фольги.

РЫБЫ: ОКЕАН, ЭВРИГАЛИННЫЕ ОРГАНИЗМЫ, ПРЕСНАЯ ВОДА

Рыбы — владыки вод, существа, передвигающиеся столь же плавно, сколь и их среда, и извлекающие максимальную пользу из ее трех обширных измерений. Их запахи, когда первозданно свежие и даже после готовки, — надежные подсказки об их родных водах. Очень мягкие запахи указывают на жизнь в океане, свежие растительные запахи — на некоторое время в речных эстуариях, а землистые запахи — на карьеру либо в пресной воде, либо на ферме в аквакультуре.

«Едва уловимый, умеренный, монотонный, пустой», — этими словами японские исследователи описали запахи строго **морских** рыб в 1996 году в обзоре химии рыбных ароматов. **Треска, камбала, хек, палтус, макрель, луциан, солея, меч-рыба и тунец** входят в число самых распространенных морских рыб, и они все одинаково мягкие, когда свежие. Вылавливаемые в океане, они действительно несут следы океанического DMS и рыбного ТМА, и они испускают малые количества грибных, металлических восьмиуглеродных фрагментов, вероятно из-за окисления их масляных жиров. Но они либо не имеют, либо не активируют энзимы, вырабатывающие овощные шести- и девятиуглеродные фрагменты в значительных количествах.

Арбуз, огурец, свежескошенная трава — это запахи, которые некоторые рыбы действительно вырабатывают в выдающихся количествах. Маленькая японская **аю** известна как «сладкая рыба» или «ароматная рыба» и славится своим характерным запахом арбуза. Это близкая родственница семейства корюшковых, научное название которых, *Osmeridae*, происходит от греческого «запах». (Английское название *smelt*, судя по всему, происходит от иного корня, обозна-

Некоторые морские рыбы

Морская рыба	Составляющие запахи	Молекулы
луфарь	гриб	октенон, октадиенон, октенон
треска		
камбала	лист герани, металлический	октадиенон
палтус		
макрель		
морской окунь	океан	DMS
скат		
морской ерш	рыбный	ТМА
угольная рыба		
сардина		
акула		
ромбовый скат		
луциан		
солея		
меч-рыба		
тунец		
тюрбо		

чающего «мягкий».) **Корюшки** и **аю** — это рыбы, способные приспосабливаться к водам с разным уровнем солености, от открытого океана до пресноводных озер и рек. Они обычно самые ароматные в полупресной воде, часто в эстуариях, где реки впадают в море. Еще один пример ихтиологического греческого: такие приспосабливающиеся рыбы называются эвригалинными, от слов «широкий» и «соль». Вдобавок к корюшкам эвригалинные рыбы включают **лосося** и его близких родственников **радужную форель** и **гольца**, некоторые виды сельди и **анчоуса**, **обыкновенного лаврака** и **полосатого лаврака**, **тиляпию** и **утрей**. Некоторые, как аю и лосось, вылапываются в пресной воде, мигрируют в океан, где растут и взрослеют, а затем возвращаются в пресные воды, часто в реку своего рождения, чтобы метать икру. Лосось, пойманный в море, пахнет совсем не так, как лосось, пойманный тогда, когда он заплывает в реку, со слабым или отсутствующим овощным запахом, который может висеть в воздухе над лососевой рекой в период нереста. Мягкость океанического лосося обычно предпочтительна, в то время как аю больше всего ценится, когда ее ловят в пресных водах на ее пути вверх по течению.

Почему же эвригалинные рыбы имеют более активные энзимы, фрагментирующие цепочки, чем морские рыбы? Возможно, они

испытывают большее давление со стороны микробов, чем рыбы, крейсирующие по открытому океану, где уровни питательных веществ в воде и количество микробов обычно ниже.

Затем есть еще строго **пресноводные** рыбы, наиболее распространенные из которых **сом** и **капп**. Как и у морских рыб, их энзимная деятельность, похоже, подавлена, и их запах мягкий. Но именно эта самая мягкость позволяет паре чужеродных летучих молекул вторгнуться и сделать совокупное впечатление неприятным. Эти нарушители — **геосмин** и **метилизоборнеол**, или **МІВ**, которые мы уже нюхнули ранее — в почве, которой они придают ее характерный землистый, прокислый запах. Они проникают в пресноводную рыбу двумя путями: стекание или вымывание из почвы в воды и рост цианобактерий, которые сами вырабатывают их в водах. Геосмин и МІВ концентрируются в жире, в основном в рыбьих кишках и под кожей, но также глубоко в мышечной ткани. Мы гораздо более чувствительны к ним, чем к обычным углеродным цепочкам, поэтому у нас могут вызвать отвращение даже относительно крошечные количества.

Загрязнение, вызванное геосмином и МІВ, может также возникнуть в **аквакультурных рыбах**, даже в эвригалинных и морских видах, когда они выращиваются на ферме в зем-

Некоторые эвригалинные рыбы

Эвригалинная рыба	Составляющие запахи	Молекулы
анчоус аю баррамунди баса, пангасиус голец угорь сельдь лосось обыкновенный лаврак корюшковые полосатый лаврак осетр тиляпия форель	зелень, трава гриб лист герани, металлический зеленая дыня, арбуз жирный огурец	гексаналь, гексеналь, гексенол октенон, октадиенол, октенон октадиенон ноненол, нонадиенол ноненаль нонадиеналь

Некоторые пресноводные и часто разводимые на фермах эвригалинные рыбы

Пресноводные и разводимые на фермах рыбы	Побочные запахи	Молекулы
большеротый и малоротый окуни каarp	землистый прокислый	геосмин метилизоборнеол
голец угорь лосось обыкновенный лаврак полосатый лаврак осетр тиляпия форель		

ляных прудах, резервуарах, каналах или в относительно стоячих прибрежных садках, где рыбные отходы и остатки пищи накапливаются и стимулируют рост цианобактерий. Тилапия, радужная форель, лосось, обыкновенный и полосатый лавраки и осетр — все примеры культивируемых рыб, которые могут обладать грязным побочным запахом. Единственный способ избавиться от загрязнения — это поддержать живую рыбу в чистой воде до тех пор, пока летучие молекулы по большей части не рассеются снова, обычно это вопрос нескольких дней, если не недель. К сожалению, нет хорошего кулинарного средства от их присутствия. Геосмин и МІВ устойчивы к жару и кислотам, поэтому единственное, что можно сделать, — это срезать всю кожу и видимый жир и перебить запах плоти добавочными ароматами.

Рыбохозяйственные ученые делают успехи в улучшении вкуса разводимых на ферме рыб, которые продолжают расти по значимости, как отвечающая принципам устойчивого развития альтернатива истощению природных популяций. И австралийская команда обнаружила, что они могут улучшить вкус пресноводных разводимых на ферме баррамунди, также известных как белые морские окуни, откармливая их в завершающий период выращенным на ферме морским салатом, одаряющим их DMS и более богатым, более насыщенным ароматом морепродуктов и крабов.

МОЛЛЮСКИ: УСТРИЦЫ

Основной съедобный представитель моря — это сырая **устрица**. Элеанор Кларк далеко не одинока в том, чтобы приписывать этому двустворчатому моллюску на один укус способность вызывать эссенцию океана и жизни, поддерживаемой им. И для такого размаха воображения есть хорошие причины. Устриц часто едят сырыми, не измененными жаром готовки. Они и другие двустворчатые моллюски, мидии и спизулы, — фильтраторы, каждый день пропускающие галлоны воды через свои жабры, задерживающие фитопланктон и остатки в форме частиц и извлекающие питательные вещества. Их массу тела в основном составляют жабры и пищеварительная ткань, насыщенные водой, к которой они приспособились при помощи своих совместимых растворенных веществ. Поэтому их аромат, как вкус, так и запах, отражает подробности их местной окружающей среды и диеты, что было названо «меруаром» по аналогии с терруаром сортов винограда и вина (mer — это по-французски «море»). Есть исторически сложившееся гурманство касательно устриц, уходящее корнями как минимум в римские времена, восхваляющее конкретные воды, надежно вырабатывающие вкусных устриц с солоноватыми, фруктовыми, металлическими, цветочными нюансами, которыми они могут обладать.

Устрицы — это также большой бизнес, возможно, основной пример полезных для здоровья морепродуктов, которые можно выращивать на ферме с минимальным и порой положительным воздействием на окружающую среду. В этом случае нет ничего удивительного в том, что устричные летучие молекулы были много изучены. Задействованный научный аппарат — тупой инструмент по сравнению со вкусом и экспериментальной базой данных серьезных остраефилов, любителей устриц. Он не может даже начать составлять учет всех нюансов, о которых они сообщают или фальсифицируют более притянутые за уши. Тем не менее результаты на данный момент могут помочь нам начать понимать и оценить то, откуда берутся эти нюансы и что они означают.

Устрицы растут, прикрепившись к камням или устроившись на грязных осадках в полупресных водах речных эстуариев, а также дальше в море. Сегодня их выращивают на ферме в похожем разнообразии условий окружающей среды, зачастую подвесив их на жердях или в мешках. Они могут адаптироваться к разнообразным уровням солености воды, и их телесные ткани приспособливаются в основном при помощи сахаров и растворенных аминокислот, в особенности таурина, сладких глицина и аланина, горько-сладкого пролина и горького аргинина. Вдобавок «ракушечная жидкость», которую они сохраняют, когда их собирают, служит примером воды, в которой они выросли. Поэтому вкус устриц более насыщен в устрицах из вод с высоким уровнем солености.

Их запахи — это другая и более сложная история. Некоторые принадлежат главным образом водам, а не самим устрицам. Когда они пропускают большие объемы воды через свои тела, устрицы подбирают летучие молекулы, приходящие из других источников, разумеется, от фитопланктона, который они поглощают, но также от других микробов, от испускающих галогены морских водорослей, дождевого стекания с почв и выбросов промышленных или бытовых отходов в речные

воды и эстуарии. Это же самое пассивное поглощение, это то, почему устрицы могут концентрировать болезнетворных микробов и токсины от фитопланктона красного прилива, все вышеперечисленное делает поедание устриц рискованным предприятием! Производители порой занимаются решением этой проблемы при помощи очистки или держания собранных устриц в чистой или очищенной воде в течение некоторого времени перед их продажей. Разумеется, это также удаляет любые летучие молекулы, характеризующие их родные воды — к добру или к худу, — и также может изменить их вкус.

Летучие букеты, созданные самими устрицами, более предсказуемы. Выловленные прямо из океана, они испускают в основном водные углеродные цепочки, с малыми количествами или без DMS, ТМА или галогенов. Первичные продукты расщепляющих цепочки энзимов устриц — это фрагменты, придающие им свежую, морскую, металлическую сердцевину их запаха. Мы ассоциируем запахи некоторых восьми- и девятиуглеродных цепочек с металлами, потому что, как случилось, они также вырабатываются, когда мы держим в руках металлы (см. с. 398). Затем, когда мы жуем, энзимы продолжают работать, кислород воздействует на хрупкие полиненасыщенные вещества, цепочки множатся и запах изменяется и становится сильнее и сложнее, с новыми нотками — грибов, огурца, дыни, даже цитрусовых плодов и цветков, которые приходят и уходят.

Таким образом, вкусить устрицу прямо из воды — попробовать на вкус саму воду и виртуозность этих древних, «примитивных» животных в игре вариаций простой цепочки углеродных атомов.

На букет углеродных цепочек, вырабатываемый любой конкретной устрицей, влияют различные детали окружающей среды, в которой она выросла, а также конкретный вид. Сегодня наиболее распространенной является тихоокеанская устрица, самая жизнеспособная, и ее проще всего разводить на ферме, но гурманы также могут найти европейскую или

Некоторые запахи азиатских и европейских устриц

Молекула (углеродные цепочки, C _s –C ₁₁)	Составляющий запах	Тихоокеанская устрица (<i>Crassostrea</i> <i>gigas</i>)	Европейская устрица (<i>Ostrea</i> <i>edulis</i>)
пентеналь	зеленый	++	
пентенол	грибной	+++	++
гексенол	свежий, зеленый	+	
гептадиеналь	гриб, мох	+++	++
октанол	огурец	+	
октеналь	цитрус, огурец	++	++
октенон	огурец, металлический	+	+
октенон	землистый, металлический	+	+
октадиенон	гриб, мох	+++	++
октатриен	зеленый	+	
нонанол	огурец	+	
нонадиеналь	дыня, жирный, огурец	+++	++
нонадиенон	свежий, морской, металлический	+	+
деканаль	морской	+	
ундеканон	свежий, огурец	+	
циклогексилэтанол (C ₈)	свежий, мятный	+	++
сиреневый альдегид (C ₁₀)	цветочный	++	++

белонскую, первоначально из Северной Европы, атлантическую устрицу, первоначально с американского побережья, японскую устрицу кумамото, сиднейскую скальную устрицу и других. Знатоки, потребители и экспериментальные дегустационные комиссии часто расходятся во мнении относительно того, какие устрицы имеют тенденцию быть более солеными, с более сильным ароматом, с более изысканным ароматом, и даже отличаются ли они вообще. Это просто еще одно проявление их предсказуемой непредсказуемости, которой самой можно насладиться.

Возможно, самый важный фактор, влияющий на аромат любой конкретной устрицы, — это то, как с ней обходились с того

момента, как ее забрали из воды, что может произойти за неделю или больше до того, как ее съедят. Водные существа обычно прибавляют мощность своих вырабатывающих летучие молекулы систем в качестве ответной реакции на стресс. Хранение собранных устриц во льду лишает их воды, кислорода и пищи, и в действительности экстремальный холод вредит их тканям. Хранение их в резервуарах лишает их пищи и заменяет их родные воды резервуарной водой. Так много, возможно, большинство устриц, которых мы едим, вероятно, отличаются по вкусу, менее морские и более огуречные, дынные, землястые, чем они были бы, если бы их открыли на ферме. В итоге преобладают имеющие рыбный за-

пах альдегиды, а также накапливаются следы DMS от фитопланктона. Когда дело касается того, чтобы оценить их естественный аромат, устриц лучше всего пробовать тогда, когда их только что вытащили из воды.

ДРУГИЕ МОЛЛЮСКИ,
РАКООБРАЗНЫЕ И ИГЛОКОЖИЕ

Пищевые химики уделяли относительно мало внимания естественным свежим запахам моллюсков, ракообразных и иглокожих, которых обычно не едят сырыми. Кратко: двустворчатые моллюсковые кузены устриц получают свои сырые ингредиенты от других смесей летучих молекул коротких цепочек, **мидии** — с винной ноткой, некоторые **двустворчатые моллюски** — с интересными оттенками сладких, миндальных бензoidных колец, **морские гребешки** — с намеком на куриный жир! Ни в одном из них особо не преобладает океанический, водорослевый DMS, когда они свежие, несмотря на тот факт, что их пищеварительные органы зачастую заполнены запасующим DMSP фитопланктоном. Но приготовьте их,

и весь этот DMSP выработает целую кучу DMS, настолько много, что некоторые морские химики описывают запах чистого DMS как запах приготовленных двустворчатых моллюсков. Суп чаудер с моллюсками, рагу из устриц, морские гребешки в панировке — все очень сильно напоминают океан — открытый океан DMS, не зеленый или галогенный океан. Жар имеет тенденцию приглушать специфические ароматы и заменять их запахом океана в целом, усиленным.

Кальмар, каракатица и осьминог — головоногие, представители моллюсков, вернутые наизнанку — вместо твердого наружного панциря теперь похожая на кости жесткая прокладка глубоко в слоях мышц — и перепрофилированные в сверхестественно проворных охотников. К сожалению, практически ничего не было опубликовано об их летучих молекулах, так что все, что я знаю наверняка — по опыту, а также из литературы, — это то, что они полагаются на ТМАО, чтобы приспособиться к солености, и вырабатывают рыбный ТМА, как только их выловят.

Некоторые моллюски, ракообразные и иглокожие

Моллюск, ракообразное или иглокожее	Составляющие запахи	Молекулы
мидии	винный, гриб, свежий, цитрус, огурец	пентаналь, пентенол, гексаналь, гептаналь, октаналь, октенол, ундеценон, DMS
двустворчатые моллюски	масляной, сладкий, гриб, зеленый, морские водоросли, миндаль, мед, океан	пентанол, пентеналь и пентенол, гексанол и гексенол, гептадиеналь, бензальдегид, фенилацетальдегид, DMS
морские гребешки	жирный, курица, ферментированный, зеленый	октадиенол, метилпентанол, гексаналь, гексенол, DMS
кальмар, осьминог	мягкий, морской, рыбный	ТМА
креветка	морской воздух, естественный бассейн, попкорн, морские водоросли, лист герани, металлический, рыбный	бромфенолы, ацетилпирролин, DMS, октенол, октадиенол, октадиенон, ТМА
морской еж, европейский (Paracentrotus)	растворитель, фруктовый, сладкий, цветочный, морские водоросли, медицинский, морской, мясной/кофейный	ацетон, метилбензол, нонаналь, деканаль, фенол, деканол, бензотиазол

Ракообразные — это совсем другой морепродукт. Они подвижные, они плавают и ползают при помощи своих десяти конечностей, поэтому, как и у головоногих, их тела — это в основном мышцы, а не пищеварительные органы. Большая часть креветочного аромата возникает от относительно маленьких пищеварительных органов в «голове». Ракообразные всеядны, их диета куда шире, чем фитопланктон двустворчатых моллюсков. Судя по тому, что известно о **креветках**, единственных ракообразных, изученных детально, у них есть несколько общих простых углеродных цепочек с двустворчатыми моллюсками, но они выделяются тем, что испускают как DMS, так и ТМА, а еще две относительно редкие разновидности летучих молекул, делающих их характерными. Одна разновидность обусловлена их эклектической диетой: бромфенолы, обнюханные выше на морском побережье (см. с. 308), пахнущие, как йод. Другая — аминокислотный дериват, содержащий азот: ацетилпирролин, который мы повстречали в ароматических сортах риса и листьях пандана (см. с. 159). Его запах часто описывают как похожий на попкорн, в котором это одна из самых ярко выраженных летучих молекул.

В таком случае креветочный аромат — это смесь океанического воздуха, йода, попкорна, зеленых листьев и, в зависимости от того, насколько хорошо с ними обращались, более или менее рыбности. Креветки, с которыми плохо обращались, могут сильно пахнуть аммиаком. Готовка обычно увеличивает пахнущий океаническим воздухом DMS, но также усиливает попкорновую и ореховую нотки — жар вырабатывает больше содержащих азот углеродных цепочек — и больше увеличивает разрыв между ароматами двустворчатых моллюсков и ракообразных.

Последний пример аромата в данном разделе — исключение из многих правил: покрытые колючками сферы под названием **морские ежи**, более близкородственные плоским морским ежам и морским звездам, чем двустворчатым моллюскам или ракообразным, питающиеся водорослями вместе со слу-

чайным животным. Их гонады — массы сперматозоидов и яйцеклеток — вкусны в сыром виде, по крайней мере, когда они не обладают невыносимо животным запахом. Ценный европейский вид, как было обнаружено, испускает пьянящую смесь похожих на растворитель ацетона и метилбензола, медицинский фенол и мясную, похожую на кофе серную летучую молекулу, бензотиазол, поверх цветочных и водорослевых углеродных цепочек. Они уникальны.

ВОДОРОСЛИ: МОРСКИЕ ВОДОРОСЛИ И МОРСКАЯ СОЛЬ

Теперь перейдем к фотосинтезирующим существам, кормящим нас на суше, а также своих водных животных соседей. Морские водоросли всегда были важными продуктами питания вдоль морских побережий планеты. Согласно «Райской пище» Рейчел Лодан, у гавайцев когда-то были названия для восьмидесяти различных морских водорослей, или лиму, и они все еще используют некоторые как в свежей, так и в высушенной (восстановленной) формах из-за их хрустящей текстуры и океанических ароматов. Морские водоросли стали более широко известны посредством влияния японской кухни, в которой они используются для ароматизации концентрированных бульонов, для заворачивания кусочков рыбы и риса, как овощ и как гарнир; некоторые известны в основном по их японским названиям. Морские водоросли обычно высушивают немедленно после сбора, чтобы сохранить их, и это может изменить их смесь летучих молекул, но обычно оставляет их совокупный характер нетронутым.

Как мы увидели, морские водоросли подразделяются на три общие группы, названные по их преобладающим цветам. Члены каждой группы также имеют тенденцию напоминать друг друга по своим наборам и пропорциям летучих молекул.

В бурых водорослях преобладают галогены, бром, йод и их углеродные соединения, и, таким образом, они предлагают характерную

комбинацию сладости и дезинфицирующей резкости. Леса **макроцистиса** украшают Тихоокеанское побережье Северной и Южной Америки и постоянно усеивают береговые линии своими впечатляющими стеблями, листьями и запахом. Несколько бурых водорослей также вырабатывают необычные летучие молекулы, сесквитерпеноид кубенол с водорослево-сенным запахом и одиннадцатитуглеродные молекулы под названием диктиоптерены, одни из них пахнут как морское побережье, другие — как зеленые душистые травы.

Комбу, основной ароматизатор многих японских супов и рагу, — это родственница макроцистиса, и, к счастью, она не столь забита под завязку галогенными летучими молекулами. Она содержит достаточно йода, чтобы быть важным источником полезного для здоровья потребления йода японцами, но она не преобладает в запахе концентрированного бульона, даси, если только вы не совершите ошибку, сварив ее в кипятке. Мягкая варка при слабом кипении поддерживает огуречные и цветочные летучие молекулы на переднем плане, в то время как она извлекает изобиливающие аминокислоты, используемые бурными водорослями в качестве совместимых растворенных веществ, прежде всего глутаминовую кислоту, которую наши вкусовые сосочки ощущают как смачность, или умами. (Именно японский ученый, изучающий аромат даси, и открыл глутаминовую кислоту как ключевую вкусовую молекулу и ввел в употребление ее очищенную натриевую соль, глутамат натрия или MSG, в качестве вкусовой добавки.)

Более изысканная бурая водоросль, **вакаме**, часто встречается в салатах из морских водорослей в вводящей в заблуждение ярко-зеленой форме, поскольку ее нагревание уничтожает один из ее основанных на белках фотосинтетических пигментов и в действительности делает ее хлорофиллового партнера видимым. Она тоже не злоупотребляет галогенами, вместо этого содержит кубенол с его водорослево-сенной характеристикой.

А на Гавайях бурая водоросль **лиму липоа**, с узкими ветвями длиной несколько дюймов, растет на прибрежных рифах. Ее собирают после того, как ее выносит на пляж, и она ароматизирует воду и воздух своими травянистыми феромонами. Ее аромат сравнивают с комбинацией перца и шалфея, и ее подают свеженарезанной с сырой рыбой.

Красные водоросли — самая разнообразная группа. В одних красных водорослях преобладают DMS и другие серные соединения, другие богаты галогенами, а третьи, похоже, испускают всего понемногу. Они включают, вероятно, самые знакомые морские водоросли на Западе, известные в Ирландии как **лавер**, а в Японии — как **нори**. Это виды красных водорослей из родов *Ryugoria* и *Porphyra*, маленькие прозрачно тонкие листы которых спрессовываются вместе и высушиваются в пластинки, которые поджариваются и используются для заворачивания суши и рисовых шариков. Нори в течение веков культивировалась на морских побережьях Китая и Японии, несомненно, отчасти потому, что она растет на скалах в приливной зоне и переживает повторяющиеся подвержение воздействию кислорода и солнечного света и высыхание. Водоросли нори не являются значительными производителями DMSP, а вместо этого накапливают сахара, аминокислоты, таурин и бетаин в качестве совместимых растворенных веществ. Но их аромат все равно отмечен несколькими серными молекулами, обогащаемыми высушиванием и последующей поджаркой. У них также есть цветочные нотки, которые могут напоминать подсушенные листья чая и табака. Совокупный эффект притягательно вкусный и сложный.

В других часто поедаемых красных водорослях преобладают галогенные соединения, и, таким образом, они нравятся далеко не каждому. Среди них примечательна пара ирландских запасных вариантов, **ирландский мох** и **дульсе**, а на Гавайях — относительно мягкая **ого**, хрустящие волокна которой применяются для многих разных целей (некоторые виды — источник сгустителя агар-агара),

Некоторые распространенные морские водоросли и морская соль

Водоросль	Составляющие запахи	Молекулы
бурые		
макроцистис (<i>Macrocystis</i>)	сладкий, йод	хлороформ, бромформ, йодоформ
комбу (<i>Laminaria</i>)	йод, цветочный, огурец	йодо-октан, нонаналь, ноненаль, нонадиеналь, октенон, ионон
вакаме (<i>Undaria</i>)	сенно-водорослевый, цветочный, огурец	кубенон, ионон, ноненаль, нонадиеналь
лиму липоа (<i>Dictyopteris plagiogramma, australis</i>)	зеленый, моховой, морские водоросли, травянисто-пряный	диктиоптерены
красные		
нори, лавер (<i>Pyropia, Porphyra</i>)	океан, серный, цветочно-табачный, фиалка, морские водоросли	DMS, сульфид водорода, метантиол, циклоцитраль, ионон, гептадекадиеналь, гептадекатриеналь
ирландский мох, карраген (<i>Chondrus</i>)	зеленый, фруктовый, сладкий, йод	гексаналь, пентаналь, дихлорметан, метилйодид
лиму манауэа, ого (<i>Gracilaria</i>)	морской, йод	бромфенол, дибромфенолы
лиму коху, «высшая водоросль» (<i>Asparagopsis</i>)	сладкий, йод	бромформ, йодоформ, дибром йодметан, йод
дульсе, диллиск, морская петрушка (<i>Palmaria</i>)	сладкий, йод, свежий, морской	бромформ, хлорбензол, йодпентан, октаналь, нонаналь, октатриен
зеленые		
морской салат, лиму элеэле, аонори (<i>Ulva, Enteromorpha</i>)	океанический зеленый, огурец, морские водоросли, фиалка	DMS, гексаналь, октеналь, ноненаль, декадиеналь, гептадеценаль, гептадекатриеналь, ионон
аонори (<i>Monostroma</i>)	океанический, миндаль, фиалка	DMS, бензальдегид, ионон
морская соль	фиалка, зеленый, смолистый, сладкий	эпоксид иона, метилгептенон, триметициклогексанон, изофорон

и перьеобразная **лиму коху**, мощно галогенная, традиционно высушиваемая на солнце и измельчаемая в порошок для использования в качестве приправы.

Зеленые водоросли обитают как в пресных водах, так и в море и склонны выделять смесь DMS и альдегидов углеродных цепочек, включая некоторые характерные длинные,

такие как гептадекатриеналь. Виды, известные как **морской салат** и **аонори**, изящные и просвечивающие, некоторые из них толщиной лишь в один клеточный слой. Их запахи в числе наиболее представляющих сам океан, в них преобладает океанический DMS вместе со стандартным букетом зеленой, грибной, огуречной ноток, порой с оттенком горького

миндаля, порой с цветочным намеком от похожего на фиалку иона.

Наконец, едва уловимо цветочный запах фитопланктона, выпускаемый столовой солью! Для изготовления **морских солей** морской воде позволяют испаряться до тех пор, пока ее растворенные минералы не станут настолько сконцентрированными, что они выпадают в осадок в форме твердых кристаллов. Микробы, способные выжить в настолько соленых соляных растворах, бактерии, а также фитопланктон, имеют тенденцию накапливать оранжево-красные каротиноидные пигменты, чтобы защитить свои фотосинтетические системы, и фрагменты этих терпеноидов и другие молекулы могут сохраниться — вместе с некоторыми покоящимися клетками — в неочищенных кристаллах. Их запахи заглушаются какой угодно пищей, на которую посыпали соль, но защищенные в закрытом соляном погребе и понюханные, когда он открывается, они — удивительно изысканное проявление стойкости жизни.

НЕВИДИМЫЕ ЛЕТУЧИЕ МОЛЕКУЛЫ, ЖИЗНЕННО ВАЖНЫЕ ВЛИЯНИЯ

Изысканный, лакомый **морской салат** стал печально известен во Франции в ранних годах этого века за его плодovitость и его токсичный аромат. За период с 1989 по 2011 год богатое удобрениями стекание с сельскохозяйственных земель в Бретани регулярно вызывало взрыв прибрежной популяции *Ulva*. Некоторые пляжи оказывались повторно заполненными тоннами умирающих, гниющих, воняющих морских водорослей. Разложение их богатых DMSP тканей и насыщенных серой углеводов клеточных стенок выработало достаточно газообразного сероводорода, чтобы убить лошадь, двух собак, тридцать шесть диких кабанов, бегуна трусцой и собирателя морских водорослей.

Воды Земли обширны, количества ее существ невообразимы, но кумулятивные эффекты ее летучих молекул нечасто столь

драматично очевидны. Только благодаря современной науке об атмосфере мы получили отдаленное представление о картине в целом. Как и массивные выбросы изопрена, терпеноидов и летучих молекул зеленой листвы на суше, высвобождение диметилсульфида и галогенов в океанах оказывает воздействие на химические процессы в атмосфере, поглощение и отражение энергии солнца, удержание и высвобождение тепла Земли и, таким образом, локальный и глобальный климат. DMS вступает в реакцию с кислородом и образует серную кислоту и другие соединения, инициирующие образование водных капель и морской дымки, которые могут накапливаться и образовывать облачный покров. Йод и его оксиды делают то же самое, особенно локально вдоль водорослевых берегов. Йодные и бромные летучие молекулы также вступают в реакцию и уничтожают озоновую форму кислорода, что снижает ее поглощение вредоносного ультрафиолетового излучения солнца.

Поэтому запах открытого океана сигнализирует об усилении облачного щита, помогающего регулировать температуру Земли. Прибрежная едкость во время отлива отмечает местное истончение воздушного щита от солнечного излучения. Оба свидетельствуют о динамизме нашей планеты: химические элементы, смываемые в воды, используемые в жизненно важных целях бесконечными живыми клетками, заброшенные в воздух, где они изменяют энергетический баланс планеты, затем падающие обратно и оказывающиеся в водах, чтобы вновь стать подхваченными жизнью.

Я полюбил некоторые неожиданные признаки этого великого природного цикла: непредсказуемых водных съедобных существ, а несколько шотландских виски! Вот связь. Океанские волны и ламинарии высвобождают бром и бромированные углеродные цепочки в атмосферу, где они переносятся на значительные расстояния ветром и в конце концов возвращаются на Землю с дождем и снегом. Большая часть бромных соединений, падающих на сушу, в итоге смывается в реки и назад

в океан. Но некоторые формы растительности питают страсть к брому и удерживают его. Среди них — торфяные болота, образованные сфагновыми мхами по всему Северному полушарию. Чтобы избежать гниения в затопленных болотах, сфагновые мхи заполняют себя защитными комплектами шестиуглеродных фенольных колец, подавляющих плесневые грибки и бактерии. Когда дождь, содержащий бром, падает на торф, вода просачивается сквозь него, но бром остается и вступает в реакцию с фенолами, образуя бромфенолы: те же самые фитопланктонные летучие молекулы, которые придают диким моллюскам, ракообразным, иглокожим и рыбам их насыщенный океанический аромат.

Возраст торфяных пластов может составлять тысячи лет, и они давно были вырезаны, высушены и сожжены в качестве топлива. Некоторые производители шотландского виски сушат свой ячменный солод горящим торфом, часть этого торфа может быть особенно богата бромфенолами, и часть этих бромфенолов переживает ферментацию и дистилляцию и попадает в бутылку. Именно так, находясь дома в Сан-Франциско или путешествуя тысячи миль в глубь материка, я могу нюхнуть вечерний глоток «Лагавулина» и смаковать оттенок океана, его животных, водорослей и большой досягаемости.

ГЛАВА 16.

ЖИЗНЬ ПОСЛЕ СМЕРТИ: ДЫМ, АСФАЛЬТ, ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

У вас есть сверкающая красота золота и серебра и еще более яркий блеск драгоценных камней, как рубин и бриллиант; но ни один из них не сравнится с яркостью и красотой пламени... Одна только свеча сияет сама по себе...

Жар, являющийся пламенем свечи, разлагает пары воска и высвобождает углеродные частички — они поднимаются вверх, нагретые и пылающие, и затем попадают в воздух... Разве не прекрасно думать, что такой процесс происходит и что такая грязная вещь, как уголь, может стать такой раскаленной добела?

Майкл Фарадей, «Химическая история свечи», 1861 год

Каменноугольная смола, темная, густоватая, не жидкость, но и не совсем твердое тело, бесполезный осадок, засоряющий трубы при создании осветительного газа, она стала... центральным объектом в богатстве стран... Презируемый побочный продукт — своя собственная лаборатория природы, волшебный перегонный куб которой дистиллирует жидкости, и пары, и нагар, и кристаллы для облегчения страданий. Из каменноугольной смолы и родственных субстанций производятся бесконечные синтетические продукты, заменившие целебные травы наших предков. В число этих средств входят антисептики, фенол, крезол, резорцин; местные анестетики, алипин, новокаин, стоваин; ...сахарин, дозволённый сахар диабетиков...

Паразитициды и парфюмы, топлива и фотографические принадлежности, асфальт тротуара и покрытие крыши — все рождены из глубокого чрева каменноугольной смолы.

Профессор Виктор Робинсон, «Размышления о каменноугольной смоле», 1937 год

Теперь мы переходим от моря и суши к свечному пламени и каменноугольной смоле, от великих циклов жизни и смерти к разрушающим жизнь крайностям жара и гравитации, условиям, столь деструктивным для сложности, что они оставляют ее обнаженно-го демиурга, самого Героя-Углерода, черным, как сажа, и раскаленным добела!

Само существование углерода как химического элемента было признано лишь за несколько десятилетий до того, как Майкл Фарадей прочитал свои знаменитые Рождественские лекции на тему свечи. К тому времени, как Фарадей держал речь, он и другие

уже продемонстрировали критически важную роль углерода в огне, что стремительное высвобождение насыщенной тепловой энергии, овладение которым сформировало наш вид, подпитало развитие цивилизации и наполняло дымом повседневную жизнь в течение тысяч лет, включая торфяное виски из предыдущей главы. И эти химики-первопроходцы открыли, что уголь, каменноугольная смола и нефть — это свои собственные подземные лаборатории углерода, темные архивы колец и цепочек, пообещавших вложить в человеческую жизнь гораздо больше, чем тепло и свет.

Ученые, исследовавшие каменноугольную смолу, входили в число первопроходцев органической химии, изучения материалов, созданных и используемых живыми организмами в ходе их активного существования. Как только организмы умирают, их материалы начинают свою собственную карьеру: они сохраняются в виде останков, которые мы называем органической материей, и поскольку органическая материя состоит по большей части из принимающего различные образы углерода, она претерпевает свои собственные метаморфозы, вырабатывая бесчисленные молекулы просто потому, что их можно выработать, а не для того, чтобы послужить какой-либо органической цели. Великим достижением ранних органических химиков было открытие этой посмертной творческой деятельности Героя-Углерода в свободной форме. Оно проложило путь для всеобъемлющего преобразования материальной жизни в промышленных странах, создания по большей части синтетической окружающей среды, в которой мы обитаем сегодня. Эта окружающая среда обладает своими собственными характерными запахами, которые мы обычно описываем как «химические» или «пластиковые», расплывчатые синонимы для термина «неестественные». По факту, как и запахи почвы и камня, они тоже следы жизни после смерти организмов Земли. Единственное, что в них неестественного, так это их выраженность.

Почва и мокрые камни получают свои запахи от неглубокого захоронения и быстрой переработки органической материи Земли. Огонь и каменноугольная смола, соответственно, пахнут ее кремацией и ее глубоким-преглубоким погребением. Дымность, сопровождающая огонь, — это прощальный запах организованных структур жизни, когда они развеиваются в воздухе прямо на наших глазах. Запахи угля, смолы и нефти обусловлены теми же самыми структурами, которые были невидимо, безвоздушно, медленно раздавлены и сварены в каменноугольный концентрат. Все они появились гораздо раньше нашего клана приматов и были обо-

нительными вехами с самого начала нашего существования.

В африканских и евроазиатских диких местностях, где эволюционировал наш клан, дым был бы предупреждающим сигналом разрушения и опасности. Когда наши предки по меньшей мере полмиллиона лет назад научились контролировать огонь, дым стал постоянным спутником. Его запах продолжает пропитывать многочисленные сообщества по всему миру, которые полагаются или толерантно относятся к открытым кострам, как делал мой родной город в штате Иллинойс, когда я рос: осенние уик-энды окуривались благовониями погребальных костров собранных в кучу листьев вдоль улиц. Сейчас мы знаем, что топочные газы токсичны, и те общества, которые могут себе это позволить, ограничивают их выброс в воздух, которым мы дышим. Даже несмотря на это, мы все равно наслаждаемся летучими фрагментами огня вокруг камина или бивачного костра, в продуктах, в спиртных напитках, от табака. Дымность остается меткой человеческого влияния, тепла, питания и сообщества.

Просачивания на поверхность каменноугольной смолы и нефти случаются не так часто, как природные пожары, но ранние мигранты-гоминиды из Африки встречались с их множеством на Среднем Востоке. Уголь, смола и нефть образовались от миллионов до миллиардов лет назад, когда микробы и растения были похоронены глубоко под землей, раздавленные гравитацией, тянущей океаны и континенты над ними, и взболтанные жаром ядра Земли под ними. В течение эпох этой планетной варки под давлением выработались бесчисленные вариации углеродных цепочек и колец, включая фрагменты, придающие каменноугольной смоле, газولينу и растворителям краски их знакомые запахи. Сегодня они тоже отмечают человеческую деятельность и влияние, но промышленное, а не бытовое: создание и поддержание построенных структур, дорог и механизмов, заправка топливом двигателей. Изобилующая химическая энергия, запасенная в ископаемых углеродных

цепочках, поспособствовала человеческой деятельности в невиданных размерах — и выработала достаточно не пахнущего оксида углерода (IV), чтобы изменить глобальный климат и экосистемы.

Даже несмотря на то что они всего лишь жалкие остатки удивительных самореплицирующихся систем жизни, ископаемые органические вещества воплощают другой аспект виртуозности Героя-Углерода: широкое разнообразие молекул, которое может возникнуть в результате разбора жизни на составные элементы, соперничающее с маломолекулярной изобретательностью самой жизни! Когда фрагменты, выработанные огнем, быстро улетают прочь в дыме и парах, ископаемые фрагменты скапливаются в жидкости и твердые тела, которые куда легче изучать и играть с ними. Это именно то, что ранние органические химики начали делать примерно в 1800 году. Среди других открытий: они разобрались, как извлекать специфические молекулы из сложных смесей типа каменноугольной смолы. Таким образом, они были одними из первых людей, понюхавших индивидуальные углеродные кольца и цепочки сами по себе. Они предоставили начальные данные для таблиц запахов в этой книге, прецеденты для всех остальных.

Возникновение органической химии отмечает поворотный момент в человеческой истории и в истории нашего уголка космоса. Герой-Углерод больше не был ограничен исследованием возможностей сложности в процессе постепенной выработки естественной селекции. Теперь у него появились активные, любознательные партнеры в лаборатории. Результатом были два века все более ускоряющегося изменения на планете Земля — и промышленные запахи современного мира, как недавно созданные, так и те, возраст которых составляет миллиарды лет.

ОГОНЬ И ЖИЗНЬ

Это было бы за короткое время до возникновения наземных растений и их восхититель-

ных химических способов защиты и приманок, когда космический Шеф-повар смог бы обнаружить первые завитки дыма, поднимающегося от огня. Не едкие первобытные выбросы вулканов и ударов молний, а более сладкие пары ранней наземной жизни, которую могли воспламенить блуждающая лава и электрические бури. Но эти первоначальные клубы были бы слабыми и быстротечными. Было мало живого материала, чтобы гореть, и было недостаточно кислорода, чтобы поддерживать горение.

Ключ к роли кислорода как в жизни, так и в огне — это его жажда электронов, его напористое привязывание к атомам, слабее держащимся за свои электроны, а именно углеродным и водородным атомам, из которых состоят все живые организмы. В структурах живых клеток электронная жажда кислорода активно управляется, чтобы сделать ее созидательной силой: она направляется в пошаговый разбор сахаров на составные элементы, чтобы обеспечить химическую энергию для работы клеток. Огонь возникает в результате, когда кислород вырывается из-под контроля. Когда его подстрекает первоначальная доза энергии от молнии, магмы или зажженной спички, он без разбору набрасывается на углеродные и водородные атомы, отрывая их друг от друга и образуя молекулы оксида углерода (IV) и воды. Эти реакции высвобождают достаточно энергии, чтобы спровоцировать еще один раунд нападений, и, таким образом, реакции и высвобождение ими энергии поддерживают друг друга. Мы ощущаем высвобождение энергии двумя различными способами. Есть тепло от невидимого инфракрасного излучения и увеличивающегося движения воздушных молекул, и есть видимый свет пламени, как тусклое голубое свечение от основных реакций, так и оранжево-желтое свечение от чрезмерно нагретых частиц, которые еще не сгорели полностью.

Хотя большая часть кислорода на ранней Земле возникла от фотосинтетических микробов в океанах, именно обитающие на суше предки мхов, печеночников и прямосто-

ячих растений помогли поднять атмосферные уровни достаточно высоко, чтобы поддерживать горение (15% или более воздушных газов). Самое раннее свидетельство устойчивого огня — древесный уголь, датированный возрастом более 400 миллионов лет. К периоду 100 миллионов лет назад огонь был достаточно распространенным явлением в сезонно сухих регионах, так что он повлиял на эволюцию растительных структур и жизненных стратегий, включая толстую кору хвойных деревьев. У многих растительных видов сейчас есть семена, пророст которых стимулируется, когда они обнаруживают химические признаки недавнего огня, который зачастую очищает почву от соперников и удобряет ее их пеплом. Летучие сигналы к проращиванию, названные каррикинами, были идентифицированы, когда ученые сумели стимулировать пророст семени при помощи лабораторной версии поварского жидкого дыма. Огонь также сформировал разновидности окружающей среды в крупном масштабе, включая редколесные саванны в Африке. Там преобладают травы, потому что они могут распространяться при помощи защищенных подземных стеблей и в сухой сезон предоставляют изобилие тонких листьев, которые легко горят и помогают уничтожить соперничающие растения.

Огонь также оказал значительный эффект на наш собственный вид. Гарвардский антрополог Ричард Рэнгем утверждает, что наш родительский вид *Homo erectus*, вероятно, контролировал огонь и начал готовить пищу достаточно давно — более миллиона лет назад, — что это подпитало увеличение мозга, уменьшило челюсть и жевательные мускулы, поощрило сотрудничество и ранние формы общественного бытия и помогло превратить прямоходящего *erectus* в современного, мыслящего *sapiens*. Самое раннее явное свидетельство человеческого контроля над огнем датировано гораздо более поздним сроком, примерно восемьсот тысяч лет назад, поэтому гипотеза Рэнгема остается противоречивой. Но нет никаких сомнений в том, что огонь и его запахи были определяющей ча-

стью человеческой жизни с тех самых пор, как появились люди.

Самая частая причина природного огня — это молния. По всей поверхности Земли каждую секунду случаются примерно сто ударов молний. Со временем наши предки обнаружили, что огонь можно содержать в изолированных кучках растительного материала, поддерживая его в качестве углей, чтобы разжигать новый огонь, и можно развести свежий огонь, высекая искры из богатых железом камней или нагревая древесину трением. Запахи огня затем стали запахами готовки, поддержания тепла, собирания в группы, отпугивания хищников, бодрствования ночью, загона дичи, расчистки кустарников и лесов для основания поселений и осуществления посевов, обитания в пещерах и раскрашивания их стен, то есть запахами человеческой деятельности. В течение сотен тысяч лет большинство людей чуяли бы дым каждый день от рождения до смерти.

И какой же пример огонь, должно быть, подал разумным животным с их растущей способностью размышлять о своем опыте! Жидкое, ускользающее, болезненно горячее и яркое видение, неуловимое, покрывающее травы, кусты, деревья и убегающих животных, поглощающее их субстанцию и в это же время посылающее в небо облака, затем исчезающее и оставляющее за собой пассивные пепел и гарь. Он предложил бы множество способов использования, но также множество идей: о нематериальных присутствиях, о колоссальных силах, о царстве, из которого спускается огонь и в которое поднимаются его пары, о сладко пахнущем дыме как способе общения с незримым.

Сегодня мы можем посмотреть с неба при помощи снимающих Землю спутников и увидеть сотни огромных огней, пылающих каждый день по всей планете, как природных пожаров, так и костров, разведенных *Homo sapiens*. Одни светятся, другие, как периодические подземные торфяные пожары в Индонезии, тлеют, заполняя весь регион удушающим дымом. Это вид, который был бы доступен

Шеф-повару космоса в течение последнего миллиона лет, когда он чуял бы, как летучие изобретения растительной жизни все сильнее перекрываются дымами их сожжения.

ЖИЗНЬ ОГНЯ: ДЫМ, ПЛАМЯ, УГЛИ

До этого момента в нашей хронике запахов мира летучие молекулы, ответственные за них, были образованы невидимо и неосознано по большей части живыми существами. Огонь проявляет создание запахов для всех наших чувств. Когда мы взираем на него и видим пламя и дым, слышим треск и шипение топлива, чувствуем пылающий жар углей, мы ощущаем испарение твердого тела жизни в полчище летучих молекул.

Показушный трюк с исчезновением задеиствует два основных процесса: один из них в основном вырабатывает летучие молекулы и запахи, другой в основном уничтожает их, и каждый зависит от другого для своего продолжения. Термин для деструктивного процесса, горения, знаком. Combustion происходит от латинского слова, обозначающего «сжигать» или «поглощать». Сегодня он обычно обозначает полную реакцию между кислородом и содержащими углерод органическими материалами, выдающую молекулы, которые не могут самопроизвольно окислиться дальше — непахнущий оксид углерода (IV) и пары воды, — вместе с достаточным жаром, чтобы этот процесс поддерживал сам себя. Хотя горение как таковое уничтожает летучие молекулы, его версия может в действительности вырабатывать запахи. В неполном горении недостаточно кислорода или жара для того, чтобы все топливо расщепилось до самого конца, до оксида углерода (IV) и воды, поэтому часть топливного углерода выживает в виде более длинных цепочек, колец или в скоплениях, которые мы называем сажей.

Менее знаком, чем горение, второй процесс сжигания, более креативный, названный пиролизом. Это термин, придуманный химиком девятнадцатого века, от греческих кор-

ней, означающих «огонь» и «ослаблять», или «отделять», или «высвободить». Пиролизом называют высвобождение фрагментов углеродных цепочек, когда органические материалы нагреваются до высоких температур без доступа кислорода. Тепловая энергия все еще расщепляет крупные углеродные молекулы на более мелкие, но она не окисляет их быстро до непахнущего газа и пара. Вместо этого фрагменты испаряются как летучие молекулы или слипаются друг с другом во все более крупные агломерации углеродных цепочек и колец. Доведенные до предельных значений, агломерационные пиролитические реакции вырабатывают формы твердого углерода — древесный уголь, уголь, графит, алмаз.

Чтобы понять роли горения и пиролиза в создании дыма, подумайте о разнице между зажиганием чистого газового пламени — на конфорке, или газовом гриле, или зажигалке — и разведением древесного костра. Предоставьте однократную искру струе газообразного метана, пропана или бутана, и избыливающий кислород с готовностью набрасывается на избыливающие углеродно-водородные молекулы, окисляя их полностью до оксида углерода (IV) и паров воды и вырабатывая энергию, чтобы продолжать нападение. Типичное горение. Однако предоставьте ту же самую искру куску древесины, и все, что вы получите, — это крохотную подпалину. Древесина не горит так же просто, как газ, потому что это твердая масса. Только ее поверхность подвергается прямому воздействию кислорода и жара искры — и жар быстро рассеивается древесиной под поверхностью.

Чтобы сжечь простую древесину, мы должны нагревать ее какое-то время с помощью уже горящей бумаги или растопки. В то время как поверхность обугливается, она нагревает подповерхностную древесину до нескольких сотен градусов, но гораздо ниже, чем поверхность, но достаточно горячо, чтобы инициировать процесс пиролиза. Подповерхностная древесина начинает расщепляться и вырабатывать летучие фрагменты, испаряющиеся в виде газов с поверхности

через поры в древесине, шипя при этом. Основные пиролитические газы представляют собой одноуглеродные молекулы — тот же самый метан, что и природный газ, плюс метанол и оксид углерода (II) — вместе с водородом и сульфидом водорода. Когда они достигают гораздо более горячей поверхности, кислород сжигает газы до оксида углерода (IV), воды и оксида серы (IV), высвобождая энергию, которую мы видим и чувствуем. Эта энергия продолжает нагревать древесину и вырабатывать еще больше пиролитических газов, чтобы подпитывать пламя. Таким образом, пиролиз и горение поддерживают друг друга.

Вместе с по большей части непахнущими основными газами пиролиз также вырабатывает следы более крупных фрагментов, которые мы можем учуять. Различные летучие молекулы возникают неравномерно, имеют разные температуры воспламенения, и время от времени им может не хватать находящегося поблизости кислорода или тепловой энергии, чтобы сгореть полностью до оксида углерода (IV). Запахи дыма возникают от изобилирующих свободных летучих молекул, избегающих полного сгорания.

Взаимодействие между горением и пиролизом облакает жизнь древесного огня в несколько разных фаз, каждая отмечена разными температурным спектром и набором химических преобразований, каждая вырабатывает летучие молекулы в разных пропорциях, каждая со своими собственными запахами. Вот они по порядку:

- От комнатной температуры до 200°C: испарение. Высвобождение свободной влаги и летучих молекул, уже присутствующих в древесине, например терпеноидов из хвойной древесины и ванилина и лактонов из дуба. Обостренные древесные запахи.
- Между 200°C и 250°C: медленный пиролиз. Постепенное высвобождение простых продуктов расщепления, не являющихся

легко воспламеняющимися, включая воду, оксид углерода (IV), муравьиную и уксусную кислоты. Резкие, уксусные запахи.

- Между 250°C и 500°C: быстрый пиролиз и воспламенение. Высвобождение изобилирующих легко воспламеняющихся летучих молекул, включая газообразный водород, моноксид углерода и метан, вместе с пахнущими молекулами и частицами скопившихся летучих молекул и твердых тел. Светящиеся поверхности, дым и дымные, сладкие, пряные запахи.

- Между 500°C и 1500°C: горение. Пламя, подпитываемое продолжающимся пиролизом и высвобождением летучих молекул, теперь включающим углеродно-кольцевые бензольные и фенольные молекулы, а также углеродно-кольцевых образателей сажи в регионах огня с низким уровнем кислорода или с низкой температурой. Все более резкая, смолистая, химическая дымность.

- Охлаждение ниже 600°C: тление. Угасающее пламя по причине снижающегося высвобождения легко воспламеняющихся пиролитических летучих молекул и снижающихся температур; высвобождается изобилирующий оксид углерода (II)*, часть воспламеняется на поверхности углей и нагревает их достаточно, чтобы они светились. Резкий, пепельный запах.

Таким образом, много чего происходит в этом завораживающем танце пиролитических газов, дыма и сажи! Для исследователя запахов суть дела — следующее: пламя ослепительное, но дымность рождена во тьме. Именно пиролиз и неполное горение вырабатывают самые разнообразные летучие молекулы в огненных парах и дыме и позволяют им выжить достаточно долго, чтобы мы их почуяли.

* Он же угарный газ.

ЗАПАХИ ОГНЯ: СЛАДКИЕ, ПРЯНЫЕ, ДЫМНЫЕ, СМОЛИСТЫЕ

Древесина и другие твердые растительные материалы горят неравномерно. В любой заданный момент у разных частей материала разная температура, разная подача кислорода, и они испускают разные летучие молекулы. Когда бы мы ни чуяли горящие растительные материалы, мы сталкиваемся со смесью всех молекул, перечисленных ниже, их колеблющиеся пропорции определяют характеристики, которые нам случается уловить. Основное исключение из этого правила — простая бумага, по большей части состоящая из целлюлозных волокон и пахнущая характерно сладко, когда она горит.

Запахи горящей древесины и других растительных материалов начинаются с крупных молекул, расщепление которых подпитывает пламя. Сухие растительные остатки состоят в основном из структур, поддерживавших вертикальный рост растений и удерживавших их живые клетки вместе.

Самые изобилующие структурные материалы — целлюлоза и гемицеллюлоза. Их строительные элементы — сахарные молекулы,

маленькие группы из пяти или шести углеродных атомов, связанных с равным количеством кислородных атомов. Целлюлоза и гемицеллюлоза содержат изобилие химически активного кислорода, встроенного в них, и они распадаются на ранних стадиях пиролиза, примерно 200°C для гемицеллюлозы и 300°C для целлюлозы. Они расщепляются по большей части на углеродные цепочки стартового набора и более мелкие углеродно-кислородные кольца. Среди них ярко выражены резкие, едкие кислоты и альдегиды, стандартные индикаторы расщепления микробами, а также жаром. Более приятны масляный запах четырехуглеродного, двухкислородного **диацетила** и хлебная, ореховая, сладкая нотки **фуранов**, **фуранонов** и **фурфурола**, пятиугольных колец с четырьмя углеродными атомами и одним кислородным. Мы уже порой встречали их в высушенных растительных материалах и в плодах, и мы снова встретим их во многих приготовленных продуктах, как и указывают их пахучие характеристики. Многие кулинарные методы — это версии пиролиза!

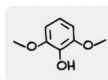
Другой основной растительный структурный материал, лигнин, состоит из шестигугольных углеродных колец, взаимно сцепленных в крупные похожие на медовые соты

Некоторые дымные запахи, образованные при низких пиролитических температурах

Составляющие запахи	Молекулы
эфирный, спирт	метанол
резкий	муравьиная кислота
химический, удушающий	формальдегид
едкий, уксус	уксусная кислота
едкий, свежий, зеленый	ацетальдегид
едкий, сырный	пропионовая кислота
едкий, раздражающий	акролеин (пропенальдегид)
прокисшее молоко, сырный	масляная кислота
масляный	диацетил
растворитель, землистый, солодовый, шоколад	фураны
хлебный, ореховый	фурфурол
сладкий, сено, кокос	ангеликалактон (фуранон)
карамельный, сладкий, горелый	другие фураноны

сети, сильные и устойчивые, лишь с малым количеством кислородных атомов. Для расщепления лигнина требуется больше энергии, чем для основанных на сахарах материалов, поэтому он подвергается пиролизу при более высоких температурах, 300°C и выше. Когда это происходит, он вырабатывает вариации своей основной кольцевой структуры.

Более характерные запахи огня и дыма возникают, когда эти шестиуглеродные бензольные кольца отщепляются от лигнина и отправляются в полет, неся с собой различные маленькие химические группы, выступающие с углов. Самый представительный запах самого дыма берется от колец, имеющих содержащие кислород украшения.

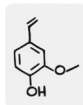


Сирингол, иносказательно названный в честь научного названия сирени, *Syringa*, редко встречается где-либо еще, помимо древесного дыма.



Гваякол также содержится в следовых количествах в материалах, которые никогда не нагревались сильнее, чем в теплый денек, включая дубовую древесину, секреты питающегося древесиной бобра (см. с. 374) и карибское гваяковое дерево, в честь которого он получил свое название. Сирингол обладает мягкой, сладкой, похожей на

смоле дымностью, в то время как дымность гваякола имеет мясной и пряный оттенки.



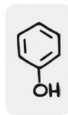
Есть еще несколько молекул гваякол-плюс, гваяколы с добавленным украшением в виде углеродной цепочки, склонные быть не просто дымными (этил- и **винил**- обозначают двухуглеродные украшения; пропил-, пропенил- и аллил- — трехуглеродные украшения). Одна из летучих молекул гваякол-плюс идентична главной летучей молекуле гвоздики — эвгенолу, а слегка модифицированная версия другой — ванилина, основной летучей молекуле в бобах ванили.

Очень конкретные пряные запахи от горячей древесины! Гвоздичное дерево и ванильная орхидея используют ферменты, чтобы строить эвгенол и ванилин как химические средства защиты, в то время как огонь, как это и случается, вышвыривает их в процессе расщепления растительного лигнина. Он почти наверняка делал это задолго до того, как на планете Земля появились гвоздика и ваниль. Когда они в конце концов в действительности появились, наш космический Шеф-повар описал бы их запахи как напоминающие дым. Для нас, одних из последних появившихся на Земле, ванильная и гвоздичная нотки обогащают запах древесного дыма своими пряными характеристиками.

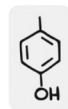
Некоторые дымные, пряные запахи, образованные при умеренных пиролитических температурах

Составляющие запахи	Молекулы
сладкий, дымный, бальзамический, медицинский, древесный	сирингол (гидрокси-диметокси-бензол)
медицинский, дымный, древесный, пряный, мясной	гваякол (гидрокси-метокси-бензол)
гвоздика, медицинский, карри	4-винилгваякол
бекон, гвоздика, дымный	4-этилгваякол
ваниль, дымный	3-,4-метилгваякол
гвоздика, пряный, сладкий	пропилгваякол
гвоздика	эвгенол (аллилгваякол)
гвоздика, сладкий, древесный	изоэвгенол (пропенилгваякол)
ваниль	ванилин (гидроксиметоксибензальдегид, гваяколметилальдегид)

При температурах древесины горячее, чем те, что вырабатывают избыточные сирингол и гваяколы, преобладающие запахи становятся горелыми, а не дымными и пряными, напоминающими каменноугольную смолу и антисептики. Более высокие энергии обрывают украшения кольцевых летучих молекул, оставляя им лишь одно содержащее кислород украшение. Бензольные кольца с одной гидроксильной (-ОН) группой называются **фенолами**.

 Сам **фенол**, названный от греческого «сияние», поскольку он был впервые обнаружен в осветительном газе, обладает запахом, который сладкий, но проникающий, напоминающий дезинфицирующее средство, пластиковый бандаж, спрей для горла и крема для натирания, потому что он содержится в них всех (см. с. 341). Добавьте углеродно-водородную метиловую группу, и вы получите метилфенолы, альтернативное название — **крезолы**, запахи которых зависят от того, к каким кольцевым углеродам прикрепляется метиловая группа. Один имеет медицинский и чернильный запах; другой — меди-

цинский и смолистый, но с похожей на кожу животной ноткой.



Третий обладает сильным, едким запахом, напоминающим животные экскременты в целом и конские конюшни в частности: он наиболее часто вырабатывается микробами в животных внутренних органах, когда они расщепляют аминокислоты (см. с. 38, 73). Фенол и крезолы порой описываются как «чернильные», потому что писчие чернила в течение долгого времени изготавливались из сажи, выработанной неполным горением различных органических материалов; ink (чернила) происходит от греческого «гореть».

Еще более оборванными, чем фенольные кольца, являются кольцевые летучие молекулы, у которых не осталось атомов кислорода, углеводороды **бензол**, **толуол**, **стирол** и **ксилол**, склонные появляться при температуре 800°C и выше. Все они обладают сладким, эфирным, «химическим» запахом, напоминающим растворители, потому что именно там мы их встречаем в их чистой форме: в веществах для снятия краски и лака, клеях и фломастерах.

Некоторые опьяняющие запахи, образованные при высоких пиролизических температурах

Составляющие запахи	Молекулы
растворитель, сладкий, пластик	бензол
растворитель, сладкий, пластик	толуол (метилбензол)
растворитель, сладкий, пластик	ксилолы (диметилбензолы)
растворитель, сладкий, пластик	стирол (винилбензол)



Некоторые смолистые запахи, образованные при высоких пиролизических температурах

Составляющие запахи	Молекулы
сладкий, смолистый, горелый, дезинфицирующее средство	фенол (гидроксибензол)
чернильный, медицинский	2-метилфенол (о-крезол)
смолистый, горелый, кожа	3-метилфенол (м-крезол)
конюшни, фекальный	4-метилфенол (п-крезол)
сладкий, смолистый, горелый	диметилфенолы
медицинский, сладкий	винилфенолы

Итак, запахи горячей древесины многочисленны и различны: смесь резкого и поджаренного, орехового и хлебного, дымного и пряного, смолистого, и медицинского, и опьяняющего — каждое качество приходит и уходит по мере того, как на пиролиз воздействуют воздушные потоки и смешивающиеся поленья. Их относительная выраженность также зависит от топлива. Древесина хвойных деревьев, часто называемая **мягкой древесиной**, может содержать меньше гемицеллюлозы и больше лигнина, чем **твердая древесина**, и она порой более плотная, что обычно означает более интенсивное горение и более высокие температуры. Лигнин мягкой древесины содержит более высокую пропорцию вырабатывающих гваякол структур; лигнин твердой древесины — больше вырабатывающих сириггол структур. В результате дым твердой древесины обычно более мягкий. Мягкая древесина типа сосны также имеет тенденцию гореть с большим количеством дыма и сажи от неполного горения ее терпеноидных смол.

Ценители барбекю и других видов обработанного древесным дымом мяса давно знали большую часть этого по опыту. Они тщательно выбирают древесину и управляют пиролизом различными способами, в частности ограничивая воздушный поток и кислород, чтобы поддерживать среднетемпературы, оказывающие предпочтение сладким, пряным и дымным летучим молекулам. Повседневные повара могут вырабатывать ароматный дым более просто, смачивая древесные щепы или неплотно заворачивая их в упаковки из фольги, чтобы препятствовать появлению пламени и стимулировать тление. На кухне древесину можно заменить смесью цельного зерна и чая, предоставляющих основанные на сахарах углеводы для поджаренных ноток и углеродно-кольцевые фенольные кислоты и танины для сладких, пряных и дымных (см. с. 390).

Когда мы сжигаем древесину в камине или копильне, почти вся она развеивается, как дым, остается лишь ничтожный пепел окисленных минералов. Однако, как обнаружили

некоторые из наших самых ранних предков, возможно поймать пиролитические летучие молекулы и применить их для бесчисленных целей. Это открытие принесло новый ориентирный запах, а также ориентирное достижение для созданий Героя-Углерода, такое, которое подняло его на новый уровень в космической игре сложности и предвидело большую часть последующих прорывов в органической химии.

ДЕКОНСТРУИРОВАННЫЙ ДЫМ: СМОЛА, ПЕК, СКИПИДАР, ГАРЬ

В конце 2001 года итальянские археологи обнаружили доисторические останки слона и других животных в Карьере Кампителло, недалеко от реки Арно к юго-востоку от Флоренции. Участок, судя по всему, был погребен осадочными образованиями примерно две тысячи лет назад. Рядом с костями лежали три заостренных осколка кремня, судя по всему, каменные инструменты, сделанные нашими неандертальскими кузенами для охоты или разделки туш. Два из них были покрыты на одном конце тонким слоем твердого черного материала. Эти маленькие пятна, возможно, являются одним из самых ранних свидетельств того, как человеческое семейство преобразовало один природный материал в совершенно другой и полезный материал. И они отмечают введение нового семейства запахов в повседневную жизнь. Черные пятна оказались древесной смолой.

В наши дни смола (деготь) часто обозначает черный, липкий, сильно пахнущий материал, получаемый из нефти или угля, но слово *tar* происходит от того же корня, что и *tree* (дерево), и, строго говоря, обозначает черное, липкое, сильно пахнущее вещество, получаемое из деревьев. Ее запах характерный, отличный от нефтехимической смолы, дымный и «горелый». Как и предполагает регистр дымных летучих молекул, **древесная смола** богата крезолами и по факту была материалом, который привел к их открытию задолго до того, как они были обнаружены в дыме.

В 1832 году немецкий химик Карл Райхенбах извлек из буковой смолы бесцветную жидкость, пахнувшую как копченое мясо; он назвал ее креозот от греческих слов «плоть» и «беречь». Позже химики обнаружили в этой жидкости несколько индивидуальных веществ и назвали некоторые из них крезоломи. Креозот Райхенбаха стал обозначать как экстракт смолы, применяемый для сохранения деревянных железнодорожных шпал, столбов связи и тому подобного, так и опасным образом легко воспламеняющиеся отложения, оставшиеся в дымоходах каминов.

Накопление креозота в дымоходах предполагает, как ранние гоминиды сумели добыть смолу из древесины и коры. Если горячие пары частичного горения натапливаются на относительно прохладную поверхность, прежде чем они рассеются в открытом воздухе — например, на стенку дымохода, — тогда часть их компонентов сконденсируется в жидкую пленку на этой поверхности. Археологи строят предположения, что неандертальцы заметили липкие черные отложения на нависавших над кострищами камнях после сжигания березовой коры или то же самое вещество, вытекавшее из обрывков коры, оставшихся похороненными в пепле. Затем они умышленно способствовали образованию отложений, соскребали и использовали их.

Ранние изготовители смолы обрабатывали ей каменные инструменты, чтобы их легче было ухватить, и приклеивали каменные наконечники к деревянным копьям и рукояткам, создавая первые составные инструменты. Позднее крупномасштабное производство использовало ее для обработки водонепроницаемых одежды, контейнеров и убежищ; благодаря ее похожим на масло молекулам углеродных цепочек смола не смешивается с водой. Твердый осадок, оставшийся после изготовления смолы, — это то, что мы называем древесным углем, который горит более чисто, чем древесина, и куда лучше подходит для выплавки чистых металлов из окисленных медных и железных руд. Переведите часы вперед до поздних доисторических времен, когда

люди по всей Евразии вырубали и подвергали пиролизу обширные территории лесов для изготовления древесного угля и смолы. Мореходная минойская цивилизация Крита и финикийская культура северной Африки использовали массивные количества смолы для покрытия своих деревянных кораблей.

К римским временам было два стандартных способа изготовления смолоподобных материалов из древесины, и они вырабатывали разные запахи. Одним способом было нагреть любую древесину до пиролитических температур в бедной воздухом обжигательной печи с трубами, конденсировавшими и доставлявшими летучие молекулы наружу. Вторым способом было начать со смолистых деревьев, типа хвойных и терпентинного, родственника фисташки, порезать их и собрать вытекающую смолу, а затем варить смолу до тех пор, пока она не станет вязкой и черной. При отсутствии пиролиза богатого фенольными молекулами лигнина этот пек пах в основном терпеноидами смолы и продуктами их расщепления.

Римский натуралист Плиний также описал коллекцию самых летучих компонентов смолистого пека в процессе варки: «В то время как поддерживается кипение пека, над паром, поднимающимся от него, расстилаются облака-барашки, а затем выжимаются». Выжатым «пековым маслом» было то, что мы сейчас называем **скипидаром**. Летучие молекулы могут составлять больше трети объема хвойной смолы, и среди них обычно преобладает пинен с малыми количествами других «терпко» пахнущих терпеноидов — мирцена, фелландрена, камфена, терпинена. Когда смола нагревается, более мелкие летучие терпеноиды испаряются, и их можно собрать в качестве скипидара, в то время как более крупные нелетучие ди- и три-терпеноиды сгущаются в более плотную, более липкую массу, которая затвердевает, когда остывает. Сегодня эта остаточная канифоль предоставляет ухватистость скрипкам и балеткам, а также рукам гимнастов, бейсболистов и танцующих у шеста стриптизерш; будучи подростком,

Некоторые запахи древесной смолы и скипидара

Материал	Составляющие запахи	Молекулы
древесная смола	дымный, сладкий, пряный, бекон; смолистый, дезинфицирующее средство, конюшни	гваяколы; фенол, крезолы, ксиленолы
скипидар	сосна, смолистый, растворитель	пинен, мирцен, фелландрен, камфен, терпинен

я наслаждался ее парами от расплавленного трубчатого припоя с канифолью, когда я монтировал свой собранный из деталей стереомагнитофон.

Вместе с дымом древесные смолы и скипидар преобладали в запахах повседневной жизни в Евразии в течение тысяч лет. Они были так критически важны для поддержания деревянных кораблей, что английские моряки были известны по прозвищу Джек Тар или просто Тар (tar — смола, деготь), а смола и скипидар — как корабельные запасы, их изготовление было основной промышленностью в богатом соснами скандинавском регионе и на американском юго-востоке. Скипидар был первоначальным универсальным жидким углеводородом, пахнущим на открытом воздухом, чистящим средством для удаления жиров и сала, основой и растворителем краски, лака и воска, ламповым топливом, репеллентом от вредителей, дезинфицирующим средством и лекарством как от внутренних, так и от кожных болезней — даже, благодаря сосновым терпенам, общим с ягодами можжевельника, готовым ароматизатором для дешевого джина!

Хотя сегодня он стал по большей части замещен нефтехимическими углеводородами, истинный скипидар и чистящие средства из соснового масла все еще можно найти и понюхать. Оставшееся в прошлом преобладание корабельных запасов выживает, и это особо заметно в скандинавских странах, где они когда-то покрывали корабли викингов, затем деревянные церкви, затем стали важными экспортными товарами. Дегтярная (смоляная) вода все еще используется в

Финляндии в лекарственных средствах, как ароматизатор для саун и вкусовая добавка ко многим различным продуктам, от мяса до мороженого и ликеров. Несколько лет назад, после зимнего обеда в знаменитом ресторане Fäviken в лесной дикой местности центральной Швеции, я сидел у камина, излучавшего свет, тепло и дымность, и жевал пастилки из черной смолы, сперва с сомнением, затем наслаждаясь своим погружением в жизнь после смерти деревьев.

ПОДЗЕМНЫЕ ТОПЛИВА: БИТУМ, НЕФТЬ, УГОЛЬ

В то время как наши ранние родственники в Европе использовали огонь для превращения древесины в смолу, другие на Среднем Востоке обнаружили, что Земля уже проделала за них почти ту же самую работу. Примерно восемьдесят тысяч лет назад гоминиды в современной Сирии обнаружили смолоподобное вещество, вытекающее из земли, и пронесли его десятки миль, чтобы использовать как клеящее вещество для своих каменных инструментов. Где-то восемь тысяч лет назад месопотамские торговцы в современном Кувейте оставили после себя кусочки похожего материала с отпечатками тростниковых лодок и веревок, которые они когда-то покрывали. Эти древние останки предзнаменовали исчезновение древесной смолы и скипидара из современного мира и их замену схожими и более изобилующими материалами из-под земли.

Большая часть Среднего Востока засушлива и бедна деревьями, но богато одарена

просачиваниями на поверхность **нефти** и смолоподобной жидкой грязи, известной как **битум** или **асфальт**; то, что мы знаем как Мертвое море, было известно ранним греческим географам как *Thalassa Asphaltites*, Асфальтитовое море. Именно битумом жители Месопотамии и их преемники склеивали и защищали от воды свои контейнеры, жилища и лодки, включая легендарные ковчеги, которые шумерский Утнапиштим и семитский Ной построили, чтобы благополучно перенести первобытный Великий потоп. Битум покрывал улицы и канавы в древних городах, а нефть сжигалась как ламповое масло; оба отгоняли вредителей от финиковых пальм и виноградных лоз, сохраняли мумий (и называли их, через древнее персидское обозначение битума, мумийа) и использовались в качестве лекарств. Просачивания на поверхность нефти и битума нередки, и их часто путали с древесной смолой и древесным пексом (испанское *brea*); многословно названный район битумных озер Ла-Бреа-Тар-Питс — зловонное разлитие подземного содержимого в сердце современного Лос-Анджелеса. В Китае более тысячи лет назад уголь сжигался в домах и процессах плавки, чтобы заменить все более скудную древесину; поэт Су Ши назвал его «черным жадом» и написал, что благодаря ему «в южных горах каштановые леса теперь снова могут дышать».

Нефть, уголь и природный газ известны как ископаемые топлива, потому что их в основном используют в качестве горючих энергетических источников для печей, машин и электростанций; вес за вес, они предоставляют куда больше тепла, чем древесина и другие не подвергавшиеся тепловой обработке органические вещества. Однако «топливо» покрывает лишь часть их значимости. Они индуцировали наше понимание Героя-Углерода и продолжают давать нам многие из материалов и запахов современной жизни. Лучше назвать их, а также битум **ископаемыми органическими веществами**.

Ископаемые органические вещества возникли несколько миллиардов лет назад, когда

воды Земли впервые заполнились жизнью. Массы клеток опадали на дно океанов и озер и были похоронены в безвоздушных осадках эродированной континентальной горной породы. Осадки постепенно росли до толщины в сотни и тысячи ярдов, и их часть затянуло под континенты, которые оказали еще большее давление на органические останки и подтолкнули их ближе к горячему ядру планеты. Параллельный процесс начался после того, как растения колонизировали сушу, где ранняя растительность вдоль береговых линий опадала в неглубокую воду и сформировала безвоздушные болота, которые затем были прогрессивно погребены.

Ископаемые органические вещества — продукт экстремальной шахтовой готовки. Шахты находятся под нами на глубине от одной до пяти миль (от двух до десяти километров), подвержены влиянию атмосферного давления в коэффициенте нескольких тысяч и поддерживают температуры между 60°C и 300°C, эквиваленты стейка с кровью и горячей домашней печи. Комбинация умеренного тепла и экстремального давления оказывает достаточную нагрузку на углеродные цепочки растительной материи, чтобы расщепить их, подвергнуть их пиролизу без пламени. По прошествии от миллионов до миллиардов лет глубокое захоронение преобразует первоначальные сложные молекулы жизни в сложные смеси относительно простых молекул, сделанных из углерода, водорода и всего лишь щепотки кислорода и других элементов. Относительно неглубокие и прохладные шахты заполняются жидкой нефтью, вязким битумом и мягким битуминозным углем, в то время как более глубокие и более горячие шахты накапливают твердый антрацитовый (каменный) уголь и природный газ.

Ископаемые органические вещества состоят из простых углеродных цепочек различной длины, разнообразных колец со случайными двойными связями и украшениями, колец бензольного семейства с шестью углеродами, образующими двойные связи друг с другом, похожими на медовые соты агрега-

тами, включающими в себя от двух до многих десятков колец, связанных друг с другом. Самые маленькие агрегаты типа двухкольцевого нафталина летучие, в то время как самые крупные, асфальтовые вещества, похожи на сажевые частицы в древесном дыме. Нефть примерно на три четверти состоит из простых цепочек и разнообразных колец, на одну пятую — из колец бензольного семейства, а также на несколько процентов — из твердых битумных веществ. Твердый битуминозный уголь может все еще содержать четверть маленьких летучих молекул по весу; каменный уголь — одну десятую.

Эти созданные планетой посредством пиролиза органические вещества имеют некоторое сходство с созданными огнем посредством пиролиза дымом и смолой. Они содержат некоторые из тех же самых летучих молекул, в частности смолистые крезолы. Но им недостает дымно-сладких гваяколов. И ископаемые органические вещества куда более обильно одарены простыми углеводородными цепочками и разнообразными кольцами. Мы опознаем эти молекулы как пахнущие газOLIном или растворителями, потому что именно так мы встречаем их в повседневной жизни, извлеченными из неочищенной нефти и использованными таким образом, каким когда-то использовали скипидар: в качестве **топлива, осветительных жидкостей, чистящих средств** и т.п.

Самые короткие углеводородные цепочки, **метан** (природный газ), **этан** и **пропан**, — это газы при обычных температурах и, по

существу, не имеют запаха, то есть у нас, похоже, нет рецепторов, предназначенных для их обнаружения. (Они ароматизируются для безопасности следами пахучих серных соединений.) **Бутан**, с четырьмя углеродами, имеет слабый газолиновый запах, **гексан** — более сильный. Восьмиуглеродный **октан** знаком как стандарт для оценки характеристики топлива в автомобильных двигателях внутреннего сгорания, и он пахнет как газOLIн. Следующие несколько цепочек, включая смесь под названием **керосин**, имеют более масляные, более тяжелые топливные запахи. С тетрадеканом похожая на газOLIн характеристика начинает уступать место слабой восковой характеристике, а цепочки гораздо длиннее этого слишком крупные, чтобы быть летучими.

Неочищенные ископаемые органические вещества также содержат избыточные бензоиды без кислорода, являющиеся лишь следовыми компонентами древесного дыма. **Бензол, толуол, стирол** и **ксилол** — типичные компоненты растворителей, и у них общая сладкая эфирная характеристика. Менее знаком, чем когда-то раньше, двухкольцевой, десятиуглеродный **нафталин** — от naphtha, еще одного древнего термина для неочищенной нефти, — когда-то часто используемый в шариках от моли до тех пор, пока не было обнаружено, что он токсичен. Но версия с тремя метиловыми украшениями, сокращенно **TDM** (от **триметил-дигидро-нафталин**), — важная летучая молекула в более старых винах сорта рислинг, где она вкладывает то, что часто

Некоторые летучие молекулы, обнаруженные в нефти, битуме и угле

Молекулы	Запахи
пропан, бутан (C_3, C_4)	нет
пентан, гексан, гептан (C_5, C_6, C_7)	растворитель
октан, декан (C_8, C_{10})	газOLIн, керосин
бензол (C_6 кольцо)	растворитель, сладкий
стирол, толуол, ксилол (C_6 кольцо + C_1, C_2 цепочки)	растворитель, сладкий, клей, пластик
нафталин (C_{10} двойное кольцо)	керосин, шарики от моли

описывается как керосиновая характеристика, это редкий пример того, как «химический» запах ценится в продуктах и напитках.

Итак, в запахах ископаемых органических веществ преобладают похожие на растворитель, топливные, смолистые и медицинские летучие молекулы. Многие из них кажутся нам скорее «химическими» или «промышленными», чем «естественными», но они вырабатываются из живых организмов силами столь же естественными, как и природный пожар. Их извлечение из угля и нефти оказалось ключом к открытию обширного мира летучих молекул, естественных и созданных человеком.

ДЕКОНСТРУИРОВАННЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА: ГАЗЫ, КЕРОСИН, КАМЕННОУГОЛЬНАЯ СМОЛА

Уголь был казавшейся малообещающей черной массой, в которой человеческий разум впервые мельком увидел убедительное доказательство невидимой, неосязаемой, летучей материи, заполняющей воздух вокруг нас. Фламандский химик семнадцатого века Ян Баптист ван Гельмонт каким-то образом умудрился сжечь заполненную углем лампу в воздухонепроницаемом контейнере. Он сообщил, что совокупный вес контейнера не изменился, но, когда он открыл его, он обнаружил только малый осадок твердого пепла. Невидимый остаток он описал как *spiritus sylvestris*, или «дикий дух»: дикий, потому что он сопротивлялся заключению и стремительно вылетел наружу, когда контейнер был открыт, «дух», потому что он казался неосязаемой эссенцией угля. Он назвал эту невидимую форму материи газом, возможно от греческого *khaos* — первобытное, неорганизованное состояние материального мира — или от фламандского *gest* или *geesen*, что могло значить «дух», или газообразующая «ферментация», или «дрожжи».

Как только было продемонстрировано существование невидимой парящей в воздухе

материи, химики и инженеры обнаружили, что из угольных шахт просачивались газы, что они были легко воспламеняющиеся, что их можно было вырабатывать по собственной воле посредством пиролиза угля. Примерно к 1800 году шотландский инженер по имени Уильям Мердок разработал систему печей, труб и ламп для освещения манчестерской хлопчатобумажной фабрики горящим угольным газом. Он сообщил, что «характерные мягкость и чистота этого света, с его почти неизменной интенсивностью... освобождают от неудобств и опасностей, возникающих в результате искр и частого потухания свечей». В 1850 году в одной только Британии «городской газ» из шести миллионов тонн угля освещал улицы и здания по всей стране. Он также оставил за собой тонны пиролитических побочных продуктов: коксованный уголь, или кокс — дар для литейщиков металлов, — и каменноугольную смолу, «презираемый побочный продукт» эпиграфа этой главы от профессора Робинсона.

Такая же история развернулась и для нефтехимических продуктов. Жидкие разновидности битума, известные как нафта (лигроин), использовались в древности на Среднем Востоке как ламповое масло. К девятому веку арабские химики нагревали нефть и собирали ее пары, конденсировавшиеся, когда они охлаждались, в разбавитель и более чисто горящее масло. Такой вид очищенной нефти был назван канадским геологом Аврамом Геснером керосином, разработавшим систему, чтобы вырабатывать его в больших объемах, и примерно в 1850 году он начал замещать скипидар, животные жиры и китовый жир в бытовых лампах по всей Северной Америке и Европе. Примерно в это же самое время шотландский химик Джеймс Янг успешно выделил похожее на керосин ламповое масло как из нефти, так и из угля и обнаружил, что менее летучие материалы, оставшиеся после этого, выдавали полезные масляные и восковые фракции.

Когда нефть стала более доступной, начиная с нефтяного бума в Пенсильвании в

1859 году, специалисты по нефтепереработке быстро научились, как отделять многие из ее компонентов друг от друга, и разработали нашу современную панопию пахучих нефтехимических видов топлива, растворителей и смазочных материалов. Спустя всего лишь пару десятилетий статья в выпуске журнала The Century Magazine за июль 1883 года любезно перечислила десять продуктов, тогда — и сейчас — выделяемых из нефти, в порядке от наиболее до наименее летучего.

«1-й, риголен [в основном пентан], используемый в качестве местной анестезии [путем заморозки]; 2-й, газолин, используемый в механизмах, работающих на промышленном газе; 3-й, 4-й и 5-й, три сорта нефти, используемые для смешивания красок и лаков и растворения смолы; 6-й, керосин, стандартное осветительное масло в коммерции; 7-й, минеральное спермацетовое масло, более тяжелое масло для сжигания в лампах, применяемых на пароходах и железных дорогах; 8-й, нефтяное смазочное масло для механизмов; 9-й, парафин, из которого делают свечи; и 10-й, парафиновый воск. Еще есть остаток, обычно называемый каменноугольной смолой».

Нафты сейчас называют бензин-растворителем (уйит-спирит) или растворителем краски, а керосин — это главным образом топливо, в частности для реактивных самолетов. Каждый из этих нефтепродуктов — набор углеродных цепочек и колец конкретных размеров и структур. Самые маленькие — это самые летучие и самые легко воспламеняющиеся структуры, среднего размера — более вязкие, менее легко воспламеняющиеся, и с ними проще обращаться и держать их под контролем. Самые крупные расплавляются только при нагревании и воспламеняются только при очень высоких температурах, как кончик свечного фитиля.

Сегодня нефтехимические заводы могут «крекировать» крупные ископаемые органические молекулы на более мелкие, вырабатывать более крупные молекулы из одноуглеродного природного газа и вообще производить любую смесь по заказу. Запах данного нефтехимического продукта зависит от содержания в нем летучих коротких цепочек и маленьких колец. Например, недорогой бензин-растворитель включает значительные (и потенциально токсичные) количества углеводородов бензольных колец и обладает силь-

Некоторые материалы, выделенные из ископаемых органических веществ

Ископаемые органические материалы и запахи	Типичные длины углеродных цепочек
метан, природный газ (добавлен серный запах)	C_1
пропан, бутан, сжатые печные газы (порой добавлен серный запах)	C_3-C_4
газолин	C_4-C_{12}
нафта, лигроин	C_5-C_{12}
бензин-растворитель, уйит-спирит, растворитель краски, нефтяной дистиллят, жидкость для розжига древесного угля	C_6-C_{12}
керосин, реактивное топливо	C_6-C_{16}
дизельное топливо	C_8-C_{21}
минеральное масло (нет запаха)	C_{15}
нефтяной вазелин (нет запаха)	C_{25}
парафин (нет запаха)	$C_{20}-C_{40}$
смола, креозот, асфальт, битум	C_4-C_{100}

ным запахом растворителя, в то время как версии, изготовленные специально для маляров и долгих периодов подвергания воздействию, могут быть почти что непахнущими. Минеральные масла, технические вазелины и парафины дезодорируются для использования в косметике и мазах, пищевых оболочках и свечах.

Продукт, выделяющийся в этом списке топлив, растворителей и смазок, — это «остаток»: каменноугольная смола, презируемый побочный продукт, вырабатываемый тоннами в ранние годы газового освещения, для которого находились кое-какие применения. Она дополняла или заменяла древесную смолу в промышленности, в лесоматериалах для железных дорог, в канавах и на крышах, а также в некоторых из первых содержащих наполнитель дорожных покрытиях, где она скрепляла дробленый камень в подобие природного битума. Как и древесная смола до нее, каменноугольная смола тоже считалась лекарством от всех болезней, начиная с кожных заболеваний и кончая пищеварительными расстройствами; она все еще содержится в сильно пахнущих мылах и шампунях, предназначенных для лечения различных кожных заболеваний.

Но каменноугольная смола оказалась чем-то куда большим, чем незначительно полезный остаток, — по этой причине профессор Робинсон и нахваливает ее как сундук с сокровищами, «волшебный перегонный куб», источник здоровья и богатства. Человеческая изобретательность снова это сделала. Точно так же, как она разобралась, как извлекать смолу и скипидар из древесины, осветительный газ из угля и керосин и газолин из нефти, так она разобралась, как извлекать экстракты из этих экстрактов и их остатков, и отделила их друг от друга на компоненты.

На этот раз некоторые из извлеченных компонентов уже больше не были сложными смесями: они были индивидуальными химическими соединениями, впервые отделенными друг от друга. Исследователи каменноугольной смолы и осветительных масел были в числе первых аватаров Героя-Углерода, по-

нюхавших его специфические кольца и цепочки. Они дали этим соединениям названия, по которым мы все еще их знаем, и спровоцировали поколения исследований летучего мира, результаты которых наполняют эту книгу.

НЮХАНЬЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ

Первое смутное подозрение о самом существовании Героя-Углерода возникло в конце восемнадцатого века, когда французские химики продемонстрировали, что три совершенно разных материала — древесный уголь, графит и алмаз — вели себя одинаково и просто в процессе горения и, таким образом, вероятно, состояли из одного и того же основного материала. Они назвали этот стандартный элемент *carbone*, от латинского «уголь» или «древесный уголь»; в немецком это был *Kohlenstoff*, буквально «вещество угля». В течение последующих десятилетий химики по всей Европе постепенно усовершенствовали свои методы разделения сложных материалов на их компоненты. Во Франции Мишель Шеврель извлек кислоты стартового набора из животных жиров посредством приготовления из них мыла и стал первым, кто понюхал их сырную и козлиную характеристику без примесей (см. с. 85). Но самым эффективным общим методом для извлечения летучих молекул была и остается дистилляция, основные принципы которой уходят корнями во времена изготавливавших смолу неандертальцев: нагреть материал, собрать его летучие пары, затем охладить и сконденсировать пары в жидкость. Ранние специалисты по углеродной химии аккуратно контролировали нагревание и охлаждение, повторно дистиллировали и начали извлекать ранее неизвестные компоненты из древесин, смол, дегтей, скипидара, масел. Часто они обнаруживали их присутствие по их характерным запахам.

Возьмем горстку углеводородов бензольных колец, ставших основными элементами современной химической промышленности.

В 1825 году, анализируя остаток, вырабатываемый, когда осветительный газ изготавливался из китового жира и топленого говяжьего, и бараньего жира, Майкл Фарадей изолировал кристаллы, «имеющие запах, напоминающий запах нефтяного газа и также отдающий запахом миндаля». Та же самая субстанция позже была извлечена в изобилии из каменноугольной смолы и названа **бензолом** за ее химическую родственность знакомой бензойной кислоте в ценной древесной смоле бензоине (см. с. 153); образец Фарадея, вероятно, включал следы пахнущего экстрактом миндаля бензальдегида. **Толуол**, бензолное кольцо с одним метиловым украшением, был впервые обнаружен в сосновом дистилляте польским химиком, затем в 1841 году французским химиком в толуанском бальзаме, ароматическом продукте выделения дерева родом из Южной Америки. **Стирол**, с двухуглеродным украшением, был извлечен в 1839 году из дерева ликвидамбара, источника американской версии бальзама, известного как сторакс (см. с. 153), и описан как обладающий «таким же не то чтобы неприятным запахом сторакса». **Ксилол** был извлечен в 1850 году из коммерческого древесного спирта, назван от греческого корня, обозначающего «древесина», и описан как «ароматный» по запаху. Все эти названия звучат как синтетические химические вещества, но по факту они все извлекаются из природных материалов.

Эти углеводородные кольца в конце концов нашли множество применений, но пара колец с гидроксильными (кислородно-водородными) украшениями была более немедленно полезна и ответственна за многие дезинфицирующие и медицинские применения, для которых давно использовались смолы и дым. Вспомните, что дымно-смолистые **крезолы** были обнаружены в **креозоте**, «сохраняющей плоть» жидкости, дистиллированной из древесной смолы в 1832 году немецким химиком Карлом Райхенбахом. Райхенбах использовал свой креозот, чтобы сварить первую задокументированную и попробованную на вкус версию жидкого дыма:

«Его запах проникающий и неприятный, но не зловонный. На расстоянии многие люди находят его похожим на [бобровый] кастореум... Однако вблизи... я частично ощущаю запах копченого мяса... Свежее мясо, помещенное в креозотовую воду на полтора часа, может висеть, не сгнивая. Когда я повесил несколько кусочков говядины под июльским солнцем... мясо совершенно высохло за 8 дней, стало твердым, хрупким, поглотило приятный запах хорошо прокопченного мяса... Люди, совершившие многочисленные морские путешествия, сочли его очень вкусным».

Десятилетие спустя популярные писатели рекомендовали окунание в креозотовую воду как альтернативу курению. Скоро другие химики опознали индивидуальные летучие молекулы в жидком креозоте, включая крезолы и гваякол. Как и древесная смола, креозот считался панацеей; дожившее до наших дней лекарство от кашля под названием «Креомульсия» — это в самом деле сильное лекарственное средство.

Самое важное украшенное гидроксильной группой бензолное кольцо — это **фенол**. Это современное название для молекулы, извлеченной в 1834 году на фабрике по производству газа из угля недалеко от Берлина Фридрихом Рунге, который назвал ее «угольно-масляная кислота» и «карболовая кислота» и описал ее как обладающую горелым запахом и необычайной силой дезодорировать и сохранять; карболовая кислота «лишает разлагающуюся животную плоть, типа мяса, ее зловония, как только на нее выливается водной раствор. Но это, похоже, не идентично дымному принципу, потому что такое мясо на вкус омерзительно».

И в самом деле омерзительно! Запах фенола сейчас напоминает дезинфицирующие средства и дезинфицированные помещения, больницы и общественные туалеты: ассоциации, возникающие от развития событий по всей Европе, как только изобильный фенол был произведен из каменноугольной смолы. В 1850-х годах практические химики ста-

ли применять фенол для бальзамирования, очистки воды и дезодорирования и дезинфицирования канализационных вод и конюшен. В 1860-х годах врачи рекомендовали его использование для обработки ран и порезов и для мытья хирургических поверхностей и инструментов. В 1865 году хирург из Глазго Джозеф Листер использовал его для предотвращения обычно смертельной инфекции пронзившего кожу перелома ноги мальчика, которого переехала повозка, и посредством своей публичной пропагандистской деятельности поспособствовал открытию новой эпохи антисептической хирургии. В наши дни фенол трудно найти в пахучих количествах в лекарственных средствах, по большей части по причине его эффективности: он сильно химически активен и имеет тенденцию окислять любую углеродную цепочку или кольцо, к которым он прикасается, включая ткани, обрабатываемые им. Ему на замену пришли другие более избирательные антисептики.

Эти две группы молекул, углеводороды бензольных колец и украшенные гидроксильной группой бензольные кольца, — малый образчик летучих молекул, впервые извлеченных и понюханных основополагающими поколениями органических химиков. Были также похожие на газолин углеводороды типа гексана и октана; анализ «скипидарного масла и многочисленных углеводородов, содержащихся в нем, которые можно в общем назвать **терпенами**», как нарек их в 1860-х годах немецкий химик Август Кекуле; и ключевые летучие молекулы многих пряностей и душистых трав, кумарин бобов тонка и ванилин ванили в числе самых ранних.

Из различных материалов, предоставлявших извлеченные летучие молекулы, каменноугольная смола была особенно ценна за совершенное благодаря ей открытие, что простые нагревание и давление могли выработать полезные углеродные молекулы из органической материи, таким образом, мы могли бы делать то же самое в лаборатории и на заводе. Как Август Вильгельм фон Гофман, именитый директор — основатель Королевского

колледжа химии в Лондоне, написал в своем отчете за 1849 год:

«Именно из-за этой цели изучение метаморфоз органических соединений имеет такое большое значение. Это не полчище новых субстанций, которые мы постоянно открываем, так сильно нас интересует, а новые методы действия, при помощи которых мы можем имитировать, для наших специальных целей, образующие силы природы».

Эти новые методы действия были зрелищно успешны, причем настолько, что молекулы каменноугольной смолы и родственные продукты современной химии сейчас слоняются без дела в летучем фоне почти каждого часа, когда мы делаем вдох.

ЛЕТУЧИЕ МОЛЕКУЛЫ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ: ПЛАСТМАССЫ И РАСТВОРИТЕЛИ

Из всех специальных целей, которые преследовали органические химики, одна была имеющей особенно широкое применение: разрабатывать новые материалы для создания вещей. Созидание лежит в основе человеческого существования, и наш вид создал свою поразительно богатую материальную культуру, манипулируя сырьем, предоставленным Землей. Это широкий набор запасов — минералы и металлы, растительные волокна и древесины, животные кость и кожа, пчелиный воск и коконы гусеницы-шелкопряда, — но каждый объект предопределен очень характерными свойствами. Что, если бы мы могли создать свои собственные материалы с какими угодно свойствами, как мы захотим? Органическая химия сделала именно это, начиная с простых колец и цепочек ископаемых органических веществ. Результатом стало создание новых форм Героя-Углерода, которые сейчас проникают в повседневную жизнь и косвенно ароматизируют ее.

Эти новые формы — **пластмассы**, твердые материалы, которым можно придавать

фактически неограниченные формы и степени плотности, от тонких тянущихся кухонных пленок до прочных частей корпусов самолетов. Большинство пластмасс изготавливаются посредством того, что маленькие углеродные кольца или цепочки заставляют связаться друг с другом в крайне длинные молекулы под названием полимеры, от греческого *poly-* — «много» и *meros* — «часть». Полимеры, в свою очередь, связываются друг с другом, образуя крупные твердые сети.

Растения изготовили пластмассы раньше химиков. Ароматическая смола сторакс дерева ликвидамбара — это жидкость, вытекающая из раны, но затем ее же стирольные кольца делают ее твердой, связываясь друг с другом и образуя **полистирол**, пластик, сейчас производимый тоннами для изготовления контейнеров для еды навынос, упаковочных материалов и игрушек. Есть еще каучук, полимерная залатывающая раны жидкость дерева родом из тропической Южной Америки. Этот молочный латекс богат изопреном, пятиуглеродным терпеноидным родственником, который деревья испускают в огромных количествах, а животные — в следовых (см. с. 178, 100). Другие молекулы в латексе побуждают изопрен образовывать полимерную сеть, которая получается эластичной, а не жесткой, ценное свойство в применениях, охватывающих диапазон от автомобильных шин до хирургических перчаток.

Уже в 1850-х годах химики изготавливали пластиковые материалы, используя природные полимерные цепочки целлюлозы от растительных волокон; целлулоид, целлофан и вискозное волокно — все принадлежат этому семейству. Первая целиком и полностью синтетическая пластмасса возникла несколько десятилетий спустя с открытием того, что, когда углеродно-кольцевой фенол и одноуглеродный формальдегид нагреваются вместе, они образуют смолоподобное твердое вещество; формальдегид сцепляет кольца вместе в полимеры. Эта фенольная смола стала коммерчески конкурентоспособной примерно в 1907 году, когда бельгийско-американский

изобретатель по имени Лео Бакеланд догадался, как ее производить. Его **бакелит** использовался для изготовления лаков, электрических и автомобильных частей, бильярдных шаров, ювелирных украшений и многого другого. Ранние бакелитовые объекты стали коллекционными предметами, их подлинность подтверждена отчасти следовыми запахами фенола и формальдегида, которые они испускают, когда их медленно нагревают. Сегодня эта характерная комбинация наиболее знакома по электронным печатным платам; я чувствую ее, пока я печатаю этот параграф, когда я обновляю клавиатуру моего теплого ноутбука.

Успех бакелита вдохновил на изобретение других синтетических смол, и сегодня несколько десятков видов вплетаются в нашу повседневную жизнь: полимеры похожих на стирол углеродных колец (полиуретан, полиэстер, поликарбонаты), похожих на изопрен коротких цепочек (полиэтилен, поливинилхлорид, нейлон, акриловые полимеры) и гибридов (бутадиен-стирольные каучуки, или SBR; акрилонитрил-бутадиен-стирольные пластмассы, или ABS). Сырье для этих смол может быть изготовлено непосредственно и дешево из ископаемых органических веществ — нет нужды ни в каких деревьях. Пластмассы того или иного вида содержатся в памперсах, бутылочках и детских зубных кольцах для младенцев, в игрушках, в одежде и обуви, в полах, коврах, стенах и мебели, в контейнерах и упаковках, в электронных приборах и в наших автомобилях — везде! И все они испускают летучие молекулы, порой неощутимо, порой зловонно.

Сами полимеры слишком крупные и взаимосвязанные, чтобы быть летучими. Но уголки и закоулки между индивидуальными полимерными молекулами заполнены более мелкими молекулами. Одни — остаточные кольца и цепочки, избежавшие полимеризации, как обличительные фенол и формальдегид бакелита. Другие — фрагменты, отщепившиеся от полимеров под воздействием кислорода, света или тепла. Один полимер, ча-

сто используемый в рукоятках отверток (**ацетобутират целлюлозы**), печально известен расщеплением на уксусную и масляную кислоты, накапливающиеся в ящике для инструментов. Другие мелкие молекулы — остатки других многочисленных нефтехимических продуктов, используемых для производства и модифицирования смол, для придания им именно тех свойств, которые мы хотим: мягкости или твердости, эластичности или жесткости, прозрачности или непрозрачности и т.д. и т.п. Совокупная смесь летучих нефтехимических продуктов в заданном материале вырабатывает свой специфический «пластиковый» или «химический» запах.

Поскольку они испаряются, покидают полимерную сеть и со временем истощаются, летучие остатки обычно наиболее очевидны в недавно произведенных товарах. Гибкие продукты с большими поверхностными площадями типа ПВХ **душевых занавесок**, полиэсте-

ровых **ковров** и их подкладок из смешанных пластмасс могут быть особенно пахучими, когда их в первый раз разворачивают. Характерный резиновый запах как новых, так и нагретых во время езды **автомобильных шин** обусловлен смесью следовых нефтехимических продуктов и сульфидных остатков «вулканизирования» полимерной сети серой, чтобы сделать ее более крепкой. Все более популярные **3D-принтеры** образуют объекты, нанося расплавленные пластмассы, и они испускают заметные запахи формальдегида, стирола и других маленьких нефтехимических продуктов. Пластиковые контейнеры, типа одноразовых **полиэтиленовых бутылок для воды**^{*}, могут загрязнять свое содержимое восковыми химическими запахами, а некоторые **пищевые обертки**, обычно ПВХ, делают то же самое. На меня все еще воздействует пятьдесят лет спустя сильный похожий на дезинфицирующее средство запах, приправляя-

Некоторые летучие молекулы, испускаемые распространенными пластиковыми предметами

Предмет	Летучие молекулы
полистирольный упаковочный материал	стирол
печатные платы, корпуса компьютеров и мониторов	фенол, формальдегид, толуол, этилгексанол
виниловая (ПВХ) душевая занавеска	толуол, этилбензол, фенол
полиэстеровый ковер	хлороформ, гексан, толуол, пинен
полиэстеровые ковровые подкладки	фенилциклогексен, винилацетат, альдегиды, стирол, бензотиазол
резиновые шины	бензотиазол, сульфиды, нафталин, стирол, крезолы
полиэтиленовые бутылки для воды	нонана́ль, октено́н, гептено́н, толуол, этилбензол
аптечные резинки, воздушные шарики	гексан, хлороформ, этилацетат, толуол, ксилолы
карандашная резинка	бутанол, бутилацетат, октанон, этилацетат
клеящие вещества и клеи: универсальные клей ПВА пластичный цементный раствор резиновый цемент	гексан, этилацетат, нонана́ль, хлороформ винилацетат бутанон, толуол гептан, ацетон

* Одноразовые бутылки для воды изготавливают чаще всего не из полиэтилена, а из полиэтилентерефталата (ПЭТ).

ший каждый завернутый продукт в столовой моей старшей школы; и по сей день я обнюхиваю предварительно упакованные сэндвичи, прежде чем покупаю их.

Самые распространенные производственные следы в пластмассах — **растворители**, жидкие состоящие из маленьких молекул нефтехимические продукты, растворяющие различные пластиковые ингредиенты, так что они могут вступать в реакцию друг с другом, затем по большей части испаряющиеся, пока образуется полимерная структура. Есть одна характерная версия пластмасс, в которой растворители могут быть чрезвычайно выражены с самого начала, а затем украдкой испускать летучие молекулы в течение долгого времени. **Клеящие вещества** или **клеи** — липкие материалы, соединяющие различные материалы в более многофункциональные композиты. Когда-то изготавливаемые из животного желатина, молочных белков и растительного крахмала, сейчас они по большей части смеси нефтехимических растворителей и полимеров, которые поначалу текут, а затем затвердевают по мере того, как испаряются растворители. Мы чует клеющие вещества непосредственно, когда мы сами наносим клеи

или разворачиваем какую-нибудь клейкую ленту, но их следы постоянно в воздухе в почти любом внутреннем помещении, испускаемые фанерой, древесно-стружечной плитой, облицовками и почти всеми произведенными конструкционными и отделочными материалами и мебелью.

Летучие растворители также стали незаменимыми помощниками для контролирования многих других материалов. Первоначальным созданным человеком растворителем был скипидар, маленькие молекулярные монотерпеноиды которого помогали кораблестроителям наносить водонепроницаемую смолу в каждую щелочку веревок и деревянных корпусов, малярам — наносить пигменты и лаки равномерно по твердым поверхностям, а и тем и другим — счищать их липкое вещество с тех мест, где оно не было нужно. Сегодня нефтехимические растворители играют множество подобных ролей в покрытии, чистке и полировке. Среди менее очевидных: понюхайте кончик **фломастера**, или страницу **журнала** или **газеты**, или **документ из офисного принтера**, и вы почувствуете растворители, несущие и распространяющие их чернила, как это запоминающимся образом делал мета-

Некоторые летучие молекулы, испускаемые современными строительными материалами

Материал	Летучие молекулы
древесно-стружечная плита, фанера	этилацетат, толуол, формальдегид
штукатурка, гипсокартон	альдегиды, кислоты, кетоны, ксилол, сульфиды, тиолы
изоляционный материал	пентан, стирол, формальдегид
деревянный настил пола, навощенный или лакированный	гексана́ль, пинен, октенон, ноненали, ацетофенон
виниловый настил пола, облицовка стен, потолочная плитка, оконные рамы	хлороформ, толуол, нонан, декан
мастика для натирки полов	тетрадекан, тридекан, пентадекан, гексан
линолеум	альдегиды, кислоты, кетоны, толуол
акварельная краска	толуол, бутанол, этилбензол, декан, ксилолы, ацетон
масляная краска	бензин-растворитель, C ₆ –C ₁₂ : гексан, гептан, октан...

**Некоторые летучие молекулы растворителя,
испускаемые распространенными бытовыми предметами**

Предмет	Летучие молекулы
жидкость для снятия лака, пятновыводители	бутилацетат, этилацетат, ацетон
подвергнутая химчистке одежда	тетрахлорэтилен
крем для обуви	нафта, триметилбензол
лак для мебели	нафта, смешанные нефтяные дистилляты
фломастеры	этиловый, пропиловый и бензиловый спирты, ксилол, феноксиэтанол, бутанол, диацетоновый спирт
газетная типографская краска	до-, три-, тетра-, пента- и гекса-деканы, толуол
журнальная типографская краска	то же самое + этилацетат, гексан, ксилолы, нонаналь
чернила офисного принтера	толуол, стирол, ксилолы, этилбензол
восковые мелки	гексан, нонан, декан, ундекан, деканаль, нонаналь
парафиновые свечи (зажженные)	углеводороды, кислоты и альдегиды с цепочками средней длины ($C_{11}+$), + бензол, этилбензол, толуол, ксилол, нафталин

нол на обнюхиваемых листах, распечатанных спиртовым множительным аппаратом фиолетовыми чернилами, в школах десятилетия назад. **Восковые мелки** содержат пахнущие воском альдегиды средней длины, но также углеводороды. А **парафиновые свечи** испускают те же самые характерные для общего горения летучие молекулы, как и их аналоги из пчелиного воска, но также выделенные из растворителя: бензол, толуол и нафталин.

Поэтому наш **воздух в помещении**, в котором когда-то преобладали запахи очага, масляных ламп и свечей из топленого жира, камня и древесины, руна и кожи, скипидара и мыла из животных жиров, теперь ароматизирован вместо этого миазмами ископаемых органических веществ из синтетических и композиционных материалов. В недавно построенных и обставленных мебелью помещениях эти миазмы могут вносить вклад в «синдром больного здания», из-за которого жильцы плохо себя чувствуют. (Другой печально известный виновник — сульфид водорода, который может высвобождаться из стальных панелей, содержащих минеральный гипс.) Сегодня

одни из самых насыщенных и разнообразных нефтехимических смрадов берутся от новых **автомобильных интерьеров**: закрытые окна и жаркий солнечный день выпекают летучие молекулы из их тканей, пен, клеев и красок в малый объем воздуха. Хотя «запах новой машины» может притягивать как показатель заводской свежести, его летучие молекулы могут раздражать глаза и дыхательные пути и конденсироваться в дымную пленку на окнах. Производители работали над минимизацией их выброса, и многие сейчас активно определяют запах своих новых машин, придавая им запах при помощи запатентованных ароматизаторов.

По факту многие люди в большинстве случаев сейчас стараются определять запах своей жизни, обрабатывая автомобили и дома «освежительными» спреями и ароматическими распылителями. Как и те самые остатки, которые они, по идее, должны маскировать, большинство летучих молекул в этих избранных запахах произведены из ископаемых органических веществ. Вместе взятые, произведенные нефтехимические летучие

Некоторые летучие молекулы, вносящие вклад в запах автомобильных интерьеров

Материал-источник	Летучие молекулы
полиэстер (чехлы кресел, напольные коврики, ремни безопасности и т.д.)	стирол, этилбензол, гексан, толуол
полипропилен (напольные коврики)	пентаметилгептан
полиэтилен (подголовники)	бензальдегид, нонаналь, деканаль, бензол, толуол, нафталин, уксусная кислота...
полиуретан (сиденья, подголовники)	толуол, фенол, нонаналь, бензальдегид
полистирол	стирол, этилбензол
поливинилхлорид (подголовники)	этилгексанола
кожа (чехлы сидений)	спирты, метилпирролидин
остатки растворителей от красок, клеев, пенообразующих средств	кислоты, ундекан
резиновые шины	бензотиазол, сульфиды, нафталин, стирол, крезолы
топливо и горение	бензол, нафталин, толуол, кислоты, этилбензол, формальдегид, ацетальдегид

молекулы — спрей-освежители и другие продукты личной гигиены, растворители, клеящие вещества, чернила, чистящие средства, пестициды — сейчас пропитывают нашу жизнь до такой степени, что они ответственны примерно за половину вредного загрязнения воздуха на городских территориях.

ИНТОКСИКАЦИЯ ОТ БОЧКИ С ДЕГТЕМ

Удовольствие от запаха новой машины, как и мое детское наслаждение листами и клеем для моделей самолетов, распечатанными спиртовым множительным аппаратом, а также палочками для игры в микадо, растопленными при помощи электрической лампочки — стиролом смолы сторакса, — бессистемные примеры сенсорной притягательности, которой могут обладать нефтехимические продукты. Профессиональные химики знают гораздо больше о многочисленных классах растворителей. Еще более многочисленны любители фармакологических эффектов нефтехимических продуктов. Многие люди нюхают растворители, клеи и топлива ради интоксикационного действия, которое они могут вызвать,

сходного с эффектом спирта. Когда они это делают, они рискуют пасть жертвами SSDS, «синдрома внезапной нюхательной смерти» (sudden sniffing death syndrome). Слово «токсичный» происходит от латинского слова «яд» и указывает на темную сторону подвергнутой пиролизу органической материи: многие из ее молекул, включая самые полезные и приятные, оказались угрозами для здоровья. Я составил вышеприведенные таблицы повседневных материалов, частично основываясь на работах токсикологов и на обязательных паспортах безопасности вещества, выдаваемых производителями. Задолго до того, как Виктор Робинсон перевозил каменноугольную смолу как источник новых лекарственных средств, она была известна как разносчик болезни и смерти. Виртуозность Героя-Углерода отнюдь не всецело благотворная.

Спустя всего лишь несколько десятилетий после смерти Шекспира англичанин Джон Ивлин опубликовал «Fumifugium, или Неудобства лондонского воздуха и рассеянного смога», памфлет, порицающий эффекты неизбежного дыма от угля, транспортируемого морским путем, на лондонцев как «вредные

и нездоровые... разрушающие легкие и расстраивающие все привычки их тел», так что «больше половины тех, кто погибает в Лондоне, умирают от чахоточных и пульмональных недугов». Это ненадежная статистика, но много тысяч лондонцев действительно были убиты Великим смогом 1952 года. А свидетельство более незаметно подкрадывающихся эффектов пиролитических летучих молекул появилось уже в 1775 году. Лондонский хирург Персивалл Потт, врач литературного критика Сэмюэла Джонсона и живописца Томаса Гейнсборо, помимо прочего, обратил внимание, что трубочисты, вычищавшие отложения креозота и сажи, типично юные мальчики, работавшие мало одетыми или неодетыми и редко принимавшие ванну, «запихиваются в узкие и порой горячие дымоходы, где они получают синяки, ожоги и чуть не задыхаются; и, когда они достигают половозрелости, они становятся особенно подвержены самой шумной, болезненной и смертельной болезни». «Болезнью трубочиста» был рак мошонки.

Спустя десятилетия попыток установить причину «дегтярных раков», которым были подвержены рабочие угольной промышленности, в 1933 году химик по имени Джеймс Д. Кук и его коллеги выщелочили две тонны пека каменноугольной смолы в Лондонской газовой, осветительной и коксовой компании и извлекли несколько грамм вероятного виновника: слабо ароматическую пятикольцевую двадцатиуглеродную молекулу под названием бензпирен или бензоапирен, BaP. Примерно в это же самое время начали накапливаться свидетельства о том, что неукрашенное шестиуглеродное бензолное кольцо, такое полезное как ламповое топливо и растворитель — это было первое вещество, примененное в химчистке, — может вызывать лейкемию и другие заболевания крови. Бензолные кольца с одно- и двухуглеродными украшениями, толуол, ксилолы, стирол и этилбензол, менее опасны, но могут оказывать вредные эффекты на нервную систему — эффекты, ранние стадии которых могут быть приятно отупляющими. И все стандартно присутствуют

как минимум в следовых количествах на современных заводах и в их продуктах. Токсикологи группируют бензол и этих союзников под акронимом BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes) и регулярно проверяют их уровни в продуктах и окружающей среде. Даже когда они недостаточно высоки, чтобы быть непосредственной опасностью, они могут вызывать головную боль, раздражение, проблемы с дыханием и тошноту.

Множество полезных химических изобретений оказались токсичными. Многие из них — синтетические углеродные структуры, включающие хлор, или бром, или тяжелые металлы типа ртути и кадмия; среди них — диоксины, ПХБ (полихлорированные бифенилы), различные пестициды, химические вещества для производства электронных приборов и даже лекарственные средства. Каждый раз, когда мы используем хлорные отбеливатель и чистящие средства в доме, мы посылаем токсичные хлорированные побочные продукты в наш воздух в помещении. Но летучие молекулы каменноугольной смолы, включающие самые распространенные летучие молекулы современности, не являются человеческими изобретениями. Молекулы BTEX и им подобные были впервые сварены либо под землей из давно умерших водорослей и деревьев, либо живыми деревьями, в честь которых они были названы. Растворители типа ацетона, бутанола и изопропанола были произведены в промышленном масштабе посредством бактерий. Они не являются новыми или неестественными молекулами. Что новое — так это степень их воздействия на нас.

Члены царства животных живут, поглощая всевозможных других существ. Они всегда принимали внутрь природные химические вещества, которые их характерные химические структуры не могут использовать продуктивно, что может засорить эти структуры, если их как-нибудь не вывести, включая многие приятные летучие молекулы душистых трав, цветов и плодов! Как мы увидели, животные тела типа наших собственных создали системы выведения этих ксенобиотических моле-

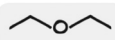
кул (см. с. 92), и они довольно-таки хорошо справляются с низкими уровнями, содержащимися в природном мире, хотя и неидеально. При более высоких уровнях системы дают задний ход, их недостатки становятся более серьезными, и они в действительности могут сделать ксенобиотики более, а не менее токсичными. Таков случай с BaP: чтобы выделить его, человеческое тело преобразует его таким образом, что он может повредить критически важные части наших ДНК.

Наши предки наверняка подвергались воздействию пиролитических летучих молекул в дыме природных пожаров, но только время от времени. Как только они принесли огонь в пещеры и убежища и все время дышали его летучими молекулами, перед их ксенобиотическими системами встала трудная задача. Есть генетическое свидетельство того, что ранние люди получили пользу от случайной мутации, которая сделала их систему выведения BaP менее эффективной, так что она стала вырабатывать меньше вредящей ДНК модификации. Сходным образом, люди никогда не вдыхали почти столько же бензола, толуола и формальдегида от бытового огня, как мы начали делать, как только мы вломились в лабораторию каменноугольной смолы Героя-Углерода; как и не столько много цитрусовых, цветочных летучих молекул, как мы разбрызгиваем, чтобы сделать запах нашего воздуха в помещении более уличным. Наши ксенобиотические системы не всегда справляются с трудной задачей. Какими бы приятными ни были запахи дыма и растворителей, разумно ограничить наше наслаждение.

ЭФИР И ЭФИРНОСТЬ

Любопытно, что мы ощущаем некоторые из этих с недавних пор избыточных ксенобиотиков как приятные. Наше широкое описание, зачастую даваемое запахам маленьких нефтехимических летучих молекул, — это «эфирные». Оно происходит от греческого слова *aithēr*, сперва обозначавшего похожую на воздух субстанцию, вдыхаемую богами, чи-

стую, трудно уловимую, светлую (корень от греческого слова, обозначающий «сиять»), а позже — неосязаемую элементарную жидкость, пропитывавшую физическую вселенную. Осязаемый, пахнувший эфир прибыл в восемнадцатом веке, когда немецкий химик Август Зигмунд Фробениус, работавший в Лондоне, использовал *aether*, чтобы назвать продукт реакции между спиртом и серной кислотой. Он описал эту удивительную жидкость, закипающую при температуре нашего тела, как настолько летучую и легко воспламеняющуюся, что она — «одновременно огонь и очень текучая вода»; по его словам, она — «наичистейший огонь», горящий, даже если его многократно смешать с равным количеством воды, без следа сажи или пепла. *Aether* Фробениуса, сейчас известный как **диэтиловый эфир**, состоит из двух двухуглеродных цепочек, соединенных вместе кислородным атомом, и нашел широкое применение как растворитель — синтезированный из нефтехимических продуктов — и как один из первых хирургических анестетиков.

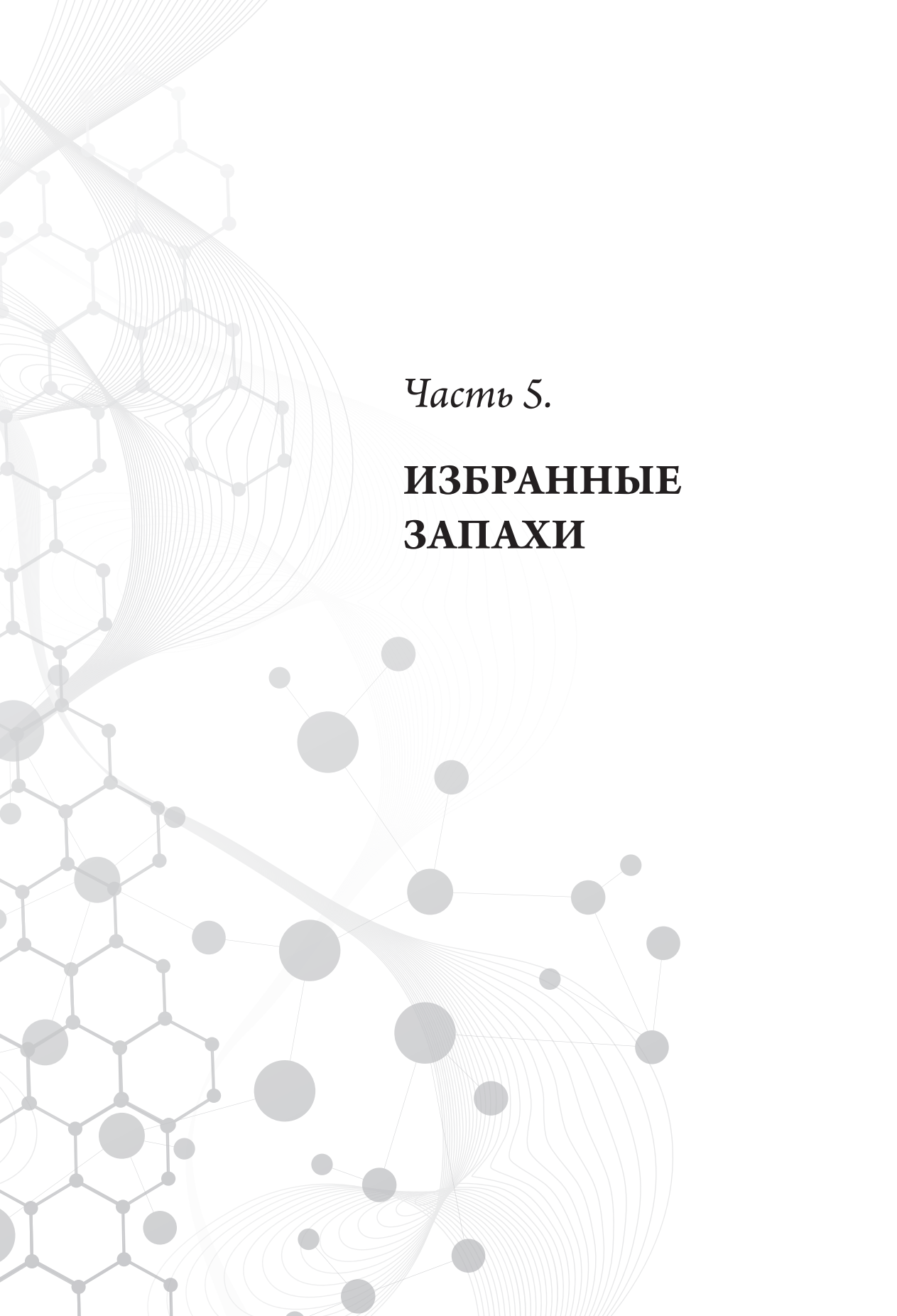


Эфир — первообразный опьяняющий растворитель, а «эфирный», похожий на эфир, предполагает характеристику вещества, являющегося чрезвычайно летучим, рассеивающимся, вкрадчивым, несущимся прямо в нос и, как кажется, заполняющим голову, а затем быстро исчезающим. Поскольку эфир оказывает успокаивающие эффекты на нейроны мозга, возможно, он делает нечто подобное в носу, помимо активации конкретных обонятельных рецепторов. Запах растворителей часто называют «сладким». Эфирность может и в самом деле быть сложным ощущением, как стимулирующим, так и успокаивающим, и, возможно, притягательным по этой самой причине.

В чем бы ни заключалась правда касательно их сенсорной притягательности, повсеместные запахи растворителей, смолы и дыма — также прямые столкновения с чем-то незаурядным: с тем, что энергия горения, вес океанов и континентов, а также хрупкие,

легко изменяемые, невероятно способные нейронные сети *Homo sapiens* смогли сделать с субстанцией живых организмов планеты. К добру или к худу.

Теперь мы переходим к другому неоднозначному достижению: к летучим материалам, которые наш вид изобрел, чтобы ароматизировать самих себя, а также свои жилища и автомобили, без помощи и с помощью растворителей каменноугольной смолы и химии.

The background of the page is a light gray abstract design. It features a network of thin, wavy lines that flow across the page. Overlaid on these lines are several molecular structures. On the left side, there are hexagonal rings, some of which are interconnected. Scattered throughout the lower half of the page are various sized gray circles, some of which are connected by thin lines, resembling a molecular or network diagram.

Часть 5.

**ИЗБРАННЫЕ
ЗАПАХИ**

ГЛАВА 17.

ДУШИСТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Касательно источников возникновения химии... курительница, так ярко выраженная во всех храмах даже сегодня, вполне могла быть в древних временах одним из самых важных источников вдохновения для тех, кто задумал совершить удивительные изменения в природных субстанциях посредством огня... трансформации, ассоциируемые с поклонением, жертвоприношением, возносящимся парфюмом сладкого аромата, огнем, горением, расщеплением, превращением, видением, общением с духовными сущностями и уверенностью в бессмертии.

Джозеф Нидэм и Лу Гуйчжэнь, «Наука и цивилизация в Китае», 1974 год

*Эфирные Масла — выжимаются —
Эссенция Розы
Не будь выражена Солнцами — Одиноко —
Это дар Винтов —*

Эмили Дикинсон

Запахи, которые мы пока что обозрели, — это летучие данности мира: они просто есть в воздухе. В этой главе, а также в последующих двух главах о приготовленных и ферментированных продуктах мы переходим к преднамеренным дарам: материалам и запахам, которые мы вытягиваем из мира специально ради нашего удовольствия.

Цветы, душистые травы и пряности, угождающие нам, похоже, делают это по большей части благодаря счастливой случайности, это совместный дар химической творческой деятельности царства растений и приспособляемости нашей нервной системы. Но душистые вещества — это умышленные продукты человеческой изобретательности. Их создатели применяют мысль, воображение, огонь и винты, чтобы сотворить обонятельное наслаждение за пределами того, что может предложить природа. Для благовоний: тлеющие угли гонят заключенные древесные и смолистые запахи в воздух и в нас. Для эфирных масел: устройства выжимают скудный

запах из эфемерных цветов, чтобы налить его в бутылочку и наслаждаться им в любое время. Для парфюмов: обонятельные художники собирают ароматические вещества с различных континентов и царств живых существ и перемешивают их заново в совершенно новые композиции. Душистые вещества — это материалы, при помощи которых человечество потакает своему неизменному интересу к запахам мира, играя с ними и применяя их так, как мы пожелаем, чтобы наполнить место поклонения или надушить запястье. Или чтобы облагородить машину, или уборную, или верного песика Фидо.

Большинство животных обращают внимание на запахи, и многие из наших собратьев-млекопитающих натирают себя измельченными листьями и насекомыми, а также своими собственными секретами и экскрементами, чтобы замаскировать или прорекламировать себя или в целях самолечения. Наш вид двинулся дальше непосредственных прагматических соображений выживания, когда он обнаружил,

что запахи могли подкрепить и даже раскрыть потенциал сильных чувств, от простых счастья и легкости до физического желания, до благоговения и восприятия мира за пределами физического. С ранних исторических времен и, вероятно, задолго до этого обычные душистые травы, цветы и дым очага приносили ежедневное удовольствие, редкие ароматические вещества помогали правителям и священникам устрашать и вдохновлять, и страстные поклонники запахов трудились над тем, чтобы поймать их неуловимую эссенцию.

Какими бы эзотерическими ни казались на первый взгляд благовонные и парфюмерные материалы, они сокровищница для кого угодно, заинтересованного запахами. Они набор самых интересных ароматических веществ мира, специально отобранных многими поколениями любителей запахов. Некоторые знакомы из сада и кухни, но другие ни с чем не сравнимы, как, например, раненые азиатские деревья и лишайники, а также странно притягательные вещества из тел бобров и китов. Многие предлагают на пробу воздух, которым дышали древние и далекие культуры. Хотя пользоваться духами по нраву не каждому, нюхать их — это шанс исследовать некоторые из самых сложных существующих запахов.

Куда более знакомы спрей-освежители для ванной, одеколоны для собак и тому подобные, избранные толпой фумиганты современной жизни. Они воплощают двойную дозу изобретательности: это не просто поимка приятных летучих молекул, но и их производство без единого цветка или дерева. Многие молекулы, изобретенные деревьями, — сосновые терпеноиды, цитрусовый лимонен, мятный ментол, цветочные линалоол и гераниол, — сейчас производятся на заводах тысячами тонн. Большинство из них используются для того, чтобы вызвать иллюзию свежести открытого воздуха в бесчисленных «ухаживающих» продуктах для использования в помещении: уход за нашей кожей, волосами и полостью рта, за ребенком, за домашними животными, за бытовыми поверхностями, оде-

ждой, бельем и машинами. Мы запускаем эти молекулы в наше окружение из распылителей, ароматических свечей, аэрозолей и подключаемых нагревателей с эфирными маслами, а также из еще более изысканных небулайзеров и vaporizаторов. Парфюмы просачиваются из журнальных вкладок. Розничные магазины, отели, авиалинии и производители автомобилей ароматизируют свои помещения уникальными летучими смесями, чтобы подкрепить свою отличительность сенсорным брендингом. Достаточное количество этих молекул в итоге ускользает от своих непосредственных целей и причиняет серьезный ущерб качеству городских воздуха и воды.

Даже если все эти произведенные запахи обозначают не более чем предпочтения масс-маркетинга, производственные затраты и загрязнение — достижение, делающее их возможными: производить розовый аромат без роз, мускусный запах без кабарги — воистину впечатляюще. Это результат длительной исследовательской экспедиции в невидимый мир летучих молекул, охватывающих поколения стараний, перед которыми в долгу любой человек, интересующийся запахами. С самого своего начала душистые вещества зависели от химических технологий того времени: нужно было поймать летучие молекулы от их источников, прежде чем они растворятся в воздухе. Поднимающийся запах курительницы, вполне возможно, вдохновил самых ранних химиков изучать невидимые проявления материи. Ароматические материалы определенно привлекли химиков ранней современности, чтобы опознать субстанции, ответственные за их запахи, и даровали озарения о путях Героя-Углерода точно так же, как это сделала противная каменноугольная смола, некоторые из них были удостоены Нобелевской премии. Ароматические химики и по сей день продолжают совершенствовать наше понимание летучего мира. Я почерпнул много информации для этой книги из их трудов.

В основном именно благодаря расцвету ароматической промышленности и масс-маркетингу сегодня любознательный любитель

может добыть и понюхать не только изысканные ароматы цветов и древесины, но и широкий ряд их экстрактов, даже очищенных до одиночных летучих молекул. Сейчас для исследователей запахов более, чем когда-либо, возможно ощутить то, что Бруно Латур описал для обучающихся парфюмеров: открытие нового сенсорного мира путем создания нового носа.

БЛАГОВОНΙΑ: ВЫСВОБОЖДЕНИЕ ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ

Благовония, «возносящийся парфюм сладкого аромата», вполне возможно, были первыми душистыми веществами. Слово *incense* происходит от древнего корня, обозначающего «сиять», и называет материалы, вырабатывающие ароматические пары, когда они тлеют или горят. Сегодня оно, вероятно, наводит на мысли либо о сладких сандаловых запахах Южной Азии, либо о смолистом ладане церквей в обрядовых ответвлениях христианства; в Древнем Китае ароматические вещества, вероятно, включали полынь, лакричный корень, древесину магнолии, сычуаньский перец. Намеренная выработка паров, а не огня, возможно, началась с данных наблюдения, что дым обладает силой маскировать запахи человеческого жизни и смерти, убивать или отгонять вредителей, замедлять гниение продуктов. Характерные пары от специальных видов топлива нашли более обрядовые применения, чтобы отметить значительное событие или место, предложить дань незримым силам на небесах, отогнать незримые злые силы поблизости или защитить мертвых во время их перехода в следующий мир.

Сжигание благовоний испытало взлеты и падения на иудейско-христианском Западе и в Китае, где церковные реформаторы и мудрецы пренебрежительно отзывались о нем как об отвращении от подлинной духовности. Такая двойственность мало повлияла на остальную часть Старого Света. Индия возглавила развитие производимых ароматиче-

ских кубиков и палочек, которым придается запах благовоний при помощи какой-нибудь смеси ароматических древесин, смол, масел и синтетических веществ. Несколько миллионов ароматических палочек, агарбатти, ежедневно сжигаются в обрядах поклонения под названием пуджа как помощь для медитации или просто для того, чтобы придать благоухание воздуху. В большей части Азии и на исламском Среднем Востоке запах благовоний остается постоянным присутствием в общественной и частной жизни.

Что отличает дым благовоний от обычного древесного дыма, так это его ароматическое богатство, продукт самих материалов и метода нагревания, который высвобождает их летучие молекулы, вместо того чтобы поглощать их. Сырые благовонные древесины и смолы типично «сжигаются», когда их помещают в виде маленьких кусочков или порошков на тлеющий древесный уголь, температура поверхности которого варьируется от (от 400°C до 600°C). В этих пределах наиболее характерные летучие молекулы испаряются в воздух без того, чтобы их модифицировал или уничтожил жар, в то время как стандартные растительные материалы расщепляются на стандартно пахнущие дымом фенольные молекулы и альдегиды.

Молекулы, определяющие благовонные материалы, зачастую тяжелые пятнадцатилуглеродные сесквитерпеноиды и другие нестогворчивые летучие молекулы, которые лишь еле-еле ощущаются в нетронутой древесине или смоле. После того как высокая температура запускает их в воздух, где мы можем их учуять, они оседают на более прохладных поверхностях, задерживаются там и снова медленно возвращаются в воздух в качестве более слабого фонового аромата. Исключение из этой закономерности — применяемая коренными американцами практика **окуривания дымом** при помощи тлеющих пучков высушенных душистых трав; часто используются белый шалфей и зубровка душистая, содержащие, соответственно, едкие, охлаждающие монотерпеноиды и сладкий, похожий на сено кумарин.

Некоторые душистые травы, используемые для окуривания дымом

Материал	Составляющие запахи	Молекулы
шалфей белый (<i>Salvia apiana</i>)	эвкалипт, камфора, сосна	эвкалиптол, камфора, пинен
зубровка душистая (<i>Hierochloe odorata</i>)	сладкое сено, испеченный хлеб, ореховый, экстракт миндаля	кумарин, фурфурол, бензальдегид

Некоторые смолы и резины, используемые в благовониях и парфюмах

Благовонный материал	Составляющие запахи	Молекулы
ладан, олибанум, ливан (<i>Boswellia sacra</i> [carteri])	благовоние, старая церковь, древесный, сосновый, перечный	олибановые кислоты, пинен, мирцен, линалоол, крезол, мустакон, ротундон
ладан, олибанум, ливан (<i>Boswellia papyrifera</i>)	благовоние, старая церковь, свежий, зеленый, землянистый, грибной, цветочный	олибановые кислоты, октилацетат, октанол, лимонен, гераниол, линалоол
мирра (<i>Commiphora myrrha</i>)	теплый, сладкий, кожаный, грибной, подлесок	фураноэвдесмадиен, линдестрен, курзерен (3-кольцевые фураносесквитерпеноиды)
смола бензоин (<i>Styrax tonkinensis</i> и <i>benzoin</i>)	бальзамический, сладкий, фруктовый, цветочный	бензойная кислота и эфиры бензоата, ванилин; коричная кислота и эфиры циннамата, стирол
стиракс, сторакс (<i>Liquidambar orientalis</i> и <i>styraciflua</i>)	сладкий, пластиковый, сосновый, древесный, цветочный, фруктовый	стирол, пинен, кариофиллен, эфиры циннамата
копал (виды <i>Bursera</i> , <i>Hymenaea</i> , <i>Protium</i>)	древесный, пряный, сосновый, смолистый	копаен, гермакрен, пинен, сабинен

Некоторые сорта древесины, используемые в благовониях и парфюмах

Благовонный материал	Составляющие запахи	Молекулы
сantalовое дерево (<i>Santalum album</i>)	древесный, кремовый, пудровый, дымный, мочево	санталолы (сесквитерпеноиды)
кедровое дерево (<i>Cedrus atlantica</i> , <i>libani</i> , <i>deodara</i>)	смолистый, древесный, сладкий	пинен, гимахалены, гимахалол, атлантон
«кедровое дерево» (виды <i>Thuja</i> и <i>Juniperus</i>)	древесный, камфора, сосна, зеленый	туйон, сабинен, терпинеол, цедрен, цедрол
palo santo (<i>Bursera graveolens</i>)	сладкий, мятный, цветочный, древесный, сосна	мятный карвон, мятные лактоны (бензофураноны), пулегон, терпинеол, бизаболен
агаровое дерево, алойное дерево, удовое дерево, джинко, кьяра (виды <i>Aquilaria</i>)	богатый, древесный, сладкий, цветочный, ваниль, животный	уникальные и многочисленные сесквитерпеноиды, бензопироны, фураны

Мы уже повстречали многие из распространенных благовонных смол и древесин в нашем виртуальном лесу (см. с. 167, 172), поэтому я перечислю их здесь для краткого описания. Ладан и агаровое дерево особенно заслуживают повторного визита.

Тлеющие древесины и смолы могут творить чудеса для воображения и эмоций, но, как и всякая подвергнутая пиролизу материя, они не оказывают услугу легким. Известно, что благовония вырабатывают потенциально вредные уровни нескольких известных парящих в воздухе токсинов (оксиды азота и серы, формальдегид, оксид углерода (II)), поэтому для долгосрочного здоровья лучше сделать окуривание благовониями случайным событием или использовать вапоризаторы, не подвергающие материалы горению (см. с. 383).

СЛУЧАЙНЫЕ БЛАГОВОНΙΑ: ТАБАК, КАННАБИС, МОКСА

Табак — наше современное мирское благовоние: тлеющее вещество, пары которого служат не для того, чтобы умиротворить или вдохновить, но для того, чтобы облегчить жажду зависимости от ее стимулирующего вещества никотина. Табачный дым играл церемониальную роль среди американских народов, первыми вдохнувших его, но именно его введение в европейскую торговлю достигло апогея в сигарете, словами историка Роберта Н. Проктора, «самом смертоносном артефакте в истории человеческой цивилизации», который каждый день курят миллиарды, несмотря на его продемонстрированную роль в вызывании сердечных заболеваний и рака. Хотя он и токсичен, табак — удивительный ароматический материал, моментально узнаваемый обонятельный ориентир, который можно оценить как куря его, так и нет.

Nicotiana tabacum (табак обыкновенный) — это член растительного семейства, включающего как съедобный томат, так и токсичную белладонну, или сонную одурь. У него крупные широкие листья, липкие и горькие, вооруженные такими эффективными хими-

ческими средствами защиты, включая никотин, что от него может стать плохо полевым работникам, имеющим с ним дело. Спустя век после того, как посланники араваков преподнесли невпечатляющий дар листьев Колумбу, английские поселенцы вокруг Чесапикского залива зарабатывали хорошие деньги, продавая табак для жевания или курения в трубках или завернутых в лист сигарах на европейский рынок. Чтобы выработать форму табака, которая могла пережить недели морской перевозки без того, чтобы либо сгнить, либо раскрошиться в пыль, колонисты разработали процесс обработки, который также проявлял скрытый ароматический потенциал листа.

Этот процесс начинался с увядания собранных растений в поле и медленного высушивания их в течение от четырех до восьми недель, порой при помощи дымного огня. Затем листья собирали вместе в кучу, когда они были все еще слегка влажными, и позволяли им ферментироваться месяцами, в течение которых микробы и собственные ферменты листьев работали вместе, делая их податливыми и устойчивыми к порче. После высушивания и еще одного года последующего созревания листья были готовы к перевозке на корабле. Это сильный, темный сорт табака стал известен как «берлей» или «берли».

Современный сорт табака, содержащийся в большинстве сигарет, светлей по цвету и легче по запаху, его дым проще часто вдыхать. Он возник в 1840-х годах в Северной Каролине, начиная с культивации бледных растений в истощенных почвах, затем развился дальше с паровой обработкой, бездымным высушиванием листьев в течение всего лишь недели перед ферментацией и созреванием. В результате получился мягкий **светлый табак**. Он стал преобладающим с изобретением завернутой в бумагу сигареты, которая подходила для механизированного производства и стала табачным продуктом массового спроса после Первой мировой войны.

Есть два химических ключа к уникальному запаху тлеющих табачных листьев. Зеленые листья в общем содержат куда больше азота

в своих активных белковых структурах, чем древесины и смолы, в коэффициенте десяти или больше. Никотин и другие алкалоиды также содержат азот и вместе с белковыми фрагментами вносят животные табачные нотки — сам никотин становится летучим и слегка рыбным при нагревании, а выработанные пиролизом пиридины — с еще более сильно выраженными такими же запахами. Скатола добавляет фекальный оттенок, а реакция с сахарами вырабатывает землисто-поджаренные кольца пиразина.

Второй ключ к табачному запаху — это одаренность его листьев крупными терпеноидными молекулами, слишком тяжелыми, чтобы самим быть летучими, но расщепляющимися на летучие фрагменты. Липкие листовые железы содержат защитные двадцатиуглеродные дитерпеноиды, которые фрагментируются на примечательные молекулы, также содержащиеся в смоле лабданума и в китовой серой амбре (см. с. 375–376). Оранжевые и желтые каротиноидные пигменты, проявляющиеся, когда исчезает зеленый хлорофилл, содержат примерно сорок углеродных атомов. В ходе обработки и созревания подавляющее большинство каротиноидов расщепляются, одни — на фрагменты, пахнущие как табак и сено, другие — на сладкие, цветочные или фруктовые летучие молекулы.

Итак, знаковый запах обычного табака — богатая и разнообразная смесь многих растительных, животных и приготовленных ноток. Сорта табака Берлей и для сигар крепче по аромату, чем светлый табак, потому что они имеют больше содержащих азот молекул, и их постепенная обработка разбирает на составные части сложные молекулы листьев более тщательно. Светлые сигаретные сорта табака сохраняют больше сахаров, которые подвергаются пиролизу во время паровой обработки и расщепляются на молекулы со сладкими, карамельными ароматами и на кислоты, нейтрализующие резкость щелочных никотина и аммиака. Более редкие высушенные солнцем **восточные сорта табака** из горячих и сухих восточных средиземноморских регионов

имеют листья с более сильным ароматом, богатые крупными, стойкими макроциклическими молекулами, важными в парфюмерии (см. с. 370), а также кислотами с короткой разветвленной цепью, добавляющими масляную, сырную, потную нотки. И почти вымерший луизианский **черный/темный табак**, произошедший от процесса обработки коренным народом чокто, при котором листья спрессовываются в ходе ферментации, развивает характерный винный, похожий на бренди аромат с различными кислотами с короткими и разветвленными цепями и их эфирами.

Лучший способ исследовать табачные запахи — найти несмешанные трубочные табаки. Произведенные сигареты, жевательный табак и нюхательный табак — это смеси, политые «соусом» из добавок — наиболее распространены сахар, ваниль и ментол, — чтобы сделать их менее раздражающими. Я не курю, но мне нравится нюхать рыхлый трубочный табак прямо из упаковки, или нагретый на вейперизаторе (см. с. 383), или зажженный в трубке, чтобы тлеть, как благовоние.

Как и другие дымы, табачный дым оставляет после себя стойкий запах. Среди остатков старого дыма — содержащие азот пиридины и пиразины, первый — слабо гнилой, прокислый и рыбный, последний — землистый. Есть также молекулы, ответственные за **дыхание курильщика**: ротовая полость предлагает бесчисленные уголки и закоулки, а также липкие молекулы, к которым эти летучие молекулы могут прицепиться. Сигаретные остатки в **пепельницах** также испускают различные медицинско-пластиково-скотные фенольные летучие молекулы и фекальный скатол.

Табак — один из крупнейших бизнесов в мире и один из самых вредоносных, поэтому много денег было потрачено на анализирование его химии. Марижуана, или каннабис, куда менее тщательно изучена, несмотря на то что она существует так же долго, как и табак. Недавний сравнительный обзор табака и каннабиса демонстрирует, как и следовало ожидать, что у этих двух дымов много общих и много

Некоторые спораемые листья и их дымы

Лист или дым	Составляющие запахи	Молекулы
обработанный табачный лист, разные сорта (<i>Nicotiana tabacum</i> ; Америка)	фруктовый, цветочный, фиалка; теплый, животный, рыбный, потный, кожаный; сладкий, поджаренный, землистый	терпениодные фрагменты (дамаскон, дамасценон, мегастигматриеноны, иононы, дигидроактинидиолид, соланон); пентадеканолид и другие крупные кольца, янтарный нафтофуран; пиридины, метилмасляная и метилвалериановая кислоты; ванилин, бензальдегид, пиразины
универсальный лиственный дым	едкий, растворитель, дымный, скотный двор, сладкий	формальдегид, ацетальдегид, ацетон, акролеин, фурфурол, гваяколы, фенол, крезолы, бензол, толуол, бутадиев, аммиак, пиридины
табачный дым	едкий, резкий, поджаренный, кожаный, животный, рыбный, сладкий, фруктовый, цветочный	летучие молекулы универсального листового дыма и обработанного табака + индол, скатол, диметилсульфид, дополнительные пиридины, пиразины
дым марихуаны, каннабиса (<i>Cannabis sativa & indica</i> ; Азия)	землистый, травянистый, древесный, цветочный, цитрус, сосна, шалфей, дизельное топливо, скунс	летучие молекулы универсального листового дыма + мирцен, гумулен, нафталины, диметилтрисульфид
дым моксы (виды <i>Artemisia</i> ; Китай)	смолистый, травянистый, охлаждающий	летучие молекулы универсального листового дыма + пинен, сабинен, туйен, эвкалиптол, камфора

различных летучих молекул. Среди вероятных определяющих различий — смолистые терпеноиды, уникальные для каннабиса трисульфид и нафталины, а также отсутствие в нем фруктово-цветочных терпеноидных фрагментов, вырабатываемых в процессе обработки табака.

Мокса — высушенные и мелко порезанные листья и стебли видов из богатого терпеноидами рода *Artemisia*, общеизвестного как чернопольник или полынь, один из видов в английском называют wormwood, «червяч-

ное дерево», за его использование в качестве лекарства от паразитов (см. с. 216). Дым моксы используется в традиционной китайской медицине как универсальное дезинфицирующее средство для воздуха, кожи и специфического лечения наружных заболеваний и, как утверждается, оказывает некоторый эффект на тело, когда его вдыхают: его древесные летучие молекулы действительно включают охлаждающую камфору. Пиролиз моксы называется в английском moxibustion (комбинация слов «мокса» и «горение»).

ПАРФЮМЕРИЯ: ПОИМКА ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ

Сжигание благовоний высвобождает летучие молекулы, заключенные в ароматических материалах, так что они свободно могут ароматизировать воздух. Парфюмерия тоже высвобождает летучие молекулы из ароматических материалов, но она заново ловит их, так что мы свободно можем смешивать их и ароматизировать все, что мы захотим. Слово *perfume* происходит из латыни, обозначает «посредством дыма», и ароматический дым, вполне возможно, был первым: дымные и благовонные летучие молекулы цепляются к одежде, коже и волосам. Антрополог Аида Канафани-Захар наглядно описывает, как арабские женщины помещают тлеющую курительницу под свои балахоны как часть социального ритуала придания благоухания, и я могу свидетельствовать по столкновениям в аэропортах о богатом аромате, исходящем от облаченных в балахоны жительниц Среднего Востока. Но благовонные пары разлетаются во всех направлениях. Парфюмы — это прицельные душистые вещества. Они сочетают конкретные ароматические вещества в конкретных пропорциях, и ими можно опрыскать широкий участок или сдержанно коснуться за ухом.

Тема парфюмов бесконечна: так много ингредиентов, так много способов комбинировать и смешивать их, так много культур, так много веков! Это история, охватывающая широкий круг, от религии до романтики и до пошлости: елей Исхода и смешивание священного и чувственного в Песне песен. Древнегреческий философ Теофраст, отметивший, что запах на запястье характерно сладкий (*hedys*); ассоциация пророка Мухаммеда с запахом очищения, а Южной Азии — со здоровьем и удовольствиями культурной жизни; ароматизированные мыло, пудра для волос, нюхательный табак и перчатки в эпоху Ренессанса; ежедневная бутылочка одеколона Наполеона и любовь Жозефины к мускусу; практикуемая гейшами обработка паром шелковых масок при помощи наполненного

розами чайника; союз душистых веществ и моды с Коко Шанель, недавнее распространение знаменитых и новых парфюмов... И, в довершение всего этого, это также история многочисленных обличий Героя-Углерода и тысячелетия человеческой изобретательности, потраченные на выжимание самых лучших запахов. Мы последуем за этой менее известной нитью.

В самые ранние времена парфюмы были медицинскими, ритуальными и косметическими препаратами, составленными из местных ароматических и экзотических веществ, которые торговля принесла из далеких земель. Первыми экстракционными методами были выжимание соков из мягких материалов типа цветов или вымачивание твердых ароматических веществ в жидкостях. Масла стали избранной экстракционной средой, раннее практическое признание того, что ключевые материалы запаха более полно растворяются в маслах, чем в воде. Египтяне обрабатывали парфюмом свои головы при помощи пропитанных маслом восковых конусов, а Моисей помазал алтарь своего народа оливковым маслом, содержавшим мирру, корицу и кассию.

Второе раннее озарение, возможно, было вдохновлено простым наблюдением: когда вода нагревается в горшке, влажный пар поднимается с ее поверхности в воздух, и, если пар касается более прохладного объекта, который держат над ним — руки, крупного листа, крышки, — он снова конденсируется в воду. Как минимум пять тысяч лет назад люди из разных культур осознали, что, когда ароматические материалы варятся в воде, часть их запахов ускользает вместе с водяным паром, и их можно сконденсировать и собрать вместе с ним как ароматический экстракт. Крупные глиняные горшки, очевидно, предназначенные именно для этой цели, были найдены в поселении Тепе-Гавра в Ираке, которое было активно примерно в 3000 году до нашей эры: у горшков выемчатый ободок, который мог собирать конденсат, каплями стекавший вниз по внутренней поверхности крышки. Конденсат из медленно варящихся ароматических

веществ — куда более очищенный экстракт, чем выжатый сок или масляная настойка. Он состоит лишь из летучих молекул и воды. Все остальное из цветка, душистой травы или пряности остается в кипящей воде — или, если они подвешены над водой и обрабатываются паром, в самих исходных материалах. Просто и гениально!

И с широким применением. Этот метод нагревания сложных материалов и собирания их паров стал известен как **дистиляция**, от латинского «капать вниз». Поскольку конкретные летучие молекулы имеют характерные температуры, при которых они склонны выскакивать из твердых или жидких веществ в пар, все более утонченные версии дистиляции стали и остаются мощными инструментами для разбора всевозможных сложных летучих материалов на их компоненты.

ДИСТИЛЛЯЦИЯ, ЭФИРНЫЕ МАСЛА И ГИДРОЗОЛИ, АНФЛЕРАЖ

Ранние культуры изобрели многообразие разных дистиляционных устройств, или дистиляторов. Один из самых эффективных дизайнов дистиляторов уже был в употреблении три тысячи лет назад в Пиргосе, промышленной территории бронзового века на средиземном острове Кипр: горшок для варки, в крышке которого было отверстие для трубки, проводящей пары в отдельный горшок для собирания. Этот двухгоршковый алембик (от арабского слова «чашка») применялся греческими и арабскими алхимиками для их исследований природных материалов. Одним из ранних продуктов было первое очищенное нефтехимическое вещество, ламповое масло, похожее на наш керосин (см. с. 338–339). А арабские изготовители парфюмов использовали версии алембика, чтобы добывать концентрированные экстракты цветочных летучих молекул.

На пересечении Востока и Запада, у могущественной и влиятельной Персии была глубокая заинтересованность в материальной

культуре, включая шелка, сады экзотических цветов и плодов, пищу и питье, а также душистые вещества, и она передала эту заинтересованность своим арабским завоевателям. К 800 году арабские парфюмеры дистиллировали эссенцию роз, которой богачи пользовались, чтобы придавать благоухание самим себе и своим пище и питью. Спустя семь или восемь веков их преемники начали разделять дистиллированную эссенцию на две части: большой объем сконденсированных водяных паров от варки и тонкий масляный слой, который медленно образовывался и плавал на поверхности воды.

Плавающее вещество дистиллята стало известно как аттар или отто (от арабского этр, «запах»), а на Западе — как **эфирное масло**. «Эфирное», потому что оно содержало эфир ароматического материала, подвергнутого дистиляции, и «масло», потому что оно вело себя как пищевые и ламповые масла, плавая на поверхности воды, а не смешиваясь с ней. Масляный слой был концентратом одних только летучих молекул розы, не разбавленным водой, в то время как вода снизу содержала долю летучих молекул розы, которые частично водорастворимы. Водяной раствор сейчас называется **гидрозоле**, или просто цветочной водой, и он куда менее дорогой продукт, чем соответствующее эфирное масло. Розовая и флердоранжевая (апельсиновая) воды в конце концов стали повседневными душистыми материалами в арабском и находящемся под влиянием арабского мире.

Отличный метод поимки летучих молекул был подсказан той проблемой, что многие ароматические цветы, среди которых жасмин, фиалка и гиацинт, выдавали мало запаха или вообще не выдавали, когда их увлажняли и нагревали в процессе дистиляции. В практике, которая стала известна как **анфлераж**, в раннем исламском мире парфюмеры заключали свежесобранные цветы в контейнер вместе с богатыми маслом семенами кунжута, семенами дыни или миндальными орехами в Европе в эпоху Ренессанса. Масла семян поглощали и накапливали летучие молекулы, испускаемые

сменяющими друг друга пучками цветов, после чего масла выжимались из семян, а твердые остатки семян использовались как ароматическая паста. Французские парфюмеры позже заменили семена пропитанными маслом хлопчатобумажными простынями, а затем — стеклянными тарелками, покрытыми очищенным свиным лядом или говяжьим топленым жиром.

Каким бы изобретательным ни был анфле-раж, он медленный и неэффективный. И, даже когда традиционная дистилляция срабатывает, она эффективно варит исходный материал, вырабатывая экстракты, которые зачастую очень отличаются от запахов свежих ароматических веществ. Питер Уайлд, первопроходец в развитии современных экстрактов, известно высказался, что, если ты готовишь эфирное масло из апельсиновой корки, ты получаешь эссенцию не апельсина, а джема-мармелада! Более удобные и верные экстракты стали возможны, когда создатели парфюмов привлекли растущий экспертный опыт химиков и помощь одной особенно ценной пойманной летучей молекулы.

ПОИМКА ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ ПРИ ПОМОЩИ ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ: СПИРТ

Примерно в то же самое время, когда люди начали держать домашний скот и культивировать сельскохозяйственные культуры, они обнаружили, что могли заставить сладкие и крахмальные пищевые продукты превратиться в опьяняющие напитки. В конце концов, и, возможно, раньше всех в северной Индии, люди по всему миру разработали способы того, как сделать эти напитки более мощными. Тысячу лет назад арабские алхимики обнаружили, что таким же образом, как дистилляция может извлечь запахи из ароматических материалов, она может сделать то же самое с опьяняющей эссенцией виноградных вин. Европейские алхимики позже дали продукту этой дистилляции, смеси сконденсированной воды и эссенции, ценной и как

опьяняющее, и как лекарственное вещество, множество названий, включая латинское *aqua vitae* (вода жизни), по-французски *eau de vie* (во множественном числе *eaux*), а также алкоголь, от арабского аль-кухоль (очень мелкий порошок). Алкоголь, или спирт, в конце концов дал свое имя отдельной опьяняющей летучей молекуле, а затем — химическому семейству, включающему ее, поэтому химики сейчас специально определяют извлеченный из вина оригинал как этиловый спирт или этанол. Здесь мы просто будем придерживаться повседневного названия.

Спирт — одна из летучих молекул нашего стартового набора, двухуглеродная цепочка $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. Гидроксильная группа ($-\text{OH}$) образует водородные связи с молекулами воды (HON), поэтому этанол очень хорошо смешивается с водой. Но содержащая углеродную цепочку ($\text{C}-\text{C}$) часть спирта больше похожа на маленькие цепочки и кольца других распространенных летучих молекул (типично от четырех до десяти углеродов) и на длинные цепочки жиров и масел (от шестнадцати до двадцати). Она заставляет спиртовые молекулы в водно-спиртовой смеси быть менее крепко связанными со смесью, чем водные, и, таким образом, их легче вытолкнуть из смеси при нагревании. Медленно нагрейте вино, на 10% состоящее из спирта и на 90% состоящее из воды, и получатся пары, первоначально изменяющие эту пропорцию. Простая дистилляция вина или пива может выработать *eau de vie*, в которой спирт составляет от 30% до 40%.

Концентрированный спирт, получаемый несколькими способами, стал даром для изготовителей парфюмов. Собственная природа спирта как летучей молекулы углеродной цепочки помогает ему растворять и удерживать другие летучие молекулы более эффективно, чем вода, поэтому *eaux de vie* лучше, чем вода или вино, справляются с задачей по извлечению летучих молекул из ароматических материалов, погруженных в них. Как знают фанаты лимончелло, можно получить хорошие экстракты из цитрусовых корок, просто замочив их в водке! К эпохе Ренессанса пар-

фюмеры использовали *eaux de vie* для создания похожих экстрактов цитрусовых корок, душистых трав и пряностей, а также нерастворимых в воде древесных смол и восковых животных материалов типа мускуса и серой амбры. Эти экстракты назывались по-разному: **eaux, настойками**. Когда экстракты заимствовали не только летучие молекулы, но и оттенки, они назывались **тинктурами**. Их, в свою очередь, можно было подвергнуть повторной дистилляции и получить более очищенный экстракт экстракта, вторичную *eau de vie* без каких-либо пигментов или других нелетучих углеродных цепочек.

Первым душистым веществом, ставшим всемирно известным и длительно популярным, была *eau de vie* восемнадцатого века, известная как одеколон, ароматизированный смесью цитрусовых корок и душистых трав, и в свое время также принимаемое внутрь лекарство. Его большая притягательность заключается не только в освежающем запахе, но также в присутствии свежего ощущения, созданным в его составе спиртом. До эпохи *eaux* большинство ароматических веществ извлекались и смешивались в маслах. Длинные углеродные цепочки масел не являются летучими. Когда их наносят на кожу, они бесконечно покрывают ее и медленно высвобождают растворенные запахи; и они легко фрагментируются окислением на собственные летучие молекулы с прогорклым запахом (см. с. 424). Но двухуглеродный спирт не окисляется с такой легкостью и сам более летучий, чем почти все пахучие молекулы. Когда его наносят на кожу в ароматизированной *eau*, он испаряется быстро и полностью, охлаждая кожу по мере того, как он исчезает. Он забирает с собой свой едкий, но в остальном мягкий запах, оставляя только немного влаги и пахучие молекулы.

Спирт стал еще более выраженным в парфюмерии после 1800 года с увеличивающейся доступностью дистиллятов, состоящих из спирта более чем на 80%. Их водное содержание достаточно низкое, так что они почти (или полностью) не оставляют влагу

на коже: они были уже не *eaux*, а собственно спиртами. Концентрированный спирт также достаточно хорошо смешивается с маслами и топлеными жирами и, таким образом, может «вымывать» летучие молекулы из пропитанных душистыми веществами масел и расплавленных анфлеражных жиров. Поэтому он стал растворителем для душистых веществ и их избранным носителем, основой, в которой можно смешать всевозможные экстракты по желанию и нанести их на тело. Сегодня спирт (зачастую денатурированный добавками, чтобы его нельзя было пить) составляет две трети или больше даже самых изысканных бутилированных парфюмов.

ПОИМКА ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ ПРИ ПОМОЩИ ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ: ЭФИР, ГЕКСАН, CO_2

Несмотря на все его преимущества, спирт имеет один серьезный недостаток в летучем выжимании: его способность легко смешиваться с водой. Это не имеет значения, когда он используется для извлечения экстрактов из сухих материалов типа смол и пряностей. Но, когда его используют для создания настоек свежих душистых трав и цветов, спирт извлекает водные жидкости вместе с летучими молекулами, а вода и молекулы, растворенные в ней, вступают в реакцию с летучими молекулами и изменяют запах экстракта. Идеальный растворитель для душистых веществ должен был быть водоотталкивающим, как жиры и масла, таким, чтобы он извлекал только летучие молекулы углеродных цепочек, но также очень летучим, как спирт, таким, чтобы он мог полностью испариться после того, как завершился извлечение экстракта.

Опять-таки химики придумали более хороший способ захватывать летучие молекулы. Уже в 1729 году рожденный в Германии Август Зигмунд Фробениус описал для Королевского общества Англии, как изготавливать ароматические эссенции при помощи эфира, синтетической четырехуглеродной цепочки, которая не особо смешивается с водой и за-

кипает при температуре человеческого тела (см. с. 349). Просто замочите любое ароматическое вещество в холодном эфире, затем отцедите эфир и позвольте ему испариться. Что останется — так это почти чистый экстракт молекул углеродных цепочек ароматического вещества. Опять просто и гениально!

Потребовался еще один век или около того, чтобы французские химики приступили к работе над ним, но этот основной метод — **экстракция растворителем** — постепенно дополнил дистилляцию в растущей индустрии ароматических веществ и по большей части вытеснил анфлераж. Гексан в конце концов стал стандартным избранным растворителем; это похожая на газولين шестиуглеродная цепочка, которую химики впервые обнаружили в нефти и сейчас производят из нее, и она дешевле, стабильней и менее токсичная, чем эфир.

Экстракция из цветка или душистой травы растворителем вырабатывает два полезных душистых материала. Она удаляет жиры и восковые материалы вместе с летучими молекулами, поэтому после того, как гексан испарился, первоначальный экстракт может быть вязким и даже твердым. Таким образом, его стали называть конкретом. Смешайте конкрет с концентрированным спиртом, чтобы заглушить запах его летучих молекул маленьких цепочек, испарите спирт из жидкости, и вы получите невареный эквивалент эфирного масла. Это называется **абсолютом**, потому что он освобожден из конкрета, выпарен из него. Как и эфирные масла, конклеты и абсолюты представляют крошечные доли первоначального свежего цветка: чтобы извлечь чайную ложку розового масла или абсолюта, требуется примерно сорок пять фунтов (двадцать килограммов) роз.

Абсолюты, конклеты, эфирные масла, тинктуры — все они были основными материалами развивающейся на рубеже двадцатого века парфюмерии. Сегодня современное состояние включает использование новых растворителей, так называемых сверхкритических флюидных экстракций, с газообраз-

ным оксидом углерода (IV), сжатым в полужидкость, и фракционными и молекулярными дистилляциями при очень низких давлениях и температурах, что позволяет индивидуальным летучим компонентам экстрактов быть отделенными и собранными как **изоляты**. Все эти материалы часто называются натуральными, потому что они возникают в живых растениях и животных и отражают их характеристики, в противоположность синтетическим материалам, производимым из растительных отходов и дешевых химических запасов сырой нефти. Однако этот термин может вводить в заблуждение, поскольку эти натуральные материалы тоже продукт химической науки и технологии. Зачастую чем более похожее на натуральное душистое вещество хочет парфюмер, тем более высокотехнологичны требуемые ингредиенты!

Разные экстракты как выполненные разными художниками наброски одного и того же цветка: каждый разное подобие. Чтобы представить себе, насколько разными могут быть летучие профили экстрактов, подумайте об одном аспекте сложного запаха розы. Две из ее более изобилующих летучих молекул — обобщенно цветочный фенилэтанол и сладко-розовый цитронеллол. Ароматические химики обнаружили, что живой цветок на растении испускает в три раза больше общей цветочной молекулы, чем сладко-розовой, но простое срезание цветка с растения кардинально изменяет этот баланс. Затем из нескольких экстрактов срезанных цветов, которые они проанализировали, дистиллированное эфирное масло отражало пропорции срезанного цветка, в то время как гидрозоль розовой воды больше напоминал цветение на растении, как и извлеченный растворителем абсолют. Сверхкритический экстракт оксидом углерода (IV) более ровно сбалансировал эти две характеристики. Экстраполируйте эту вариативность на другие главные розовые летучие молекулы, и становится очевидно, что разные экстракты все будут узнаваемо розовыми, но со своими собственными нюансами. То же самое верно касательно ароматиче-

**Изобилие двух летучих молекул в живых розах и розовых экстрактах
(процентное содержание от общего количества летучих молекул)**

Молекула	Роза, нетронутое растение	Роза, срезанная	Розовая вода (гидрозоль)	Розовое эфирное масло	Розовый абсолют	Розовый CO ₂ экстракт
цитронеллол (розовый, сладкий)	18	60	15	30–40	7	30
фенилэтанол (цветочный)	60	15	50	2	50	50

*Источник: К.Г.С. Басер, М. Куркуоглу с соавтором,
Анатолийский университет, Турция; см. Избранные ссылки, с. 512.*

ских экстрактов в общем. Парфюмеры могут выбирать среди многих разных версий для каждого ингредиента в своих композициях.

Хватит про продолжающийся квест по поимке приятных запахов мира. Теперь вперед к ароматическим веществам, вдохновившим на него! Следующие полдюжины разделов — образец материалов, из которых стандартно извлекают экстракты для использования в парфюмерии, несколько из них вновь появляются из предыдущих глав.

ДУШИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ РАСТЕНИЙ: ЦВЕТЫ, ПЛОДЫ, ЛИСТЬЯ

Цветы — вдохновение и сердце парфюмерии, архетип ошеломительной обонятельной красоты. Их хрупкость и мимолетность делают трудной задачей поимку их запахов. Лишь горстка истинных цветочных экстрактов стандартно доступна, и они очень дорогие; синтетические подобию куда более распространены.

Три самых преобладающих цветка в парфюмерии были такими с древних времен. **Роза** ценилась по всей Европе и Азии и была успешно дистиллирована в ранние исламские времена. Она богато ароматизирована смесью цветочных и фруктовых монотерпеноидов,

фрагментированных тетратерпеноидов и стандартного цветочного фенольного фенилэтанола (см. с. 200). Парфюмеры считают розовые масла и абсолюты гармонизирующими, объединяющими ингредиентами в композициях, эта характеристика, возможно, обусловлена их широкой базой из нескольких сотен летучих молекул.

Именно любовь Персии к аромату и ее торговля с Восточной Азией и принесли жасминовые лозы и цитрусовые деревья на Средний Восток. **Жасмин**, более эффективно извлекаемый растворителями или анфлеражем, чем дистилляцией, почти ничем не похож на розу: в нем преобладают его собственные одноименные жирно-кислотные фрагменты — кетоны, эфиры и лактоны — с оттенком универсального цветочного монотерпеноида линалоола. Он также выделяется тем, что порой называется животной или «грязной» ноткой, от незфирного, приземленного индола и смолисто скотного крезоло (см. с. 197). **Цветок апельсинового дерева**, или **нероли**, так же легко подвергаемый дистилляции, как и роза, имеет общий негармоничный индол с жасмином, но в остальном он свежий с терпеноидами, которые у него общие с лавандой и хвойными деревьями, и у него есть фруктовая нотка от ягодного метилантранилата. Как розовая, так и флердо-

Некоторые цветы, используемые в душистых веществах

Цветок	Составляющие запахи	Молекулы
роза (<i>Rosa damascena</i> и <i>centifolia</i>)	цветочный, фруктовый, фиалка, сладкий	дамасценон, ионон, розовый оксид, цитронеллол, нерол, гераниол, фенилэтанол
жасмин (<i>Jasminum grandiflorum</i> и родственники)	цветочный, кремовый, фруктовый, животный	жасмон, метилжасмонаты, жасмолактон, линалоол, бензиловые эфиры, индол, крезол
нероли, цветок апельсинового дерева (<i>Citrus aurantium</i>)	цветочный, свежий, лаванда, теплый, фруктовый, животный	линалоол, линалилацетат, мирцен, оцимены, метилантранилат, индол
османтус (<i>Osmanthus fragrans</i>)	цветочный, фиалка, фруктовый, абрикос, древесный	линалоол, ионы, гамма-декалктон, гексилбутират, цитронеллол
иланг-иланг (<i>Cananga odorata</i> ; тропическая Азия, Индийский океан)	цветочный, бальзамический, сладкий, пряный, грушанка, кожа	линалоол, геранилацетат, гермакрин, кариофиллен, метилбензоат, бензиловые эфиры, крезиметилэфир
тубероза (<i>Polianthes tuberosa</i>)	цветочный, бальзамический, сладкий, фруктовый, грушанка, животный	метил- и бензилбензоаты, метилсалицилат, метилизоэвгенол, метилантранилат, фарнезен, индол

ранжевая вода нашли и продолжают играть роль за пределами парфюмерии, в качестве ароматизаторов для выпечки и сладостей на Среднем Востоке и в бывших мавританских регионах южной Европы.

Последующие добавления к регистру цветочных материалов парфюмеров включают азиатские и американские растения с характерными версиями цветочности. Цветки **османтуса** богаты терпеноидными фрагментами, которые у него общие с косточковыми плодами, особенно абрикосами. **Иланг-иланг** (от тагальского слова «дикий») имеет бальзамическую и похожую на грушанку характеристики от нескольких богатых терпеноидами летучих молекул, а также кожаную вариацию крезоло. А **тубероза**, маленькая родственница агавы, давно культивируемая в Мексике, выделяется своей коллекцией бензозидных колец, оттенком грушанки и тяжелой, длительной сладостью.

Самые важные **плоды** в парфюмерии, берущие начало от одеколона восемнадцатого века, — это виды цитрусовых, имеющие несколько общих терпеноидов с цветами и вносящие свежие, яркие характеристики (см. с. 262). Их летучие молекулы сконцентрированы в железах, заключенных в плодовых корках, из которых они могут быть извлечены механическим давлением, а также растворителями. **Бергамот** — образцовый душистый плод, его мякоть несъедобно скудная и кислая, но его цедра сильно ароматизирована цветочными, лавандовыми и древесными терпеноидами. Бергамот — определяющее ароматическое вещество в чае «Эрл Грей», английском изобретении девятнадцатого века, судя по всему, сделанном по образцу дорогих китайских чаев, ароматизированных жасмином. **Лимон** вносит свой знаковый яркий аромат посредством терпеноидов нерала и гераниала, в то время как **горький апельсин** или **бри-**

Некоторые плоды, используемые в душистых веществах

Плод	Составляющие запахи	Молекулы
бергамот (Citrus bergamia)	цветочный, лаванда, лимон, сосна	линалоол, линалилацетат, оксид лимонена, нераль, гераниаль, пинен
лимон (Citrus limon)	цитрус, сосна, скипидар, лимон, цветочный	лимонен, пинен, терпинен, сабинен, нераль, гераниаль, линалоол
апельсин, кислый (Citrus aurantium)	цитрус, смолистый, цветочный, сосна	лимонен, мирцен, линалоол, пинен
грейпфрут (Citrus x paradise)	свежий, зеленый, цветочный, эвкалипт, древесный, грейпфрут	октаналь, децаналь, додеканаль, эвкалиптол, нуткатон

гардия несет смолистую и сосновую нотки, а пришедший позже других карибский **грейпфрут** имеет нотки древесины и эвкалипта. Ваниль и зерна розового и черного перцев (см. с. 240, 236) входят в число пряностей из высушенных плодов, порой извлекаемых для использования в душистых веществах.

Из маленьких растений, ценимых в качестве ароматических веществ, только одно предоставляет парфюмерам типичный запах только что раздавленных листьев — **лист фиалки**, шестиуглеродные молекулы зеленой листвы и похожие девятиуглеродные фрагменты которого (см. с. 137, 139) сохраняются при экстракции растворителем. Другие листовые материалы включают кулинарные душистые травы, типа мят (см. с. 208), и специфически ароматическую группу, имеющую тенденцию напоминать цветы или цитрусовые плоды посредством общих терпеноидов. **Цитронелла**, знакомая по репеллентам от насекомых, дает смесь лимона и розы, а парфюмерный лист **герани**, от конкретного вида *Pelargonium*, — розовый со свежим травянисто-цитрусовым фоном. Знаковая **лавандовая** цветочно-травянистая смесь линалоола и его эфира линалилацетата копируется **шалфеем мускатным** и **петигреном**, листьями дерева кислого апельсина, но с добавленными древесными, землястыми, травянистыми вариациями. (Свежий шалфей мускатный примечателен потным тиолом, не выживающим в экстрактах.)



Пачули, лист малайского члена мятного семейства, обязаны своими землястыми, древесными характеристиками **пачулолу** и другим уникальным сесквитерпеноидам, а также они обладают прокислым запахом, который, возможно, частично обусловлен необходимостью высушить или слегка ферментировать его, чтобы эффективно извлечь из него экстракт. Пачули стали ярко выраженными в Европе девятнадцатого века, когда их отгоняющие моль листья защищали кашемировые шали при транспортировке из Индии, и он второй раз обрел популярность в контркультуре возвращения к земле 1960-х годов. Парфюмеры также работают с экстрактами богато ароматических обработанных табачных листьев (см. с. 357).

Определенно, необычайный и любопытнейший растительный материал — это **дубовый мох**, а на самом деле не мох, а лишайник, одно из медленно растущих созданий-выживальщиков, образующих чешуйчатые участки на камнях и деревьях. Лишайники — древние и все еще загадочные объединения между грибами и фотосинтезирующими цианобактериями или водорослями. Грибные партнеры в дубовом мхе производят мощные химические средства защиты, включая полчище уникальных вариаций бензойных и фенольных колец, предоставляющих запахи сырого подлеска и морских водорослей. В эпоху Ренессанса дубовый лишайник был известен как аромати-

Некоторые листья и лишайники, используемые в душистых веществах

Материал	Составляющие запахи	Молекулы
лист фиалки (<i>Viola odorata</i>)	зеленый, листовой, цветочный, жирный, огурец	C_5-C_9 альдегиды и спирты, особ. нонадиенол и нонадиеналь
цитронелла (виды <i>Cymbopogon</i> ; Азия)	лимон, роза	цитронеллаль, цитронеллол, гераниол
герань (<i>Pelargonium graveolens</i> ; Южная Африка)	роза, травянистый, цитрус	цитронеллол, гераниол, ментон, фотокитрали
лаванда, с цветущими головками (<i>Lavandula angustifolia</i> и родственники)	цветочный, сладкий, травянистый, древесный, зеленый, свежий	линалоол, линалилацетат, терпиненол, кариофиллен, ундекатриены
шалфей мускатный, с цветущими головками (<i>Salvia sclarea</i> ; Европа)	цветочный, сладкий, древесный, землистый, серая амбра	линалилацетат, линалоол, гермакрен, кариофиллен, спатуленол, янтарный нафтофуран
петигрен, лист кислого апельсина (<i>Citrus aurantium</i>)	цветочный, сладкий, травянистый, древесный, зеленый	линалоол, линалилацетат, оцимены, мирцен, терпинеол, изопропилметоксипиразин
пачули (<i>Pogostemon cablin</i> ; Южная Азия)	землистый, древесный, камфора, цветочный	пачулен, пачулол, сейчеллен, булнезен (сесквитерпеноиды)
дубовый мох, древесный лишайник (<i>Evernia prunastri</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i>)	зеленый, морские водоросли, землистый, древесный, дымный, животный	редкие украшенные фенольные и бензоатовые кольца (например, метоксиметилфенол, метилдигидроксидиметилбензоат)

ческое вещество, специфичное для острова Кипра (по-французски *Chypre*); спустя века вместе с такой же местной смолой лабданумом он помог определить парфюмерное семейство, сейчас известное как шипр (*chypres*).

ДУШИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ РАСТЕНИЙ: СМОЛЫ, ДРЕВЕСИНЫ, КОРНИ

Все древесные смолы и древесины традиционных благовоний (см. с. 355) также подвергаются экстракции и используются в парфюмерии, где они придают свои древесные, сладкие, бальзамические нотки ароматическим композициям. В наши дни две другие смолы лучше всего известны в парфюмерии, хотя они тоже горели на древних алтарях на Среднем Востоке. **Лабданум** — это липкая смола, накапливающаяся на листьях и веточ-

ках средиземноморского кустарника, известного как ладанник или скальная роза. Он необычно сложный, с парой десятков фенольных веществ, предоставляющих древесную, кожаную и животную нотки, и другими летучими молекулами, напоминающими сено, цветы и плоды. **Гальбан** — высушенный молочный латекс, собираемый с центральноазиатского родственника чесночной асафетиды, и в нем странным образом преобладают насыщенные похожие на зеленые овощи характеристики от летучих молекул, которые у него общие с морскими водорослями, зеленым горошком и стручковым перцем. У него также есть серный, древесный и животный аспекты.

Из традиционных благовонных древесин, используемых в парфюмерии, **агаровое** или **удовое дерево** особенно ценится за его богатство, **сандаловое дерево** — за его экзотические санталолы и их животные до-

Некоторые смолы, используемые в душистых веществах

Смола	Составляющие запахи	Молекулы
лабданум <i>Cistus ladanifer</i> и <i>creticus</i> ; Средиземноморье)	древесный, амбра, кожаный, животный, фруктовый	пинен, янтарный нафтофуран, фенольные вещества, сесквитерпеноиды, лактоны, малиновый кетон
гальбан (<i>Ferula galbaniflua</i> ; Западная Азия)	зеленый, листовой, водорослевый, древесный, мускусный	гальбанолены (ундекатриены), изобутилметоксипиразин, бутил- и пропенилдисульфиды, C ₁₃ –C ₁₆ кольца

Некоторые специальные древесные материалы, используемые в душистых веществах

Древесный материал	Составляющие запахи	Молекулы
палисандр (<i>Aniba rosaeodora</i> ; Южная Америка)	цветочный, роза, пряный	линалоол, оксиды линалоола, гераниол, терпинеол
дерево хо, лист (<i>Cinnamomum camphora</i> , разновидность <i>linaloolifera</i> ; Юго-Восточная Азия)	цветочный, роза	линалоол, камфора, терпинеол
березовый деготь (<i>Betula</i> ; Евразия)	дымный, смолистый, медицинский	гваякол, крезол, фенол
можжевеловый деготь (<i>Juniperus oxycedrus</i> ; Средиземноморье)	дымный, смолистый, древесный	гваякол, этилгваякол, крезол, кадинен

полнительные характеристики, молочную и даже слегка мочевую. Два других экзотических сорта древесины — значимые душистые материалы: южноамериканский **палисандр (розовое дерево)** и азиатское **дерево хо**, родственник корицы, оба пахнут как цветы! Они накапливают цветочный монотерпеноид линалоол, и их экстракты могут заменять более хрупкие цветочные материалы. Еще есть пара древесных материалов, созданных посредством деструктивной дистилляции, то есть подвергания древесины пиролизу, словно бы для изготовления смолы, и сбора летучих молекул. **Масло березового дегтя** и **можжевеловое масло** богаты фенольными летучими молекулами, характеризующими древесный дым, со стойкими медицинской, смолистой и скотной нотками. Масло березового дегтя также используется для того, чтобы вызвать ассоциации с кожей: оно когда-то было специализацией русской сельской местности и ценилось за пропитывание высококаче-

ственных кожаных ботинок и, таким образом, стало ожидаемым аспектом их запаха.

Горстка растительных корней и корневищ (подземных побегов) высушивается для использования в парфюмерии, и они несут древесные запахи от пятнадцатуглеродных сесквитерпеноидов, распространенных древесных летучих молекул. Но эти подземные органы уникально изобретательны со сесквитерпеноидами, возможно, чтобы защитить себя от легионов микробов в почвах, в которых они обитают. Шиобуноны, акоренон, костоны и зизаэноны больше нигде не появляются в этой книге!

Одно из самых почитаемых подземных ароматических веществ — это **нард**, или **индийский нард**, корневище растения родом из Гималаев, давно ценимое в отдаленном Средиземноморье. В случае, записанном в двух стихах Евангелия из Нового Завета, Мария помазала ноги Иисуса чистым нардным маслом из маленького сосуда, и Иуда отметил,

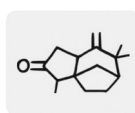
Некоторые корни и корневища, используемые в душистых веществах

Материал	Составляющие запахи	Молекулы
нард (Nardostachys jatamansi; Гималаи)	тяжелый, древесный, пачули, пряный	пачулол, валеранон, валераналь, аромадендрен
костус (Saussurea costus и Iarra; Центральная и Южная Азия)	древесный, жирный, животная шерсть	дегидрокостуслактон, костунолид, костолы, куркумен, сезелин
аир обыкновенный, ирный корень (Acorus calamus; Евразия)	теплый, древесный, кожа, пряный	шиобуноны, акоренон, акоронон, камфен, пинен, камфора
ветивер (Chrysopogon zizanioides; Индия)	древесный, землистый, цветочный, грейпфрут, дымный	зизаэноны, ветивол, ветивоны, хузимол, хузимон, нуткатон, фенолы и гваяколы
ирис (Iris pallida, I. x germanica; Европа)	древесно-цветочный, теплый, фиалка, сладкий	ироны (C ₁₀ основные цепочки, + кольца)

что оно стоило годового заработка. «И дом наполнился благоуханием от мира», — сообщал Иоанн. Древесным, землистым, похожим на пачули, унылым, а не цветочным. Столь же давно ценим **костус**, корень центральноазиатского чертополоха, ингредиент благовоний в течение тысяч лет, и по сей день применяемый в китайских благовонных палочках. Среди парфюмеров его эфирное масло отмечается за необычную животную нотку, порой сравниваемую с шерстью, меховым пальто или мокрой псиной. **Аир обыкновенный** или **ирный корень** — корневище болотной травы со сладкой, землистой, кожаной дополнительными характеристиками, применяемое как в парфюмах, так и в спиртных напитках и табаках, хотя следует проявить осторожность, чтобы избежать его нежелательного токсичного азарона.

Самое популярное сырье сегодня — это **ветивер**, интригующая азиатская трава, чьи тонкие корни длиной в ярд (0,91 м) имеют еле уловимые цветочную и грейпфрутовую грани своей древесной землистости. Это компонент многих духов, предназначенных для мужчин. В Индии корни дикого хуса вплетаются в навесы и коврики, которые опрыскиваются водой, чтобы охладить и ароматизировать воздух. Ветиверные масла порой дистиллируются при необычно высоких температурах и давлениях

и, как было обнаружено, содержат более трехсот по большей части необычных терпеноидов и их продуктов, включая **зизаэноны**.



Это удивительное разнообразие, похоже, возникает отчасти в результате деятельности бактерий, живущих в ветиверных корнях, где они превращают относительно немногочисленные выработанные растением молекулы в более разнообразный набор, возможно, чтобы держать на расстоянии своих собственных микробных соперников.

Как принято считать, самое приятное подземное ароматическое вещество, получаемое из **корня ириса (фиалковый корень)**, корневища *Iris pallida* и парочки близких родственников, необычно густое — и запредельно дорогое. Эфирное масло из этих растений, ирисовое масло, производится путем высушивания и выдерживания корневищ в возрасте нескольких лет, затем их измельчения, увлажнения разбавленной кислотой и, наконец, дистилляции. В результате получается цветочно-древесный запах, напоминающий цветы фиалки, судя по всему, из-за медленного расщепления тридцатиуглеродных тритерпеноидов на фрагменты под названием ироны, сходные по структуре и аромату с характерными фиалковыми ионами. Как мы увидим, тритерпеноидное расщепление также фигурирует

в превращении вонючей китовой кишечной непреходимости в экзотическую серую амбру.

ДУШИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОТ ЖИВОТНЫХ: ТВАРНЫЕ И ЛИПНУЩИЕ

Сегодня самые ценные парфюмерные ингредиенты — экстракты цветов и редких сортов древесины, но в течение многих веков и во многих высоких культурах они получались от животных. В своем трактате девятого века об ароматических веществах персидской и ранней исламской империй багдадский врач Юханна ибн Масавaih перечислил пять принципиальных материалов в следующем порядке: мускус, серая амбра, агаровое дерево, камфора и шафран. Мускус — это разновидность оленьего секрета, а серая амбра получается от китов. Арабские парфюмеры также использовали цибет, пасту, при помощи которой далекие родственники мангустов и гиен метят свою территорию; позднее европейцы ввели в употребление кастореум, ароматическую жидкость, струей распыскиваемую бобрами.

С чего бы это богачам выбирать помечать себя и даже свои пищу и питье телесными выделениями других животных? Как мы увидели в главе 5, характерные запахи тел животных возникают в основном от резидентных микробов, расщепляющих животные белковые структуры, богатые азотом и серой, на выхлопные газы метаболизма: мочевые амины и фекальный скатол, вонючие сульфиды и тиолы, пахнущие конскими конюшнями крезолы. Эти простые отходные продукты не шибко-то приятные. Но они действительно привлекают наше внимание, подсознательно или прямо. Оттенок мускуса или бобра — это способ утвердить животное присутствие носителя престижным объектом-посредником, а не бедной гигиеной, это утонченный способ нутряной коммуникации.

И в качестве одного ингредиента в душистом веществе, смешанного с кучкой тщательно построенных летучих молекул царства растений, деградированная характеристика

животных летучих молекул на самом деле может быть ценным вкладом как раз за счет добавления совершенно иного измерения совокупному запаху. Есть природный прецедент такой комбинации тщательно разработанного и деградированного: цветы типа жасмина и гардении, которые называют «экзотическими» или «грязными» за их нетипичные, нецветочные оттенки индола, скатола и крезоло. Как в цветах, так и в парфюмах эти оттенки могут акцентировать притягательность цветочных летучих молекул, оттеняя их и усиливая наше внимание к смеси (см. с. 187).

Но характерные животные материалы, давно ценимые в парфюмерии, привносят нечто иное в душистые вещества, нечто незаурядное, а именно: несколько редких летучих молекул, которые не содержатся в обыкновенных секретах и экскретах и не являются обычными маленькими молекулами отходных продуктов. Они такие же крупные, как сесквитерпеноиды царства растений, содержащие от тринадцати до семнадцати углеводородов, составленных в какую-либо кольцевую структуру. Макроциклические вещества — это большие отдельные кольца, в которых углеродные атомы образуют неровный крест или форму похожей на обрубок сигары. Некоторые — полициклические вещества с несколькими более маленькими кольцами, соединенными друг с другом. Как и древесные сесквитерпеноиды, эти крупные молекулы тяжелые и не очень-то летучие. Их длинные углеводородные отрезки или множественные углеводородные кольца создают непрочные связи друг с другом, с другими летучими молекулами и с похожими маслами кожи и волос. Они в сто раз менее летучие, чем простая вода, в миллион раз менее летучие, чем цветочный линалоол, поэтому их характеристики имеют тенденцию быть противоположными эфирным и пьянящим. Вместо того чтобы лететь на нас, они притягивают нас, приглашают нас принюхаться как следует, чтобы почувствовать их более полно.

И их запахи совсем не похожи на типичные продукты белкового расщепления: на амины,

сульфиды и крезолы. Вместо этого они такие, какие можно назвать тварными: они предполагают живое, теплокровное присутствие само по себе, а не его микробную ватагу. Они могут иметь разнообразие вторичных качеств, одни из которых — неуловимо животные, но другие — сладкие или цветочные или фруктовые.



Ароматический химик Филип Крафт описал запах чистой мускусной макроциклической летучей молекулы, **мускона**, как «теплый, чувственный, сладкий, пудровый», с «гладкой, мягкой и интимной коннотацией "кожи-на-коже"», напоминающей кожу младенца — запах животной жизни, еще не тронутой экскрецией живого.

Зачем же животные тела напрягаются с построением этих крупных летучих молекул? Лучшее свидетельство на сегодняшний день происходит от метящих секретов подбородочных желез европейских кроликов! Их полициклические вещества оказывают эффект замедления высвобождения более летучих компонентов в секретах — эти летучие сигналы сохраняются дольше на животных и объектах, которые они помечают. В терминологии парфюмерной профессии полициклические вещества — стойкие ингредиенты, которые играют роль фиксаторов, удерживая летучие молекулы парфюма на коже и высвобождая их более постепенно и ровно. Парфюмеры давно заметили, что животные материалы каким-то образом усиливают и гармонизируют другие ингредиенты в композиции. Самопровозглашенный химик-скептик Роберт Бойль (чье мнение совпало с мнением современных парфюмеров) более трех веков назад относительно удивительной силы слабо ароматической серой амбры заметил, что «некоторые объекты, сами не являющиеся душистыми, при этом могут повысить душистость Благоухающих тел».

Какими бы ценными они ни были по этим и другим причинам в течение более тысячи лет, животные материалы редко применяются в коммерческих душистых веществах сегодня. Тем не менее все равно возможно отыскать

маленькие образцы для обнюхивания. Хотя сами они редкие, их бестелесная тварность сейчас пропитывает нашу повседневную жизнь, пользуемся ли мы парфюмом или нет.

ЖИВОТНЫЕ ДУШИСТЫЕ ВЕЩЕСТВА: МУСКУС, СЕРАЯ АМБРА, ЦИБЕТ

Первоверховный животный душистый материал — это мускус, восковой брюшной секрет редких азиатских членов оленьего семейства. *Moschus chrysogaster* (рыжебрюхая кабарга) и родственные виды — маленькие одиночные животные со странными похожими на клыки верхними зубами, на которых долго вели охоту несколько цивилизаций, обитавших на границе гималайской родины. Слово «мускус» пришло через арабский язык из доисламской Персии, где, по рассказам китайских гостей, мужчины мазали свои лица и бороды ароматизированным мускусом маслом и где он ассоциировался с чувственностью, как в стихотворении шестого века, приписываемом Имру аль-Кайсу, описывающем залетные зерна мускуса в смятой постели его любовницы. С возникновением ислама значимость мускуса сместилась с чувственного сейчас на духовную загробную жизнь. Мухаммед предписывал, чтобы верующие сперва очищали свои тела, моясь и пользуясь душистыми веществами; он восхвалял мускус, и после смерти его тело, как утверждалось, источало этот запах. В вечном райском саду, который исламская традиция предвидит для праведных, почва, горы и девственницы, как утверждается, сделаны из мускуса.

Как же запах половых секретов животного стал запахом земного, превратившегося в священное? Согласно увлекательной книге «Запах райского сада» историка Ани Кинг, арабы считали кабарог мистическими существами, живущими в далеких высоких горах и питающимися редкими растениями. Они думали, что в этом практически потустороннем существовании обыкновенная тленная животная кровь стала очищенной в ее нетленную эссен-

цию, в твердые мускусные зерна, которые никогда не портятся и не прекращают испускать свой особый аромат. Таким образом, мускус и его тварный запах стали символизировать не потакание нашей животной природе, а стремление реализовать высшую духовную суть нашей природы.

Как способ вызывания духовного посредством запаха, это интригующая альтернатива полной дематериализации, представленной курящимися благовониями. Однако он не нашел такого духовного применения в Европе, где простое наслаждение запахом и стойкостью мускуса сделали его выдающимся ароматическим веществом. Он ароматизировал перчатки, парфюмы и пищу богачей со времен эпохи Ренессанса в течение восемнадцатого века, когда он вышел из моды, а затем вернулся десятилетия спустя как вспомогательный ингредиент в составных парфюмах.

Мускус начинает свое существование как желтая, мутная жидкость, которую самцы кабарги выделяют из железы рядом с гениталиями за несколько недель до брачного периода. Он накапливается в маленьком мешочке, где он созревает, вероятно, под воздействием микробов и превращается в унцию твердых, темных зерен восков и стероидов. Зерна ароматизируют зону гениталий и привлекают внимание самок, и часть летучих молекул попадает в мочу. Ароматические химики обнаружили, что особые характеристики мускуса — это по большей части продукт двух из ее макроциклических летучих молекул, мускона и мускопиридина, последний — азотная молекула, предоставляющая больше животного, мочевого аспекта.

Кабарги находятся под угрозой вымирания из-за охоты на них, и международная торговля гималайским мускусом, наиболее ценным, сейчас противозаконна. Маленькие количества получаются от пойманных животных.

Серая амбра — самый странный из всех душистых материалов, поразительная демонстрация принимающей различные образы перестановочности Героя-Углерода. Она начинает свое существование как вонючая

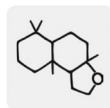
обструкция в прямой кишке бороздящих океаны спермацетовых китов, а годы спустя оказывается прибитым к морскому побережью высококачественным товаром, самые изысканные образчики источают ни с чем не сравнимый запах с гранями океана и почвы, экзотических сортов древесины, благовоний и табака. И у нее, как и у мускуса, есть способность фиксировать и усиливать другие утонченные запахи.

Название амбра происходит через арабское анбар от сомалийского слова, поэтому арабы, вероятно, познакомились с ней благодаря торговцам на побережьях Индийского океана. К ранним исламским временам они использовали ее в благовониях, парфюмах и как вкусовую добавку. Китай принял ее на вооружение посредством торговли, а Европа приняла, вероятно, посредством крестоносцев. Французский суффикс *-gris* в названии *ambergris* (серая амбра) отличает серые китовые остатки от другого прибитого к берегу амбера, янтаря, желтоватой окаменевшей древесной смолы. В эпоху Ренессанса серая амбра добавлялась вместе с мускусом к пресным и сладким продуктам, а также в парфюмы и масло для помазания правителей. Затем вместе с мускусом она утратила популярность и с тех пор стала дорогостоящей редкостью.

Основной ингредиент для создания серой амбры — это кальмар! Спермацетовые киты поглощают их тоннами ежедневно — и вместе с ними бесконечные твердые, неперевариваемые кальмаровые клювы, похожие на перья хрящи и хрусталики. Киты обычно отрыгивают эти остатки, но порой сохраняется достаточно, чтобы образовать массу, слишком крупную, чтобы ее вывести. Масса продолжает накапливать непереваренную пищу, а также микробов, паразитических червей и пищеварительные жидкости, включающие желчь, смесь похожих на холестерин липидов и окрашенных остатков гемоглобина крови. Она растет до тех пор, пока кит не умрет, порой от самой обструкции, которая может весить тысячу фунтов (около 454 кг).

Недавно сформированная серая амбра черная от богатой железом желчи, мягкая и вонючая. Но по прошествии месяцев и лет и когда более старые слои становятся похороненными в растущей массе, и когда сама масса плавает в океане после смерти кита, она становится тверже, светлее по цвету и легче по запаху — все еще загадочное улучшение, продолжающееся в кладовке бродяги, живущего собиранием продуктов моря на побережье, и в хранилище ароматической компании. Судя по всему, микробы в массе используют желчные липиды, чтобы строить восковой тридцатитуглеродный тритерпеноид под названием амбреин, часть которого затем медленно расщепляется на полчище необычных летучих

фрагментов — возможно, под воздействием кислорода, или железа желчи, или микробов, или какой-либо смеси этих факторов.



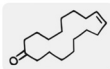
Комбинация **янтарного нафтофурана** и **амбринола**, двух полициклических фрагментов, воспроизводит многие грани серой амбры, а также ее фиксирующие способности.

Цибет не входил в число важных ароматических веществ ибн Масаваиха и, похоже, был относительно поздним и более откровенно животным дополнением к репертуару душистых веществ. Цивета, *Civettictis civetta*, — это маленький хищник родом из Восточной Африки. Персы, судя по всему, впервые оценили секреты ее метящих желез примерно в

Некоторые животные материалы, используемые в душистых веществах

Материал и источник	Составляющие запахи	Молекулы
мускус (азиатская кабарга <i>Moschus moschiferus</i> и родственники)	мускусный, богатый, животный, мочевого	мускон (1-кольцевой C_{16}), мускопиридин (1-кольцевой C_{16} + азот), андростенон (4-кольцевой C_{19} стероид), крезол
серая амбра (спермацетовый и карликовый киты, виды <i>Physeter</i> и <i>Kogia</i>)	экзотический, древесный, бальзамический, землистый, моховой, океанический	янтарный нафтофуран (3-кольцевой C_{16}), амбринол (2-кольцевой C_{13}), варианты ионона
цибет (африканская «кошачья» цивета <i>Civettictis civetta</i> и азиатские родственники)	мускусный, сладкий, животный, фекальный	цибетон (1-кольцевой C_{17}), мускон, индол, скатол, этил- и пропиламины
кастореум (бобры Северного полушария <i>Castor fiber</i> и <i>canadensis</i>)	теплый, кожаный, дымный, табачный, аминовый-животный	фенолы, крезолы, гваяколы, бензойная и коричная кислоты, бензальдегид; содержащие азот касторамин и нуфаридины и квинолины и пиазины
хирацеум, африканский камень (африканский капский даман <i>Procavia capensis</i>)	животный, аспекты мускуса, кастореум, табак, сандаловое дерево	амины, бензамид и другие азотные молекулы, кислоты
пчелиный воск (медоносная пчела <i>Apis mellifera</i>)	сладкий, жирный, мед, сено, цветочный	фенилэтанол и фенилэтилацетат; эфиры бензоата, октанола, нонанола, деканола, оксиды линалоола
ониха, нахх, высушенная/ый огнем (морская улитка <i>Chicoreus ramosus</i> и другие)	дымный, медицинский, морские водоросли, моллюск	фенол, крезол, хлорфенол, хлоркрезол, дихлорфенол, пиридин

девятом веке, начали выращивать ее, а затем арабские торговцы распространили ее и название (zabad) в Китае, Индии и Европе. Исследование эпохи Ренессанса принесло как материал, так и животное, включая родственные азиатские виды, прямо в Европу, где он приобрел и потерял популярность вместе с мускусом и серой амброй. Поскольку и самцы, и самки постоянно вырабатывают свой восковой метящий секрет и размазывают его по объектам, их держали в заключении и собирали секрет различными способами. Маленькое количество предположительно гуманного цибета все еще вырабатывается в Юго-Восточной Азии. Он содержит несколько животных, содержащих азот летучих молекул, некоторые, возможно, микробного происхождения, но ключевой компонент — это цибетон, макроциклическая молекула, похожая на мускон.



ЖИВОТНЫЕ ДУШИСТЫЕ ВЕЩЕСТВА: КАСТОРЕУМ, ХИРАЦЕУМ, ПЧЕЛИНЫЙ ВОСК, ОНИХА

Среди других менее престижных животных материалов, нашедших применение в парфюмерии, **кастореум** получают из метящего секрета бобра, крупного грызуна, живущего в северных болотистых местностях и грызущего деревья. Это высушенный, восковой остаток молочной жидкости, которая собирается в двух мешочках недалеко от хвоста как самцов, так и самок и ароматизирует их мочу. Кастореум использовался с древних времен как лекарство и был принят на вооружение для парфюмерии (и искусственных ванильных ароматизаторов) в девятнадцатом веке. В нем нет крупных фиксирующих молекул, но он достигает такого же эффекта при помощи уникальной смеси углеродных колец, углеродно-азотных колец и азотно-сесквитерпеноидных гибридов. Многие из его скотных крезолов, дымных гваяколов и фруктово-цветочных бензоидов, возможно, обусловлены богатой лигнином и кольцами диеты бобра, состо-

ящей из коры и веток, в то время как амины и кожаные квинолины, возможно, создаются обитающими в мешочках микробами, живущими в моче и отслоившейся коже. Эта смесь объясняет то, почему кастореум напоминает **кожу**, которую традиционно изготавливали из животных шкур, обработанных мочой и пометом, укрепленных танинами древесной коры, богатыми фенольными веществами, и дубовыми галлами и размягченными животными маслами.

Хирацеум, или **африканский камень** — это новый — и очень старый — душистый материал. Его получают от маленького похожего на кролика млекопитающего родом из Южной Африки, дамана, живущего в пещерах и под каменными выступами. Даманы справляют нужду в коллективных отхожих местах; отходы высохли в засушливом климате и сформировали окаменевшие залегающие толщиной в несколько рядов и возрастом в десятки тысяч лет. Хирацеум — эти самые окаменевшие отходы, в основном остатки мочи. Местные народы использовали его как лекарство; примерно в 1850 году немецкий фармацевт заметил его сходство с кастореумом, и с тех пор он порой применялся в парфюмерии как гуманный, хоть и невозстановимый заменитель. Хирацеум, похоже, богат содержащими азот молекулами, и один анализ предположительно опознал шестнадцатуглеродный макроциклический мускус.

Пчелиный воск — иной сорт животных ароматических веществ из царства животных, лишенный крупных молекул-фиксаторов, но приятный даже до того, как его подвергнут экстракции! Пчелы строят свои медовые соты из твердой массы крупных сорокауглеродных цепочек, которую они выделяют из желез на своих брюшках. Подходящим образом для материала шестиугольных медовых ячеек, заполненных концентрированным цветочным нектаром, абсолют пчелиного воска содержит многочисленные шестиглеродные бензоидные летучие молекулы вместе с несколькими цветочными и восковыми альдегидами со средней цепью, знакомыми по цитрусовым коркам.

Ониха, от греческого «ноготь пальца руки» (накх от санскритского «раковина»), привносит необычную океаническую нотку на палитру парфюмера. Ее получают от крупных морских улиток, закрывающих отверстие в своих раковинах твердым похожим на ноготь большого пальца щитом под названием оперкулум. Информация о самих оперкулах скудная, но, когда их высушивают над огнем и их летучие молекулы извлекают посредством сухой перегонки, преобладают дымные фенолы и крезолы, вместе с хлорированными версиями от изобилующих в морской воде галогенов, напоминающих бромфенолы в моллюсках, ракообразных, иглокожих и виси (см. с. 308, 323).

РАСТИТЕЛЬНЫЕ МУСКУСЫ И АМБРЫ: АБЕЛЬМОШ МУСКУСНЫЙ, АНГЕЛИКА, НАГРЕТАЯ СОЛНЦЕМ СОСНА

Любители душистых веществ давно признали, что некоторые растительные материалы имеют общие теплую и фиксирующую характеристики с мускусом, серой амброй и цибетом и могут заменять их. Уже так давно, как в ранние исламские времена, ибн Масавaih отметил, что смола лабданум от кустарникового ладанника напоминает серую амбру. Химик семнадцатого века Роберт Бойль обнаружил, что семена родственника гибискуса под названием мускусное семя и в самом деле напоминали мускус. Современные ароматические химики подтвердили эти наблюдения обостренного обоняния. Они каталогизировали как макроциклические, так и полициклические летучие молекулы в этих и нескольких других растительных материалах — и некоторые из растительных молекул абсолютно идентичны китовым молекулам.

Эти пересекающиеся молекулы привели к некоторой терминологической путанице в мире душистых веществ. Профессионалы часто называют растительные материалы, содержащие макроциклические и полициклические вещества, и сами молеку-

лы «мускусами» и «амбрами», «мускус» и «мускусный» сейчас обозначают теплую, стойкую характеристику, а не первоначальный сложный животный запах зерен кабарги. А «амбра» в парфюмерии не имеет никакого отношения к амберу (янтарю) как таковому, окаменевшей древесной смоле; это сокращенно от «напоминающий аспект серой амбры». (Окаменевшая смола испускает едва уловимую смесь древесных сесквитерпеноидов и похожих на растворитель бензольных и нафталиновых колец.) Эта расплывчивость не является чем-то новым: «Оксфордский словарь английского языка» перечисляет почти три дюжины животных и растений, в названии которых есть слово «мускусный», большинство из них названы так просто потому, что они обладают резко выраженным или нетипичным запахом (хотя мускусные крысы (ондатры) действительно вырабатывают дюжину похожих на мускус макроциклических веществ).

Мы уже обнюхали лабданум и гальбан (см. с. 367), а также обработанный табак (см. с. 357), содержащий сразу несколько макроциклических мускусов и полициклический янтарный нафтофуран серой амбры. **Абельмош мускусный** сейчас обычное название для того, что Бойль знал как мускусное семя, английское название *ambrette* отражает обонятельное пересечение между амбрами и мускусами.



Это азиатский родственник гибискуса и абельмоща съедобного, наружная семенная оболочка которого содержит шестнадцатуглеродный **амбреттоид**, одновременно мускусный и цветочный вместе с фруктовыми и необычными винными летучими молекулами. А **корень ангелики (дудника)**, взятый от евроазиатского растения из сельдерейного семейства, как оказывается, содержит подюжины макроциклических веществ, включающих в свой состав от двенадцати до шестнадцати углеродов, самый важный из них — пентадеканолид, описанный как утонченно животный, мускусный и сладкий.

**Некоторые растительные материалы,
примечательные преимущественно мускусными или амбровыми характеристиками**

Материал	Составляющие запахи	Молекулы
семя абельмоша мускусного (азиатский <i>Abelmoschus moschatus</i>)	богатый, сладкий, цветочный, мускусный, фруктовый, винный	амбреттолид (1-кольцевой C_{16}), фарнезилацетат, пиразины и пиридины
корень ангелики (евроазиатская <i>Angelica archangelica</i>)	сладкий, мускусный, древесный	пентадеканолд (1-кольцевой C_{15}), другие 1-кольцевые C_{12} – C_{16} макроциклические вещества, пинен, карен

В растительном мире есть также мускусный материал, слишком эфемерный для парфюмерии, но волшебный для подготовленного носа. Чтобы подготовиться, знайте, что для того, чтобы понять, почему даже самые высококачественные цветочные экстракты пахнут не совсем так, как живые цветы, ароматические химики в 1970-х годах взялись за трудную задачу по опознанию крошечных количеств летучих молекул, высвобождаемых живыми цветами в окружающий воздух, «свободное пространство». В конце концов они разработали переносные устройства для поимки летучих молекул в свободном пространстве и собрали их со всего света, чтобы опознать многообещающие новые ароматические вещества. В ранних 1990-х годах первопроходец-охотник за ароматами Роман Кайзер был в экспедиции по средиземноморскому побережью и на поросшем кустарником и лесом холме в Лигурии пережил «одно из самых впечатляющих обонятельных столкновений», доступное в этом ароматическом регионе: «очень прозрачный, смолистый, древесный, мускусный запах», переносимый ветром. Кайзер последовал за своим носом к массе смолы на сосновом стволе, открытом солнцу. Он собирал летучие молекулы свободного пространства смолы большую часть второй половины дня и, само собой разумеется, сумел опознать несколько различных макроциклических мускусов, включая пентадеканолд, общий с ангеликой и табаком. Когда он взял второй образец примерно на рассвете следующим утром, мускусы отсутствовали.

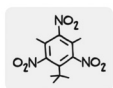
Что предлагает экскурсию для любителя-исследователя запахов? Прогулка во второй половине дня в лесу теплым ясным днем. Ищите хвойные стволы и опавшие сучья, источающие смолу, и подберитесь поближе, чтобы поковырять и понюхать их. Попробуйте свежие, затвердевшие, затем ищите участки, нагретые за несколько часов солнцем. И изумитесь сходству компанийских аватаров Героя-Углерода в клыкостых гималайских кабаргах, страдающих от кальмаров китам, случайных корне, семени и кусте, а также нагретом солнцем древесном выделении.

НОВЫЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА ОТ ХИМИКОВ

В течение веков мускус кабарги был первоверховным среди парфюмерных материалов. Сегодня он исчезающе редок. И все же мы вдыхаем его особую характеристику каждый день, когда она испускается мылом, шампунями, косметическими средствами и сушилкой для белья. История о том, как это случилось — как уникальный, редкий мускус кабарги породил десятки распространенных химических мускусов, — дистиллирует более длинную историю современной парфюмерии.

Нос химика всегда был важным лабораторным инструментом, и сага о мускусе начинается со случайных наблюдений по большей части в Германии, что определенные лабораторные процедуры, задействовавшие азотные химические вещества, могли создать мускусные запахи. Уже так давно, как в 1500-х годах, алхимик Парацельс отметил в своем

труде «Archidoxis», что дистиллированная смесь аммиачной соли и серной кислоты имела «благородный аромат» и пахла, как мускус. Спустя два века Андреас Марггграф заметил «запах сильнейшего мускуса», когда он дистиллировал окаменевший янтарь и обработал его эфирное масло азотной кислотой. В 1830-х годах несколько химиков повторили процедуру Марггграфа с легкодоступной каменноугольной смолой и копаловыми смолами, и получившиеся в результате мускусные материалы нашли коммерческое применение в мыле. Затем в 1891 году Альберт Бауэр синтезировал первые чистые «синтетические мускусы», отдельные бензольные кольца, украшенные азотными группами типа **мускусного ксилола**.



Несмотря на их маленький размер, они обладали тварной и стойкой характеристиками макроциклических и полициклических веществ, а также приятно сладкими, цветочными и «пудровыми» гранями. Спустя тридцать лет первопроходец-парфюмер Эрнест Бо включил два вида из мускусов Бауэра в свои легендарные духи «Шанель № 5» вместе с тинктурами подлинного мускуса кабарги и цибета. Синтетические мускусы были не просто дешевыми заменителями, они были новыми материалами, расширившими парфюмерный диапазон обонятельных эффектов.

Эти первые искусственные мускусы были продуктами химических реакций, случайным образом вырабатывавших мускусные запахи. Серьезный анализ мускуса и цибета был совершен лишь в начале двадцатого века, когда немецкие химики смогли изолировать их характерные молекулы. Впервые мускон и цибетон можно было понюхать сами по себе. Затем в 1926 году хорватско-швейцарский химик по имени Леопольд Ружичка, работая на то, что в будущем стало международной ароматической компанией Firmenich, продемонстрировал, что мускон и цибетон были макроциклическими кольцами из более дюжины углеродных атомов, молекулярные структуры, в то время считавшиеся невозможными. За это он и получил Нобелевскую премию в

1939 году. Установив их структуры, Ружичка продемонстрировал, как такие кольца могли быть сконструированы в лаборатории из простых углеродных цепочек и, таким образом, как можно было производить цибетовые и мускусные летучие молекулы без каких-либо животных.

По ходу дела Ружичка синтезировал структуру, на самом деле не содержащуюся в мускусе кабарги, но все равно пахнущую мускусом, которую он назвал мусколидом. Первоначально это казалось еще одним примером лабораторной химии, случайно уподобившейся запаху мускуса, но это оказалось лабораторной химией, предвидевшей открытие природного мускуса. Спустя почти восемьдесят лет мусколид был идентифицирован в корне ангелики! Другие ароматические химики до и после Ружички сходным образом предвидели открытие важных природных летучих молекул, включая фиалковые ионы и янтарный нафтофуран серой амбры.

Ускоренная перемотка вперед до настоящего времени: с тех пор химики обнаружили десятки макроциклических и полициклических молекул в растениях и животных и синтезировали сотни новых. В то время как современная международная торговля природными мускусными зернами и цибетовой пастой измеряется в фунтах за год, тысячи тонн произведенных мускусных молекул ежегодно вливаются во всевозможные косметические и бытовые продукты. Большинство из них используются за их фиксирующие, постепенно высвобождающие свойства и неспецифическое тварное присутствие. Некоторые из синтетических веществ, белые мускусы, используются за характеристику «горячего утюга на свежем белье» в противоположность характеристике «существа по ту сторону дикой горы» оригинального мускуса! Редкий, странный, амбивалентный животный материал стал промежуточной ступенью к вездесущему заверению домашнего уюта и чистоты.

Мускусная Сага отражает развитие ароматической химии в целом. В 1803 году не-

**Некоторые синтетические летучие молекулы,
позже обнаруженные в природных душистых материалах**

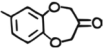
Молекула, синтезированная в	Запахи	Позже обнаруженная в
анисальдегид, 1845 год	цветок акации (мимозы), сено	цветок акации, 1903 год; ваниль, анис, фенхель, укроп, тархун, базилик, черная смородина
пиперональ (гелиотропин), 1869 год	цветок гелиотропа, ваниль, вишня	ваниль, 1905 год; фиалка, черная смородина, черный перец, табак
метилантранилат, 1887 год	фруктовый, цветочный	нероли, 1895 год; виноград, клубника
иононы, 1893 год	фиалка	цветок фиалки, 1972 год
гамма-ундекалактон, 1905 год	персик	гардения, 1993 год
мусколид, 1928 год	мускусный	ангелика, 2004 год
янтарный нафтофуран (амброкс), 1950 год	серая амбра	серая амбра, 1990 год; ладанум, табак, нагретая солнцем сосновая смола
метиладигидроjasмонат (гедион), около 1960 год	свежий, цветочный, «прозрачный», «перезрелые лимоны»	черный чай, 1974 год; жасмин, османтус, лимский сладкий апельсин

мецкий химик по фамилии Киндт обработал обычный скипидар соляной кислотой и получил кристаллы камфоры, в то время экзотического импортного товара. В последующих десятилетиях другие химики синтезировали циннамальдегид корицы, сладко пахнущий кумарин сена и бобов тонка, ванилин ванили. Вскоре они заставили каменноугольную смолу и другие дешевые сырые материалы выдавать многие известные вкусовые и ароматические молекулы, но также новые молекулы, случайным образом симулировавшие запахи таких вещей, как цветы гелиотропа и мимозы и кожа. С тех пор многие аватары Героя-Углерода, неизвестные в природе, принесли новые возможности на палитру парфюмера, среди них не поддающиеся экстракции «водянистая» нежность ландыша, свежесть морского побережья и характерная сладость сахарной ваты. А ароматические биотехнологии конструируют микробные и растительные клетки, чтобы штамповать ценные летучие молекулы бочками. Ароматическая химия — большой бизнес с преобладающей группой международных компаний, изобретающих,

патентующих и снабжающих товарным знаком новые «пойманные» молекулы каждый год.

Успех синтетической ароматической химии принес как блага, так и проблемы. Как и природные молекулы, неприродные могут быть раздражающими, аллергенными и даже токсичными. Некоторые необычно стабильные, поэтому, когда их тоннами вливают в ухаживающие продукты, они в итоге накапливаются в окружающей среде и в животных, включая нас. В это же самое время, помимо их экономических преимуществ, синтетические материалы могут вызывать ассоциации с природными материалами и окружающими запахами, чего не могут настоящие экстракты. Они могут предоставить более надежные, гуманные и отвечающие принципам устойчивого развития подобию редких и находящихся под угрозой источников. Они порой менее раздражающие или аллергенные, чем их более сложные природные эквиваленты. И по иронии разумное применение синтетических и высокотехнологических экстрактов позволяет парфюмеру более аутентично воспроиз-

Некоторые синтетические ароматические молекулы

Молекула	Запахи
 мускусы: синтетические, макроциклические, полициклические, линейные, включая галаксолид, 1890-е годы	стойкий, мускусный, только что постиранная/поглаженная ткань
квинолины, около 1880-х годов	кожа
гидроксцитронеллаль, около 1905 год	ландыш, сладкий, восковой, зеленый
лилиаль, 1956 год (бутилфенилметилпропиональ)	ландыш, водянистый, зеленый
 калон, 1966 год (метилбензодиоксепинон)	свежий, арбуз, морской, озон
этилмальтол, 1968 год	сахарная вата, крем-карамель
вертофикс, 1972 год (метилцедрилкетон)	древесный, амбра
Изо Е Супер, 1974 год (октагидротетрамтилацетонафтон)	кедр, фиалка, амбра

водить запахи природного живого материала — розы в саду, фиалки в лесу, — чем может почтенное эфирное масло.

КОМПОЗИЦИИ ИЗ ЛЕТУЧИХ МОЛЕКУЛ: ПАРФЮМЕРНЫЕ НОТКИ

Наконец-то мы добрались до самих парфюмов! Парфюмеры собирают ароматические вещества со всей планеты, от низко- и высокотехнологичных поставщиков и вольно играют с их бестелесными экстрактами, чтобы создавать химеры, неизвестные в природе: из розы и жасмина, розы и ветиверового корня, розы и бобра, розы и десятка других вещей — или нескольких десятков. Большинство этих композиций испаряются из мира, не оставив особого следа, но знатоки признают некоторые как значимые и влиятельные достижения в парфюмерном искусстве. Мы виртуально обнюхаем лишь пригоршню; я выбрал детали из анализов Филипа Крафта, Роберта Калкина и Дж. Стивена Джеллинека, а также организации The Fragrance Foundation.

Сперва краткое описание парфюмерных композиций в общем. Они сложные! Отдельный растительный экстракт может содержать

от десятков до сотен летучих молекул, а парфюмеры, в свою очередь, могут смешивать десятки этих экстрактов вместе в отдельные духи. Вероятно, никто, даже профессионалы, не может опознать каждый ингредиент в сложной смеси. Наше восприятие стольких многих молекул по необходимости субъективное. Но у нее есть некая структура, накладывается на нее ее различными летучими молекулами, тем, как быстро они улетают в воздух и истощаются на коже. На жаргоне парфюмеров «верхние» или «головные» нотки мгновенно ярко выраженные, но исчезают менее чем за час, в то время как «срединные» или «сердцевинные» нотки держатся час или около того, а «базовые» нотки — несколько часов. Первоначальные пропорции этих разных ноток, изменения в их пропорциях, когда они испаряются с разными скоростями, наше подвержение воздействию и приспособление к ним, наша внимательность и активный поиск ожидаемых нами компонентов — все эти факторы могут заставить разные характеристики парфюма сменять друг друга ежесекундно.

Летучесть парфюмерных компонентов зависит от того, насколько крупные и тяжелые их молекулы и насколько сильно их цепочки

и боковые группы притягиваются к белкам и маслам кожи и друг к другу. Распространенные головные нотки — цитрусовые, соновые, цветочные, свежие запахи десятиуглеродных монотерпеноидов. Сердцевинные нотки включают древесные запахи более крупных пятнадцатуглеродных сесквитерпеноидов, цветочные запахи терпеноидных фрагментов, фруктовые и бальзамические запахи эфиров и бензольных колец. Стойкие и фиксирующие базовые нотки включают древесные и благовонные запахи сесквитерпеноидов и олибановых кислот, дымные и животные запахи маленьких, но липких фенольных колец и тварные, обволакивающие запахи мускусов и амбр.

НЕКОТОРЫЕ ЗНАКОВЫЕ ПАРФЮМЫ

Современные парфюмерные композиции уходят корнями во Францию семнадцатого века, когда двор Луи XIV начал отказываться от тяжелых и экзотических масел того времени — мускуса, цибета, серой амбры — ради парфюмов, ароматизированных душистыми травами, цветами и цитрусовыми плодами из Южной Европы. Один из них дожил до наших дней и дал свое название целой категории цитрусово-травянистых композиций — **одеколон (Eau de Cologne)**; основанное на eau de vie творение итальянского дистиллировщика, работавшего в Германии примерно в 1700 году. (Сегодня одеколон может просто означать разбавленные цитрусовые духи.) В девятнадцатом веке была основана французская промышленность эфирных масел в городе Грас в Провансе, в употребление вошли высокоградусный спирт и другие растворители, и фармацевты-химики по всей Европе производили летучие материалы для всевозможных товаров. Элитная парфюмерная промышленность обрела форму, сконцентрировалась в Париже, основываясь на творениях индивидуальных парфюмеров, ароматических композиторов, которые с самого начала пользовались разнообразием доступных им

материалов, как извлеченных экстракцией, так и произведенных.

Первый достойный внимания парфюм современной эры — это, как утверждается, **Fougere Royale**, «Королевский Папоротник», созданный Полем Парке в 1882 году. Он был оригинален и влиятелен по двум пунктам. Папоротники не были утвержденным душистым материалом, поэтому это была «фантазийная» или «абстрактная» композиция. Она поместила бок о бок похожие на одеколон цитрус и лаванду с овощной землистостью, которую Парке создал при помощи экстракта дубового мха и синтетического кумарина: первое использование синтетической летучей молекулы в «высокопробном» парфюме. Композиция была хорошо принята и дала свое название целому жанру парфюмов: fougere, фужеры. Парке также предвидел то, что газовый хроматограф открыл в 2010 году: кумарин и в самом деле важная летучая молекула во многих папоротниках!

Спустя всего лишь несколько лет после Fougere Royale появился **Jicky (Жики)** Эме Герлена, самый старый парфюм в продолжающемся производстве (с модификациями) по сей день, и один из самых влиятельных из-за разнообразия и количества его ингредиентов: три цитрусовых экстракта, четыре цветочных, шесть травянистых, по два из древесин и корней, плюс цибет, плюс синтетические кумарин, ванилин и мускусы. Совокупный эффект был как пирамидальное наложение свежих верхних ноток, цветочных и древесных сердцевинных ноток и животных, сладких базовых ноток, структура, на которой стали основываться многие высокопробные парфюмы в течение следующего века.

Затем в 1921 году прибыл прославленный аромат **«Шанель № 5»**, составленный Эрнестом Бо для модельера Коко Шанель. Его эссенция — структурированная роскошь: сверху — бергамот и палисандр; в сердце — сандаловое дерево и букет из розы, жасмина, иланг-иланга и синтетических фиалки и ландыша; в основе — мускус, и цибет, и

Некоторые знаковые парфюмы

Парфюм	Основные ингредиенты	Значимость
одеколон, 1706 год	цитрусовые и травянистые масла	определили цитрусово-травянистое семейство
Fougere Royale, 1882 год	цитрус, лаванда, кумарин, дубовый мох	определил новое «абстрактное» семейство
Жики, 1889 год	бергамот, палисандр (линалаол), лаванда, сандаловое дерево, гелиотропин, кумарин, ванилин, цибет	сложная и структурированная композиция
Шанель № 5, 1921 год	бергамот, палисандр; роза, жасмин, метилионон, иланг-иланг, гидроксицитронеллаль, сандаловое дерево; синтетические мускусы, серая амбра, цибет, ванилин, кумарин, C ₁₀ –C ₁₂ альдегиды	сложный, богатый, роскошный; большая доза синтетических альдегидов
Eau Sauvage, 1966 год	бергамот, лимон, апельсин, гедион, травянистые масла, цитраль, индол, дубовый мох, ветивер, кумарин	вводит свежую «прозрачную» нотку гедиона в одеколон
White Linen, 1978 год	гедион, гидроксицитронеллаль, нерол, галаколид, вертофикс, ветивер, альдегиды	в основном синтетические вещества; преобладают мускус и альдегиды для эффекта свежего постельного белья
Трезор, 1990 год	гедион, метилионон, гелиотропин, галаколид, Изо Е Супер, ванилин	большие и блоковые пропорции синтетических веществ; комбинация «обними меня»
Kenzo pour Homme, 1991 год	бергамот, калон, шалфей мускатный, можжевельник, кедр, ветивер, белые мускусы	популяризирует морской тренд с синтетическим калоном
Ангел, 1992 год	бергамот, мандарин, пачули, кумарин, ванилин, этилмальтол	инициирует гурманский тренд с синтетическим этилмальтолом

серая амбра, усиленные синтетическими кумарином, и ванилином, и мускусами. Среди парфюмеров он также известен за большую дозу синтетических альдегидов со средней цепью, которые сами по себе имеют восковые, похожие на цитрусовые корки характеристики, но в парфюме, как утверждается, уравнивают богатую цветочность, эффект, который, как позже написал Бо, был вдохновлен его опытом военных полетов над Северным полярным кругом, «когда озера и реки высвобождают парфюм экстремальной свежести».

Следующие несколько десятилетий принесли много столь же сложных композиций, включая вариации шипров из цитруса, лабданума, дубового мха (от «Шипра» (*Chypre*) Франсуа Коти, 1917 год)* и основанных на благовониях и ванили «восточных» парфюмов («Шалимар» (*Shalimar*) Жака Герлена, 1925 год), а также практику использования синтетических молекул для определения аромата и дорогих натуральных экстрактов для его обогащения их сложностью. С 1960-ми годами и новыми волнами *pouvelles vagues*, катящимися через кино, романы и француз-

* Был изобретен до знаменитого парфюма «Шанель № 5»

скую кухню, парфюмеры также исследовали новые материалы и композиционные структуры, менее наслоенные и задействующие меньше на коже, более «блоковые» и насыщенные. Аромат **Eau Sauvage** «Дикая Вода» Эдмона Рудницки добавил к одеколонной цитрусово-травянистой смеси недавно открытый гедион и его свежую, яркую, «прозрачную» летучесть, и он скоро стал стандартным ингредиентом в современных парфюмах. В семидесятых годах аромат **White Linen** («Белое Покрывало») Софии Гройсман акцентировал похожие на выглаженное постельное белье характеристики синтетических мускусов при содействии гедиона и альдегидов, в то время как ее **Tresor**, «Трезор» (Сокровище), 1990 года, собрал вместе большие пропорции всего лишь нескольких синтетических молекул — мускусных, древесных, цветочных, сладких, — чтобы создать впечатляющую комбинацию, парадоксально тварную характеристику которой она описала как «обними меня»! **Kenzo pour Homme** Кристиана Матье, «Кензо для Мужчин», помог популяризовать новую молекулу с запахом окружающей среды калон и идею пляжных и прибрежных ароматов. А **Angel**, «Ангел» Оливье Креспа, помог установить категорию вдохновленных едой «гурманских» парфюмов с этилмальтолом, более сильным синтетическим вариантом природного мальтола, напоминающим сахарную вату и карамель.

В наши дни парфюмерный мир движется быстрее, и он более разнообразен, чем когда-либо. Он охватывает спектр от новых запахов и специальных ароматов торговых центров — простых, недорогих и составленных для удовлетворения вкусов потребителей — до вкусовых ароматических портфолио солидных компаний и парфюмеров, до ремесленных или узкоспециализированных творений независимых парфюмеров, следующих за своим собственным носом, прочесывающих весь земной шар в поисках самых лучших материалов, неважно за какую цену, и выпускающих ограниченные издания для немногих избранных. В ароматическом хранилище

и музее Осмотека в Версале посетители могут понюхать оригиналы или реконструкции сотен парфюмов, новых и старых. И разумеется, есть неевропейские традиции и запахи, с которыми стоит познакомиться. Например, ароматы Индии, где в почтенном ароматическом центре в городе Каннаудж недалеко от Тадж-Махала **митти аттар** дистиллируется из лепешек обожженной солнцем глины прямо в пропитанное сандаловым деревом масло: южноазиатское понятие геяикора!

Поэтому, хотя большая часть современной жизни была дезодорирована или ароматизирована искусственной свежестью, все еще есть галактики сверкающих заполненных ароматами флаконов, которые можно понюхать.

СЛУШАНИЕ ЗАПАХОВ

Современный ароматический мир стоит посетить даже исследователям запахов, которые не особенно заинтересованы в духах. Это потому, что он дом оживленной сетевой субкультуры энтузиастов с коллективным интересом ко всем летучим веществам, не только цветочным и мускусным. Вместе с обзорами новых коммерческих ароматов, руководствами по изготовлению духов на дому, поставщиками дистилляционных агрегатов, растворителей и прочих параферналий есть также источники множества сотен ароматических материалов, сырых древесин, смол и корней, дистиллятов, изолятов и синтетических веществ — образцов почти всего, упомянутого в этой книге, от розового масла до скатола. Чтобы понюхать и узнать о десятках из них за пару часов, совершите паломничество в Архив редких ароматов Афтель в Беркли, Калифорния. Я обязан большей частью того, что я знаю о душистых веществах, многим часам за ароматическим «органом» парфюмера Мэнди Афтель, проведенным за обнюхиванием с ней ноток, опробованием аккордов и диссонансов и впитыванием ее увлеченности природными материалами, от которых они происходят. Ее архив — удивительная дистилляция этого опыта.

Интерес к ароматерапии и летучим молекулам в общем также поспособствовал изобретению устройств, которые можно использовать как своего рода низкотехнологичный газовый хроматограф. Сейчас есть маленькие электронные vaporizatory, которые контролируют температуру платформы размером с монетку до 200°C, совсем недалеко до точки, при которой многие органические материалы начинают подвергаться пиролизу. Зачастую возможно уловить составляющие запахи, когда они приходят и уходят в соответствии с их различными летучестями, и ощутить комплексную природу запахов.

Я использовал vaporizator, чтобы наслаждаться древесиной и смолами, сортами табака и чая, почвой и камнями. Он не идеально подходит для всего — ладан, как было обнаружено, испускает свои самые характерные качества при температурах между (250°C и 310°C), — но он может стать откровением. Когда у Романа Кайзера была возможность проанализировать бесценный образец агарового дерева, он взял крошечный кусочек в пятьдесят миллиграммов, нагрел его до 150°C, эквивалента нагретой до средней температуры кухонной духовки, и наблюдал за тем, как его запах развивался в течение двенадцати минут. Сперва он был «сладко-бальзамическим, древесно-цветочным», затем более пряным, с «оттенками ванили и мускуса», затем «глубоким благородным древесным», в конце концов с «фенольной ноткой кастореума, сладкой ванили». Каким-то образом нагревание до более высокой температуры тлеющего угля оркеструет эти нотки в аккорд, который Кайзер описывает как «мать всех запахов».

Окуривание с температурным контролем — электронная версия метода оценки летучих молекул, которому уже века. Годы назад я прочитал в отличных мемуарах о Японии «Восточный ветер топит лед» Лайзы Дэлби про практику, известную как монко, название которой буквально означает «слу-

шанье благовоний». В ходе моего первого визита в Японию моя подруга Мио Куриваки организовала урок слушания в киотском магазине, поставившем соседнему императорскому дворцу ароматические вещества в течение многих поколений. У монко длинная и несколько туманная история, начавшаяся в Китае. Сегодня это канительная, но любопытнейшая процедура, сконцентрированная на керамическом сосуде размером с чайную чашку, заполненном пеплом. Вы зажигаете маленький кусочек древесного угля, неглубоко закапываете тлеющий уголь в пепел, затем помещаете на него осколок минеральной слюды. Вы кладете на слюду крошечную щепку агарового дерева или другого ароматического вещества, складываете руки горстью вокруг сосуда рядом с вашим носом и нюхаете, когда летучие молекулы выгоняются косвенным нагреванием, без отвлечения характерной дымности. Сессия монко обычно задействует несколько материалов, возможно, разного по сорту или происхождению агарового дерева, которое вы учитесь различать и ценить.

Название этой практики — «слушание благовоний» — странное, но в английском оно работает как полезно несочетаемый заменитель для слова, которого у нас нет. Слышать звук — это просто воспринимать его; слушать — это обращать внимание, концентрироваться и пытаться понять. Слушать запах — значит, тратить время и некоторую энергию, чтобы ухватить его более одного раза, отметить его характеристики и стимулируемые им чувства и мысли. Это может быть головокружительно, когда слушаешь красивые или странные ароматические вещества. Это также утомительно направлено вовнутрь, когда концентрируешься на невидимом и неосознаваемом и роешься в памяти, выискивая прецеденты или сравнения. Но это создание базы данных носа и сенсорного мира, а создание — это работа. Она окупается, когда мир расширяется.

ГЛАВА 18.

ПРИГОТОВЛЕННЫЕ ПРОДУКТЫ

Но в те дни, когда я хорошо себя вел, они, бывало, доставали вафельницу. Ее прямоугольник врезался в огонь шипов, горящих красным, словно острые листья шпажника. И скоро вафля оказывалась в моей сорочке, горячее пальцам, чем губам. Да, тогда я и в самом деле ел огонь, ел его золото, его запах и даже его треск, в то время как горящая вафля хрустела на моих зубах.

И это всегда так, посредством некоего дополнительного удовольствия, как десерт, что огонь демонстрирует свою человечность. Он не ограничивает себя готовкой; он делает продукты поджаристыми и хрустящими. Он придает золотистую корочку лепешке; он придает материалу форму для праздничности. Как бы далеко мы ни заглядывали в прошлое, гастрономическая ценность всегда обладала приоритетом над питательной ценностью; и в радости, а не в печали человечество открыло ее дух. Завоевание излишнего дает нам больший духовный восторг, чем завоевание необходимого. Человечество — создание желания, а не создание необходимости.

Гастон Башляр, «Психоанализ огня», 1938 год

Наш тур по запахам мира на данный момент — первобытные молекулы в межзвездном пространстве. Вонь жизни без кислорода. Химические средства защиты и приманки укоренившихся растений. Выхлопные газы бродяжничавших животных. Изломанные цепочки бороздящих холодные воды бродяг. Остатки жизни в почве, дыме и растворителях. Душистые вещества от горных кабарог и из химических лабораторий. Теперь мы пришли домой к самым знакомым и надежно притягательным запахам из всех. Пища и питье — это кусочки мира, которые мы смакуем наиболее интимно. Мы заполняем кухню их развивающимися ароматами, принимаемся к ним за столом, помещаем их внутрь себя и выдыхаем их летучие молекулы для последней понюшки в то же самое время, как они становятся частью нас.

Животные едят, чтобы получить вещество и энергию других живых существ. В нескольких главах выше мы попробовали многие из наших любимых пищевых продуктов, когда они живые или только что собранные и пах-

нут самими собой: сырые плоды и овощи, душистые травы и пряности, грибы, рыба. Однако, прежде чем съесть их, мы обычно перерабатываем их в нечто иное. Мы разделяем их, смешиваем, нагреваем, стимулируем в них рост благодатных микробов. Эти манипуляции, возможно, помогли породить наш вид и определенно вскормили его восхождение к господству, потому что они делают сырые растительные и животные ткани значительно более перевариваемыми и питательными. Первоначально новая и излишняя практика манипуляции с едой оказалась такой эффективной, что сейчас она, похоже, является для нас биологической необходимостью.

Почему же работа с едой вообще изначально стала популярной среди наших родоначальников? Ее питательные преимущества, вероятно, не были бы очевидны. Что является немедленно очевидным — более легкое жевание и обостренные ароматы, более сильные вкусы и запахи молекул, которые готовка и высвобождает, и создает. Эксперименты показали, что шимпанзе и некоторые другие

животные часто предпочитают незнакомые приготовленные продукты знакомым сырым. Возможно, животные сенсорные системы интерпретируют более сильные ароматы как сигналы более доступных питательных веществ. Или, возможно, сильные ароматы более стимулирующие для чувств и более привлекательные, вместе с поджаристыми, хрустящими и золотистыми — просто по этой причине. Или и по той и по другой сразу! Питание и удовольствие, необходимость и желание, но их не так просто различить, это переплетение одновременно усадительное и проблематичное.

Если готовка помогла сделать нас людьми, она сделала это, отчасти помогая нам жить более полно как животные. Приготовленные продукты задействуют наши чувства и мозг полным спектром стимулов, которые они развили, чтобы их можно было обнаружить и интерпретировать, и которые оседлая жизнь иным образом имела тенденцию суживать. Визуальные сигналы цветов, форм и консистенций; звуковые эффекты поджаристого, хрустящего, хлюпающего; острая чувствительность языка к градациям твердого и жидкого, горячего и холодного; вкусы сладкие, кислые, соленые, острые и горькие; запахи, определяющие конкретные продукты и их истории, — все эти ощущения могут вступить в игру с одним-единственным кусочком или глоточком. Этот момент способен, в свою очередь, вызвать ассоциации, воспоминания, мысли, эмоции, а порой и чувство значимости. Богатое столкновение с миром и с нами самими, вполне достойное того, чтобы к нему прислушаться.

Есть два основных способа трансформировать сырые пищевые продукты. Один — ферментировать их микробами, мастерами планеты по биоалхимии. Мы доберемся до этих резких, пьянящих, вонючих запахов в следующей главе. Здесь мы исследуем совершенно иные запахи пироалхимии, готовки под воздействием жара. Огонь стал человеческим, когда люди научились контролировать

его интенсивность, останавливать его стремительный рывок к дыму и пеплу и изучать температурный диапазон, при котором пиролиз может сделать пищевые продукты золотистыми и ароматными.

ПИРОЛИТИЧЕСКАЯ КУХОННАЯ АЛХИМИЯ: НЕПАХНУЩИЙ САХАР, ПАХУЧАЯ КАРАМЕЛЬ

Еще в начале главы 2 я упомянул магию приготовления карамели: начните с одного-единственного ингредиента, белых, сладких, непахнущих сахарных кристаллов, затем нагрейте до средней температуры, и у вас получится коричневая жидкость, которая на вкус одновременно сладкая, кислая и горькая, на кухне, заполненной ее знаковым ароматом. Обнюхав с тех пор всю планету, мы можем лучше оценить, насколько богатой репрезентацией виртуозности Героя-Углерода является этот аромат.

Столовый сахар — это сахароза*, соединенная пара украшенных шестиугольных углеродно-кислородных колец. Когда тепловая энергия расщепляет ее медленно и постепенно, а не в быстром клубе дыма, она образует многие различные фрагменты. Несколько отдельных колец главным образом ответственны за характерный карамельный запах. Но им составляют компанию фрагменты, которые мы уже понюхали в ягодах, персиках, кокосах, ананасе, цитрусовых плодах, томатах, грибах, орехах, ванили — и в сенокосных угодьях и опавших листьях, в конских конюшнях, в дыме. Слегка подвергнутая пиролизу золотистая карамель — фруктовая и масляная, темная карамель — более пряная и дымная.

Все это — и многое другое — от одной, по существу, молекулы, которая сама по себе нелетучая! Карамель кратко выражает химическую креативность готовки, то, как она может выйти за пределы своих ингредиентов и заполнить их до краев летучими следами мира во всем объеме.

* Сахароза — это дисахарид, состоящий из двух моносахаридов α -глюкозы и β -фруктозы.

Некоторые запахи карамели

Составляющие запахи	Молекулы	Также содержатся в
карамель, сахарная вата, фруктовый	мальтол	малина, клубника, листья багрянника (см. с. 281)
карамель, арахис	дигидромальтол	ферментированное молоко, вино
карамель	дигидроксиметилфуранон (диацетилформоин)	—
карамель, масляный	диацетил	масло, сливки
карамель, масляный	ацетилпропионил (пентандион)	орехи, йогурт
сено, древесный, хлебный	фурфурол	высушенная солнцем растительность
сладкий, миндаль	метилфурфурол	ягоды, томат
жирный, животный	гидроксиметилфурфурол (НМФ)	мед, ананас, ваниль, высушенная солнцем растительность
сладкий, сено, поджаренный	метилфуранон (лактон ангелики)	хлеб, кофе, попкорн
кокос, кремовый, фруктовый	гамма-ноналактон	кокос, персик
фруктовый, кремовый, персик	гамма-декалактон	масло, персик, кокос
ваниль	ванилин	ваниль
дымный	гваякол	дым
скотный двор, смола	крезол	смола, лошадиные экскременты
уксус, кислый	уксусная кислота	уксус
сырный, потный, кислый	масляная, метилмасляная, октановая и декановая кислоты	ферментированное молоко
цветочный, цитрусовая цедра	октаналь	цитрусовые корки
грибной	октенол	грибы
фруктовый	этилпентаноат (эфир)	клубника, яблоко, ананас

Растительные и животные ингредиенты повара типично включают тысячи различных молекул, некоторые со своими собственными запахами, наиболее способными расщепляться на пахучие фрагменты, когда по ним ударит достаточное количество тепловой энергии. Ароматические химики задокументировали от десятков до тысяч летучих молекул в индивидуальных приготовленных продуктах. К счастью, похоже, только малая доля их вносит значительный вклад в запахи, которые мы в действительности воспринимаем.

Некоторые из наиболее тщательных исследований пищевых ароматов были проведены исследовательской группой, которая сейчас является частью Лейбницкого института биологии пищевых систем рядом с Мюнхеном. В 2014 году Петер Шиберле, Томас Гофман и коллеги обзрели несколько десятилетий работы и сообщили, что только 230 молекул составляют большинство важных летучих молекул в широком ряде продуктов и что заданный пищевой аромат можно более-менее симулировать при помощи примерно дюжи-

ны этих ключевых молекул в специфических пропорциях. Этот «комбинаторный код» может не включать нюансы, которые заметил бы гурман, но он передает основную ароматическую личность продукта точно так же, как узнаваемый набросок передает лицо. Мы часто будем встречаться с этими ключевыми летучими молекулами, когда будем вынюхивать наш путь через мир приготовленных и ферментированных продуктов.

Помимо душистых трав и пряностей, которые мы используем специально из-за их ароматов, наши сырые ингредиенты состоят в основном из нелетучих, непахнущих молекул. Когда эти белки, сахара, крахмалы, жиры и мембранные липиды разбираются на составные элементы разумным применением жара поваром, все они вносят вклад в приятные приготовленные ароматы. Они склонны вырабатывать общие наборы летучих молекул, которые я назову «букетами». Эти четыре группы родственных летучих молекул помогают определить характерный «приготовленный» запах большинства продуктов, приготовленных под воздействием жара.

ПРИГОТОВЛЕННЫЕ БУКЕТЫ: ЖИРНЫЙ, СЕРНЫЙ, СЛАДКИЙ, ОРЕХОВЫЙ

Из четырех основных букетов приготовленных летучих молекул наиболее распространенный — это также наименее очевидный. Я назову его **жирным букетом**, потому что он возникает от жиров, масел и липидов клеточных мембран. Эти длинные, нелетучие углеродно-водородные цепочки — пищевые молекулы, наиболее уязвимые к изменению кислородом, водой и жаром, даже мягкими, непиролитическими температурами готовки. Поскольку у всех живых организмов есть мембраны, все продукты вырабатывают жирный букет, даже овощи и фрукты. Это обширная смесь молекул стартового набора и запахов, придающая нечто вроде размытого летучего фона, характерное дыхание приготовленности, порой с более специфическими

гранями. Курицы и другие птицы вырабатывают жирные букеты, в которых преобладает десятиуглеродный декадиеналь, запах которого обычно описывается как «жареный во фритюре», потому что это ключевая летучая молекула, вырабатываемая обычными маслами для жаренья, произведенными из семян. Определенные масла, углеродные цепочки которых имеют больше изломов, вырабатывают фрагменты, похожие на ключевые летучие молекулы в морских существах, поэтому они пахнут рыбно. Жиры животного молока и мяса, как случилось, вырабатывают те же самые лактоны, которые придают кокосу и косточковым плодам их сладко-кремовые характеристики.

Три остальных приготовленных букета происходят от более прочных пищевых молекул, менее уязвимых к воздействию кислорода и воды. Они по большей части вырабатываются при температурах кипения и выше, когда пиролитические реакции среди самих цепочек становятся значительными. Реакции, вырабатывающие большинство летучих молекул, задействуют сахара и аминокислотные строительные элементы белков. Их первичное столкновение друг с другом запускает сложный реакционный каскад, продукты каждой стадии последовательно вступают в реакцию, образуя новые наборы продуктов и все более богатый аромат. На последних стадиях каскада и при температурах гораздо выше точки кипения они вырабатывают крупные агрегатные молекулы, дающие типичный коричневый цвет поджаренных и зажаренных продуктов, поэтому весь каскад часто несколько некорректно называют **реакциями потемнения**. Они также известны как **реакции Майяра**, в честь французского химика, первым заметившего их столетие назад, Луи Камиля Майяра.

Один приготовленный букет, вырабатываемый на ранних стадиях реакции Майяра, отмечен присутствием серы, элемента, который все растения и животные содержат в аминокислотах и разнообразных других молекулах. **Серный букет** вносит вклад в аромат многих

Жирный букет приготовленных запахов

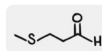
Запахи	Молекулы	Преимущественно в
приготовленный, жирный (смесь из зеленого, грибного, огуречно-дынного, рыбного, металлического, жирного, воскового)	смесь C_2-C_{10} спиртов, альдегидов, кетонов (например, ацетальдегид, этанол, гексанол, гексанааль, октанааль, октенол)	большинство продуктов
жареный	декадиенали	масла из кукурузы, семени хлопчатника, подсолнечника, виноградной косточки; мясо птицы
рыбный	смесь C_7, C_8, C_9 цепочек с двойными связями (например, гептенааль, гептадиенааль, октенон, октадиенон, нонадиенааль)	морепродукты; масла из сои, канолы (рапса), льняного семени
кокос, кремовый	лактоны	животные жиры

Серный букет приготовленных запахов

Запахи	Молекулы	Также содержится в
вареный картофель	метиональ (метилтиопропанааль)	хурма, черные трюфели, рожь
океанический воздух, вареные овощи или молоко	диметилсульфид, дисульфид и трисульфид	океанический воздух, морские водоросли, трюфели, дуриан
вареное яйцо	сульфид водорода	горячие источники, болота, канализация
гниющие овощи	метантиол	болота, канализация

вареных продуктов, и в нем преобладают маленькие летучие молекулы, знакомые по горячим источникам и океаническому воздуху, а также менее благотворным источникам. Диметилсульфид, который также испускается обитающими в соленой воде существами (см. с. 305) и, таким образом, несет влажный, океанический оттенок, — это важный компонент в запахах подогретого молока и многих вареных овощей (выработка DMS может быть сокращена приготовлением овощей в подкисленной воде). Сульфид водорода и метантиол могут быть неприятно сульфидными и протухлыми в других контекстах, но следовые количества, обнаруженные в приготовленных продуктах, обычно лишь добавляют притягательную глубину совокупному

запаху. Несколько дисульфидов и трисульфидов — важные нотки в приготовленном луке и жареном мясе, а содержащий серу альдегид **метиональ** придает внутреннему содержанию только что сваренного картофеля его отличительный характер.



Есть также **сладкий букет** летучих молекул Майяра, который развивается при температурах, достаточно высоких, чтобы сделать продукты светло-коричневыми, обычно во время выпекания или жаренья. Он состоит в основном из углеродно-кислородных колец, измененных от их углеводных оригиналов, «сладких» по качеству, потому что одни — определяющие компоненты карамели коричневого сахара, а другие, как **мальтол**, те же

Сладкий букет приготовленных запахов

Запахи	Молекулы	Также содержится в сырых
сладкий, карамель	мальтол	древесины, ягоды, мед
сладкий, древесный, хлебный, коричневый	фурфурол, фуранальдегид	фрукты, ваниль, бобы тонка, сено
пажитник, клен	сотолон (карамельный фуранон)	пажитник, млечник
фруктовый, карамель	фуранеол (клубничный фуранон)	клубника, ананас, манго, многие фрукты
масляный, сладкий, карамель	диацетил	клубника, банан, масло
мед	фенилацетальдегид	цветы, мед

Ореховый букет приготовленных запахов

Запахи	Молекулы	Также содержится в сырых
ореховый, поджаренный, попкорн, сладкий	пирролины (C_4 , с одним атомом азота в цикле)	рис, листья пандана
поджаренный, жареный, ореховый, землистый	пиразины (C_4 , с двумя атомами азота в цикле)	картофель
солодовый, какао, ореховый, потный	метилбутаналь	томат, трюфель

самые молекулы, которые вырабатываются растениями, чтобы сигнализировать о плодовой спелости.



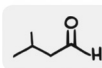
Фураноны сотолон и фуранеол, знакомые по пажитнику и клубнике, — в центре сладкого букета. Углеродно-кислородная цепочка диацетил — ключевая летучая молекула в масле, а фенольное кольцо фенилацетальдегид напоминает мед.

Ореховый букет реакционных продуктов Майяра появляется при температурах, достаточно высоких, чтобы сделать продукты темно-коричневыми, во время жарки в тостере, в духовке и на гриле. Эти летучие молекулы — в основном углеродные кольца, включающие азотные атомы, серные атомы или сразу и те и другие: радикальные перестройки их оригинальных белковых и углеводных источников. Они бывают во многих различных конфигурациях — пирролидины, тиофены, тиазолы, тиоланы и другие, но пирролины и пиразины определенно самые распространенные.



Жареные-поджаренные **алкилпиразины** меняют метоксильное украшение овощных пиразинов на простые метиловые и этиловые группы.

В ореховом букете есть одна особенно важная летучая молекула, фигурирующая в запахах многих более легко приготовленных продуктов, она даже образуется во время ферментаций и в спеющих томатах.



Маленький альдегид с разветвленной цепью **метилбутаналь** не включает ни серу, ни азот, и он отщепляется от конкретных аминокислот при куда более низких температурах, чем образуются кольца Майяра. Он обычно описывается как пахнущий какао или ячменным солодом (ячменным зерном, частично пропеченным, затем поджаренным для приготовления сладкого сиропа или пива), и порой у него есть оттенок сырной или потной характеристики его кузины, метилмасляной кислоты.

ЗАПАХИ МЕТОДОВ ГОТОВКИ: ВАРЕННЫЕ, ОБЖАРЕННЫЕ, ПОДЖАРЕННЫЕ НА ГРИЛЕ, КОПЧЕНЫЕ, ЖАРЕННЫЕ

Методы готовки подразделяются на две основные группы, которые обрабатывают продукты при очень разных температурах и отмечают их очень разными ароматами. **Влажные методы готовки** нагревают продукты жидкой водой или паром, которые поднимают температуру поверхности продукта до обыкновенной точки кипения воды и не выше; варка под давлением поднимает температуру на несколько десятков градусов выше этой. Поэтому в запахах, вырабатываемых **варкой, варкой на медленном огне, тушением, варкой на пару и варкой под давлением**, преобладают изначальные летучие молекулы продукта, а также жирные и серные букеты, вырабатываемые фрагментацией липидов и белков. Запахи ароматных овощей усиливаются и дополняются; запахи относительно неароматного сырого мяса становятся в основном жирными и серными.

Сухие методы готовки достигают температур на сотни градусов горячее, чем вода или пар, посредством нагретого воздуха духовки, инфракрасного излучения стенок духовки, или раскаленных электрических элементов, или углей, или пламени, или же горячего масла или жира. Они способны испарить большую часть влаги с поверхности продукта и

ускорить пиролитический каскад. Пиролиз вырабатывает как маленькие летучие молекулы, так и крупные нелетучие кластеры углеродных колец, поглощающие свет и цвет поверхности продукта — сперва светло-коричневые, темнее, когда реакции продолжают, коричнево-черные, если поверхность обугливается. Цвет поверхности — хороший показатель развития аромата, который даже ассоциируется с запахами некоторых летучих молекул: поджаренные, жареные фурановые, пирролиновые и пиразиновые кольца часто описываются как имеющие «коричневый» запах. Коричневые цвета и ароматы также могут развиваться при более низких температурах в продуктах со значительным количеством воды — мясные бульоны и зерновой замес для пива составляют два примера, — но только в течение долгого времени готовки.

В запахах, созданных сухими **выпеканием, обжаркой и жаркой в духовке**, преобладают сладкие запахи расщепления углеводов и кольца орехового букета. В хлебных корочках и тостах, обжаренных орехах и коже и корочке жареных курицы и говядины преобладают углеродно-азотные кольца. Очень высокие температуры **жарки на гриле и жарки на открытом огне** могут довести пиролиз поверхности продукта достаточно далеко, чтобы обуглить ее, разобрать на составные элементы фураны, пирролины и пиразины и выработать дымные и смолистые продукты расщепления, типичные для тлеющей древе-

Некоторые характерные запахи методов готовки

Методы готовки	Составляющие запахи	Молекулы
варка, варка на медленном огне, варка на пару	мягкий, приготовленный, серный, сладкий	альдегиды, сульфиды
выпекание, обжарка, жарка в духовке	сладкий, поджаренный, жареный, масляный	фураны, фураноны, ацетилпирролин, пиразины, диацетил
жарка	мягкий, жирный, приготовленный, серный, сладкий, поджаренный	альдегиды, сульфиды, тиолы, фураны, ацетилпирролин, пиразины
жарка на гриле	сладкий, жареный, обугленный	фураны, фураноны, пиразины, гваякол, крезолы, скатол

Некоторые дымы для обработки продуктов

Источник дыма	Составляющие запахи	Молекулы
древесины	масляный, хлебный, карамель, дымный, гвоздика, ваниль, смолистый, жареный	диацетил, фураны, фураноны, сириголы, гваяколы, эвгенол, ванилин, крезолы, пиразины
черный чай + сахар + мука	сладкий, хлебный, карамель, фруктовый, смолистый, поджаренный	фураны, фураноны, мальтол, метилбутилацетат, гептанол, крезолы, пиразины
тайская ароматизированная свеча, тиан оп	дыня, цитрус, апельсин, цедра, восковой, дымный, ваниль, благовония	гептаналь, октаналь, нонаналь, деканаль, октеналь, гваякол, ванилин, санталолы

сины (см. с. 330). Раскаленный **древесный уголь** испускает свой собственный похожий на нефтехимические продукты букет более оборванных углеродных колец ВТЕХ (см. с. 348) вместе с формальдегидом и другими альдегидами с короткой цепью, а также порой аммиак. Поверхности продуктов, богатые содержащими азот белками, могут развить смолистый крезол и фекальный скатол, которые могут вносить значительный вклад в аромат жареных на гриле мяса и рыбы. **Копчение** обрабатывает продукты пиролизическими летучими молекулами косвенно при помощи паров тлеющей древесины, поэтому сами продукты могут быть легко приготовлены. Некоторые сорта древесины, известным образом, лучше, чем другие, вырабатывают ароматические, а не едкие пары, но на удивление мало известно о химических деталях; дерево гикори, судя по всему, вырабатывает необычно избыточные пиразины. Китайская **копченая** утка готовится сжиганием смеси чайных листьев, порой веточек или древесных опилок, но обычно риса или муки, вместе с сахаром и пряностями: сахар вносит карамельные фураны и фураноны; чайные листья — родственные фенолу дымные и смолистые кольца; мука — сладкий мальтол и пожаренные пиразины; а вся смесь — парочку фруктовых разветвленных цепочек. В Таиланде некоторые десерты ароматизируются тем, что их заключают вместе с **ароматизированной свечей**, тиан оп, фитиль которой тлеет и заполняет контейнер дымом. Здесь

ключ — состав свечи из пчелиного воска, которая вдобавок к ее длинным, способным фрагментироваться цепочкам ароматизирована благовонными материалами, такими как бензоин, ладан или сандаловое дерево, цитрусовые корки, душистые травы, пряности, эфирные масла, даже мускус!

Уникальна среди обычных методов готовки **жарка**: она нагревает пищевые продукты пищевыми продуктами. Мы покрываем или погружаем продукт в растительное масло или животный жир, которые, в отличие от воды, можно нагревать гораздо выше точки кипения, таким образом, выварить влагу с поверхностей продуктов и стимулировать реакции, делающие поверхности коричневыми и ароматными. Длинные углеродные цепочки масел и жиров тоже уязвимы к расщеплению, и именно их фрагменты, по большей части альдегиды, и придают жареным продуктам и кухонному воздуху этот характерный запах. Декадиенали, похоже, являются ключом к характерному вкусу жареных продуктов, возможно потому, что они достаточно редкие в природе, чтобы выделяться из общего дыма зеленых, грибных, фруктовых, восковых альдегидных фрагментов. Они входят в число основных фрагментов, вырабатываемых линолевой кислотой, самыми высокими пропорциями которой обладают масла из **сафлора красного, подсолнечника, виноградной косточки и кукурузы**, и поэтому они вырабатывают самый сильный жирно-жареный запах.

Некоторые молекулы горячих масел и жиров

Составляющие запахи	Молекулы	Преимущественно в
жареный во фритюре	декадиенали, гептеналь, октеналь, октадиеналь, нонадиенали	масла сафлора красильного, подсолнечника, виноградной косточки, кукурузы
пластиковый, фруктовый	ноненали, деценали	высокоолеиновые соевое, рапсовое, оливковое масла
краска, рыбный	гептеналь, гептадиеналь, октенон, октадиенон, нонадиеналь	соевое, рапсовое масла
едкий, удушающий	пропеналь (акролеин)	раскаленные до дыма масла
опаленный, едкий, удушающий, растворитель	формальдегид, ацетальдегид, бензол, толуол	взрыв масляных капель

Хотя многие из этих альдегидов аппетитные, как хорошо известно, они токсичны для клеток дыхательных путей, и они вносят вклад в респираторные заболевания, распространенные среди кухонных работников. Эта проблема вызвала особую озабоченность в Китае, где даже дома продукты могут жариться в раскаленном масле с постоянным помешиванием каждый день при температурах и техниках, которые заставляют парящие в воздухе масляные капли зрелищно взрываться над воком. «Дыхание вока», **вок хей**, часто восхваляется как знаковый аромат великолепной жарки в раскаленном масле с постоянным помешиванием, но частое подвержение воздействию масляных капель и высокие уровни летучих молекул, вырабатываемых ей — среди них формальдегид и другие альдегиды, бензол и толуол, — считаются ответственными за относительно высокую

распространенность рака легких среди китайцев.

АРОМАТИЧЕСКИЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ МАСЛА И ЖИВОТНЫЕ ЖИРЫ

Некоторые кулинарные жиры и масла ароматические по своему собственному праву и ароматизируют поверхности продуктов так же, как и характерные жареные альдегиды. Два вида часто производятся из поджаренных сухих семян и содержат знаковые поджаренные, жареные пиразины. **Арахисовое масло**, из южноамериканского члена бобового семейства, соединяет приятные жареные декадиенали со сладкой, фруктовой и ванильной нотками. **Кунжутное масло**, из семени родом из Индии, возможно первым когда-либо культивированного за его масло, особенно попу-

Некоторые ароматические кулинарные масла

Масло или жир	Составляющие запахи	Молекулы
арахисовое (поджаренное)	жирный, жареный, зеленый, печеный, сладкий, печеное яблоко, ваниль	ноненаль, декадиенали, пиразины, этилметилбутират, дамасценон, ванилин
кунжутное (поджаренное)	мясной, кофе, серный, дымный, мед	фураны, пиразины, тиазолы, тиазолины, фурфурилтиол, гваякол, фенилацетальдегид
оливковое, неочищенное «extra virgin»	зеленое яблоко, зеленые листья, травяной, фруктовый, томат	гексенали, гексадиеналь, гексанааль, гексенолы, гексенилацетат, пентенон

лярно в Азии, на Среднем Востоке и в Африке. Оно продается как в мягкой, так и в более сильно жареной форме, последняя (как поджаренные кунжутные семена) — с набором кофейных, мясных серных летучих молекул и дымным гваяколом.

Оливковое масло получают не из сухих семян, а из свежих маленьких плодов средиземноморского дерева; оно использовалось со времен древних цивилизаций как в готовке, так и в лампах и для ухода за кожей. Оливки богаты маслом, когда они спелые и фиолетово-черные и содержат эфиры, типичные для многих спелых плодов. Но на этой стадии они мягкие, слабо устойчивые к повреждению и поражению микробами, которые могут придать прокислые, винно-уксусные и переспелые или протухлые запахи маслам. Сегодня самые высококачественные оливковые масла отжимаются из зеленых плодов, только начинающих менять цвет, как Като и Плиний заметили в древние времена! Раздавливание заставляет защитные ферменты плодов вырабатывать дюжину пермутаций альдегидов и спиртов зеленой листвы, а также несколько эфиров. Этот шквал летучих молекул заключается в маслах, которые в свежем состоянии могут предоставить непревзойденный этюд нюансов зеленой листвы: нотки, варьирующиеся от скошенной травы до раздавленных листьев и до томатных листьев, артишоков, зеленых яблок, зеленых бананов и незрелых миндалей или грецких орехов. Эти нотки постепенно исчезают во время хранения, и они быстро изгоняются в процессе готовки, заменяемые более характерными жирным и жареным букетами.

Два других характерных растительных масла получают из пальмовых деревьев, и они вызывают ассоциации с тропическими кухнями. **Пальмовое масло** вырабатывается в основном из деревьев родом из Африки и ароматизирует блюда в регионах Бразилии с историческими связями с работорговлей. Оно извлекается из плодовой мякоти пальмы (менее ароматное пальмовое зерновое масло получают из семян) и в неочищенном виде имеет темный красно-оранжевый цвет от каротиноидных пигментов. Его примечательный запах обусловлен фрагментами этих пигментов, которые напоминают древесину, цветы, шафран и табак; в пятнадцатом веке венецианский путешественник Альвизе Кадамосто задокументировал его «приятный аромат фиалок».

Знаковое **кокосовое масло** извлекается из крупных плодов азиатской пальмы и ярко выражается в южноазиатской кухне, в западных сладких блюдах — и в кремах от загара и лосьонах для загара. В его моментально узнаваемом запахе уникальным образом преобладают лактоны (см. с. 231). Они присутствуют в сырой кокосовой мякоти и масле из нее и становятся все более изобилующими, когда масло нагревается. Большинство из них, а также сам запах кокоса, описывают как имеющие сладкую, жирную, кремовую характеристику. По факту название лактон происходит от латинского слова «молоко», обогащенные жиром сливки которого тоже содержат эти молекулы. Несколько других плодов, включая ананасы и персики, испускают лактоны вместе с более типичными эфирами спеющих плодов.

Некоторые тропические кулинарные масла

Масло или жир	Составляющие запахи	Молекулы
пальмовое, неочищенное	древесный, цветочный, сладкий, смолистый, шафран, табак	триметилциклогексанон, триметилциклогексенон, циклоцитраль, ионон, линалоол
кокосовое	кокос, кремовый, жирный, сладкий, ореховый	окта-, дека-, додека-лактоны, гексанааль, нонаналь, ундеканон

Сладко-кремовые лактоны также часть притягательности различных животных жиров, используемых для жарки. Мы в действительности не знаем, что лактоны делают в животных жирах, но это, похоже, биохимическая счастливая случайность, которая просто случайным образом напоминает растительные сигналы о спелости. **Куриный жир и утиный жир**, с избыточными изломанными углеводными цепочками, оба имеют в первом эшелоне приятный пахнущий жареным декадиеналь, куриный жир поддерживает его лактонами, утиный жир — грибными восьмиуглеродными цепочками. **Лярд**, вытопленный из менее изломанного телесного жира свиней, сочетает альдегиды средней длины со сломанными цепями, восковые и напоминающие цитрусовую цедру, с грибным октенолом и кокосовым лактоном. **Говяжий топленый жир**, вытопленный из еще

менее изломанного телесного жира коров и волов, имеет такие же восковые, цитрусово-цедровые нотки, а также кокосовые и персиковые лактоны, и длительное нагревание высвобождает знаковую нотку говяжьего жира, разветвленный тринадцатуглеродный альдегид метилтридеканаль.

Отдельную категорию составляет **масло из коровьего молока**, которое получает свой аромат от мягкой ферментации сливок, из которых оно сбито (см. с. 445), вместе со следами белков и сахаров в остаточных каплях молока. Ферментационные микробы поднимают четырехуглеродный диацетил до его знаковой масляной летучей молекулы, компанию которой составляют множественные лактоны, грибной октенон и сырная масляная кислота. **Очищенное топленое масло**, нагретое, чтобы отделить жирные молекулы от водянистых молочных капель,

Некоторые животные жиры

Масло или жир	Составляющие запахи	Молекулы
куриный жир	жареный, сладкий, жирный, фруктовый	декадиеналь, ундеценаль, додекалактон, декалактон, ноненаль, нонадиеналь
утиный жир	жареный, зеленый, восковой, цитрус, грибной, миндаль	декадиеналь, гексаналь, нонаналь, октенон и октеналь, гептадиеналь, бензальдегид
свиной лярд	восковой, цитрусовая цедра, зеленый, грибной, кокос, кремовый	деканаль, гептеналь, нонаналь, гексаналь, октенон, гамма-окталактон
говяжий топленый жир	восковой, цитрусовая цедра, цветочный, жареный, зеленый, сладкий, кремовый, кокос, персик, сальный	деценаль, ундеценаль, декадиеналь, нонаналь, гексаналь, ноненаль, гамма-гекса-, окта-, нона-, ундека-лактоны, метилтридеканаль
масло	масло, кокос, кремовый, грибной, коровий, сырный, скотный двор	диацетил, дельта-декалактон, октенон, масляная кислота, скатол
масло, нагретое	сладкий, карамель, жареный, грибной, кокос, кремовый, фруктовый, скотный двор	фуранеол, декадиеналь, октенон, дельта-окта-, дека-, додека-лактоны, скатол
гхи	сладкий, карамель, кремовый, кокос, фруктовый	гидроксиметилфурфурол, фуранметанол, мальтол, дельта-гекса-, окта-, дека-, додека-лактоны

теряет большую часть своего диацетила, но приобретает сладкие, фруктовые, кокосовые кольца. Для приготовления индийского **гхи** нагревание продлевается, чтобы поджарить молочные твердые вещества, что вырабатывает более сильный карамельный аромат.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ: МОЛОКО, СЛИВКИ, ЯЙЦА

Мы начнем наш обзор приготовленных продуктов с одних из самых пресных и самых многофункциональных, включая родителя масла. Молоко и яйца — удивительные ингредиенты, первые продукты, которые вскармливают новорожденных млекопитающих и нерожденных пернатых концентрированными белками и энергией, а также помогают повару готовить блюда, которые могут быть бархатными, или сладкими, или по большей части воздушными.

Молоко — это смесь многочисленных белков, сахаров и нескольких сотен различных углеродных цепочек, большая часть последних связана с жирными молекулами. Но также есть летучие следы индивидуальных цепочек, и они могут быть усилены расщепляющей жиры деятельностью энзимов в молоке и тех, что переносятся микробами. Свежее (сразу от животного) молоко обладает характерными запахами, варьирующимися в зависимости от вида животного и его корма. В обычном коровьем молоке жирные фрагменты и парочка эфиров предоставляют сладкую, фруктовую, грибную нотки, в то время как сульфид и содержащий азот индол происходят от белков и вставляют более животные характеристики. **Пастеризованное молоко** было нагрето до температуры от 60°C до 70°C, чтобы уничтожить потенциально вредоносных микробов, мягкая готовка, выдвигающая на первый план серную океаническую нотку вместе с кокосовым декалактоном. **Сливки** — доля, отделившаяся от молока с пятикратно более высокой концентрацией жирных капель

и лактонов, содержащихся в них. Когда они используются для приготовления жирных взбитых сливок или мороженого, аэрация и перемешивание вызывают частичное жировое расщепление и повышение уровней коровьих масляной и октановой кислот. **Обезжиренное молоко**, с очень малым количеством жира, имеет меньше летучих молекул и мягкий аромат, который может быстрее, чем жирное молоко, проявлять несвежие, картонные нотки окисления (см. с. 424).

УВТ, или ультравысокотемпературные, молоко и сливки нагревались достаточно радикально, чтобы продержаться в течение нескольких месяцев при комнатной температуре. Это экстремальное нагревание вырабатывает избыточные лактоны, но также жареные-поджаренные азотные и серные кольца, а еще ванилин. **Подслащенное конденсированное молоко** полагается своей устойчивостью частично на большую пропорцию сахара, не так сильно нагрето и не такое поджаренное, хотя приготовление его самого по себе быстро превращает его во вкусный карамельный соус. **Обезжиренное сухое молоко**, лишенное своих длинных углеродных цепочек и подвергнутое и нагреванию, и дегидрированию, развивает полчище сладких, фруктовых, жареных, поджаренных колец, совсем не похоже на первоначальную животную жидкость.

Козий и овечий сорта молока выделяются благодаря их необычной этилоктановой кислоте с разветвленной цепью, которая по большей части уникальна для их жиров и отождествляется с ними. Другой важный элемент козье-овечьей нотки — фекальный скатол, также микробный продукт, вырабатываемый в более высоких уровнях при питании зеленым фуражом, в котором относительно высокий уровень белков (см. с. 86). Готовка уравнивает эти характеристики с цветочной фенилуксусной кислотой и несколькими ореховыми и фруктовыми лактонами.

Яйца содержат материалы, необходимые птичьему эмбриону для развития в птенца,

Некоторые сорта молока и сливок

Продукт	Составляющие запахи	Молекулы
молоко, коровье, сырое	фруктовый, сладкий, серный, восковой, грибной, прокислый, коровий	этилгексаноат и -бутират, диметилсульфон, нонаналь, октенол, индол, масляная кислота
молоко, коровье, пастеризованное	серный, травяной, восковой, грибной, прокислый, коровий, кокос	диметилсульфон, гексаналь, нонаналь, октенол, индол, масляная кислота, дельта-декалактон
сливки, коровьи	кокос, кремовый, персик, коровий	дека-, додека-, додеценолактоны, скатол, масляная кислота, диметилсульфид
молоко и сливки, коровьи, УВТ	кремовый, кокос, персик, сладкий, травяной, поджаренный, ваниль	C ₈ -C ₁₀ и C ₁₂ лактоны, гептеналь, ацетилпирролин и -тиазолин, ванилин
молоко, подслащенное конденсированное	кокос, кремовый, персик, карамель, фруктовый, пластик	дека-, додека-, додеценолактоны, фуранметанол, гептанон, триметилбензол
молоко, коровье, обезжиренное сухое	карамель, пажитник, коровий, картофель, фруктовый, кокос, ваниль, поджаренный	фуранеол, сотолон, масляная кислота, метиональ, аминокетофенон, дельта-декалактон, ванилин, ацетилпирролин и -тиазолин
молоко, козье, сырое	козлиный/стойло, фекальный, медицинский, жирный, цветочный, мед, ваниль	этилоктановая кислота, скатол, пропилфенол, декановая кислота, фенилуксусная кислота, ванилин
молоко, козье, приготовленное	цветочный, мед, козлиный/стойло, фекальный, цветочный, кокос, кремовый, персик, океан	фенилуксусная кислота, этилоктановая кислота, скатол, гамма-додеценолактон, гамма-ундекалактон, дельта-декалактон, DMS

способного проклюнуться из скорлупы. Сама крошечная яйцеклетка плавает на поверхности желтого желтка, сферы, богатой белками и имеющими длинную цепь с жирными и мембранными молекулами. Окружающий его липкий и бесцветный **альбумин** состоит в основном из воды и белков, значительно богатых содержащими серу аминокислотами, основной источник знакового летучего сульфида водорода, который предоставляет преобладающий запах только что приготовленных целых яиц. Не испорченных микро-

бами «тухлых яиц», как часто утверждается, в которых сульфид водорода уступает место протухлой смеси имеющих короткую цепь кислот, аминов и тиолов (намеренно ферментированное яйцо — хорошо изученный ингредиент репеллентов от оленей). Сульфид водорода довольно-таки летучий и быстро испаряется из приготовленных яиц, поэтому их аромат исчезает. С его разнообразной смесью сырых материалов яичный **желток** развивает сложный аромат, включающий зеленую, грибную и жирную, жареную нотки.

Яйца, приготовленные и «тухлые»

Продукт	Составляющие запахи	Молекулы
яйцо, только что приготовленное	сульфидный, гнилые овощи, свежий, уксусный	сульфид водорода, метантиол, ацетальдегид, уксусная кислота
яичный желток, приготовленный	картофель, зеленый, поджаренный, грибной, мед, жареный	метиональ, гептаналь, ацетилпирролин, октенон, фенилацетальдегид, декадиеналь
яйцо тухлое (ферментированное)	сырный, мочевого, серный, фруктовый	масляная и капроновая кислоты, триметиламин и другие амины, гидроксизантиол, многочисленные эфиры
яйца, приготовленные и испорченные	гнилые овощи, сульфидный, какао, свежий	метантиол, сульфид водорода, метилбутаналь, ацетальдегид

МЯСО И МЯСИСТОСТЬ

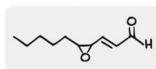
Мясо, съедобные мышцы и органы наших собратьев-животных, вскормило возникновение нашего вида и остается среди наших наиболее широко притягательных продуктов. Даже хотя многие люди избегают есть мясо, сегодня человечество забивает десятки миллиардов пищевых животных ежегодно. Мясистость определяется плотной текстурой, сытным вкусом и характерными ароматами. Когда они проанализировали парфюм, выпускаемый говядиной, когда она аппетитно запекается в духовке, химики, работающие в Швейцарии, обнаружили присутствие нескольких тысяч различных углеродных цепочек и колец, а также сотню серных молекул. Запах приготовленного мяса — это богатая смесь всех базовых приготовленных букетов, усиленных специфически мясным букетом, отражающим природу самой животности.

Животные живут, преследуя и поглощая другие формы жизни, и животное тело строится в основном из белков, молекул, активно работающих для того, чтобы оно двигалось и поддерживало себя. Таким образом, его ткани — хорошие источники содержащих серу аминокислот и ароматических серных фрагментов. Животные также зависят от кислоро-

да, чтобы вырабатывать химическую энергию, заряжающую их мышцы и органы, и у них есть специализированные белки для поглощения кислорода из воздуха и распределения его по их телам: гемоглобин в крови и миоглобин в мышцах и органах. В этих избыточных белках есть молекула, непосредственно производящая связывание кислорода, и, как оказывается, эта молекула по большей части ответственна за мясистость приготовленной плоти.

Связывающий кислород компонент — это гем, придающий животным крови и тканям их характерный красный цвет; чем более активна и голодна до энергии ткань, тем она темнее от гема. В центре каждой молекулы гема — атом железа, элемента, готовность которого делиться электронами сделала его важным ресурсом в эволюции ранних форм жизни (см. с. 46) и сделала версии гема вездесущими среди живых организмов сегодня. Животные ткани содержат так много гема, что, когда на них воздействует готовка, внезапно неуправляемая химическая активность его железа провоцирует несметное количество химических изменений, включая выработку, иным образом, редких летучих молекул, помогающих определить мясной аромат.

Один мясной фрагмент развивается до какой-либо готовки и вносит вклад в «кروавый» запах сырого мяса, отзвук нашей собственной богатой гемом крови, когда мы прикусываем губу или облизываем порез. Мы обычно описываем запах как «металлический», потому что он схож с запахом, остающимся на наших пальцах, когда мы держим в руках монетки, или в воздухе, когда мы трем неэмалированную металлическую кастрюлю или раковину. Но сами металлы не являются летучими, мы чуем фрагменты, созданные, когда залетное железо гема и другие металлы помогают кислороду воздействовать на углеводные цепочки в наших клеточных мембранах, кожных маслах или средстве для мытья посуды.



Полиненасыщенные цепочки, изломанные в нескольких точках двойными связями между прилегающими углеродными атомами, самые неустойчивые, и мы воспринимаем фрагменты, имеющие излом-другой, как обладающие металлическим запахом. В случае крови и открытых поверхностей сырого мяса ключевой фрагмент — десятиуглеродный альдегид с одним изломом и с кислородным атомом в середине, **эпокси-деценаль**. Наши предки-гоминиды знали эту молекулу и запах задолго до того, как они обратили особое внимание на горные породы и руды, поэтому в течение большей части нашей предыстории они, вполне возможно, воспринимали металлы как пахнущие кровью.

Таким образом, созданный гемом эпокси-деценаль придает сырому и недожаренному мясу его металлическую нотку. Более тщательная готовка в действительности увеличивает его уровни, но она также помога-

ет гему выработать многие другие летучие молекулы, заглушающие его присутствие. Вдобавок к характерным приготовленным и связанным с методом готовки букетам специфический **мясной букет** возникает от необычных серных продуктов аминокислот и витамина тиамина.



Эти фурансульфиды и **фурантиолы** разнообразно напоминают жареное мясо или жареный лук (а также вносят эти нотки в кофе, необычные плоды и кошачью мочу!). Для поваров, которые хотят придать мясной вкус блюдам без мяса, полезно знать, что **дрожжевой экстракт**, сделанный из микроскопических грибов, даже богаче этими и родственными серными молекулами, чем **говяжий экстракт**.

Мясо от конкретных животных добавляет свои собственные знаковые летучие молекулы к базовому мясному букету, который в бульонах и соусах обычно богаче, когда их долго и медленно варят, чем при быстрой варке. Для **говядины** это необычный сальный альдегид, произошедший от более длинных цепочек в ее клеточных мембранах; мясо от более старых животных вырабатывает больше этого метилтридеканала, как и долгое тушение. **Свинина** необычно богата содержащими серу кольцами, возможно, потому, что ее ткань богата тиамином. Ее «свиной», напоминающий свинарник аспект обусловлен животными летучими молекулами, созданными микробами в кишках животных и запасенными в их жире, в то время как «кабанье загрязнение» сочетает эти характеристики с мочевым запахом мужского гормона андростенона (см. с. 97); самцов свиней часто кастрируют, чтобы минимизировать это. **Ягнятина** и **баранина** отмечены пахнущей

Некоторые кровавые, металлические, печеночные, пахнущие дичью нотки в мясе

Составляющие запахи	Молекулы
кровавый, металлический	эпокси-деценаль
металлический, гриб	октенон, ноненон
лист герани, металлический	октадиенон
металлический	гексенон, гептенон, ноненол

Некоторые запахи мяса и экстрактов, готовящихся и приготовленных

Источник или характеристика запаха	Составляющие запахи	Молекулы
говядина во время запекания	жирный, овощной, серный, картофель, лук, мясо, жареный	20 альдегидов и кетонов; изобилирующая сера: метантиол, метиональ, диметилтрисульфид, метилфурантиол, метилтиофен, ацетилтиазолин, метилмеркаптопропанол
фоновые приготовленные букеты	жирный, овощной, металлический; серный; карамельный, сладкий, фруктовый; жареный, пикантный	букет разломанных цепочек; сульфид водорода и метилсульфид, метантиол, метиональ; фураны, фураноны, лактоны; пиразины, тиазолы, тиоланы
мясной	мясной, жареный, луковый	фурантиолы, фурансульфиды
говяжий экстракт	грибной, карамельный/фруктовый, жареный, потный	октенон, фуранеол, триметилпиразин, метилмасляная кислота
дрожжевой экстракт	мясной, жареный, картофель, грибной, серный, поджаренный	метилфурантиол и метилдитиофуран, метиональ, октенон, диметилтрисульфид, тиофены, пиразины

Характерные запахи приготовленных говядины, свинины, ягнятины и мяса птицы

Мясо	Характерные запахи	Молекулы
говядина	сальный, говяжий	метилтридеканаль, масляная кислота
свинина	сера, лук, жареный, свинина; свиной	тианы, тиоланы, тиазины; скатол, андростенон, аминоацетофенон
ягнятина	овечий, потный; животный	этилоктановая кислота; скатол, крезол
курятина	жареный, жирный, мясной, фруктовый, животный	декадиенали, фурантиолы, гамма-дека- и додека-лактоны, крезол
индейка	жареный, грибной, сладкий	декадиенали, октенон, пентилтиофен
утятина	жареный, потный, грибной, кофе, серный; печеный, карамель (печень)	декадиенали, метилбутаналь, октенон, фурфурилтиол, диметилтрисульфид; ацетилтетрагидропиридин

потом разветвленной кислотой, вырабатываемой кишечными микробами и запасаемой в мышечном жире. Когда животные кормятся на пастбище, относительно богатым белками, лигнином и другими фенольными кольцами, тот же самый процесс откладывает пахнущие скотным двором крезолы и скатол, которые сочетаются с метилоктановой кислотой в животном «пасторальном» аромате.

Курицы и другие маленькие птицы разрабатывают свои мышцы гораздо меньше, чем тяжелые млекопитающие, поэтому у них лишь одна десятая или меньше содержания гема и мягкий приготовленный аромат. Их жирная кожа повышает уровни жареного во фритюре декадиенала и сладких лактонов. Мясо **индейки**, малоизученное, похоже, отличается частично грибным и металлическим октеноном. **Утки** — мигрирующие птицы, способные совершать полет на длинную дистанцию, поэтому их грудь с летательными мышцами богата одарена железом гема и имеет более сильный, более мясной аромат, чем курица или индейка.

Из внутренних животных органов, которые обычно едят, **сердца** и измельчающие семена **птичьи мускульные желудки** — это много работающие мышцы с избытком гема и мясного аромата. Сходным образом темно-красные **печени** — это не мышцы, но они очень активны — выполняют массу критически важных биохимических работ — и по факту содержат избыток тиамина, в несколько раз больше железа гема, чем мышцы, и аж в десять раз больше крайне изломанных цепочек. Поэтому печеночный аромат обычно сильный, с особенно ярко выраженными металлически пахнущими фрагментами. В противоположность этому **фуа-гра**, увеличенная печень уток и гусей, которых насильно кормили зерном, почти наполовину состоит из жира, большая его часть не крайне изломанная. Весь этот жир разбавляет гем, тиамин и изломанные цепочки, и это разбавление отражается в бледном цвете и приглушенной печеночности.

Печеночность — характерный аромат, который не выносят некоторые люди, в

остальном любящие мясо. Они обнаруживают его в оленине, и другом **мясе дичи** (включая куропатку!), и в **говядине травяного откорма**. Разница в приготовленных запахах между обыкновенной печенью и фуа-гра параллельна разнице между этими сортами мяса и типичной американской **говядиной зернового откорма**. Животные, кормящиеся на открытых пастбищах, получают большую пропорцию многоизломанных углеродных цепочек от целых растений, но в остальном худощавые, поэтому их металлические фрагменты ярко выражены. Скот, содержащийся на кормовых площадках, получает семена и концентраты, относительно бедные многоизломанными цепочками, чтобы ускорить их рост и откорм. Такое питание разбавляет многоизломанные цепочки в животных тканях, а в приготовленном мясе перекрывает металлические фрагменты жирными, восковыми, сальными фрагментами и лактонами. В Европе и Южной Америке, где выкормленная на пастбище говядина — это норма, аромат зернового откорма считается ненормально жирным, прогорклым и «несвежим». В Северной Америке, где концентраты загонов для откорма скота — это норма, аромат травяного откорма считается печеночным и имеющим душок дичи, аромат зернового откорма — ореховым и говяжьим.

Почему же печеночные, пахнущие дичью, металлические ароматы более отталкивающие, чем любые другие? Ответ, возможно, связан с атавистичной системой сигнализации, унаследованной от наших докулинарных предков. Имеющая металлический запах молекула эпокси-деценаль — это, как оказывается, знаковая оповещающая о тревоге летучая молекула для многих животных. Биологи обнаружили, что она — та самая ключевая идентифицирующая молекула крови, которой достаточно самой по себе, чтобы привлечь хищных животных, отпугнуть добычу — и вызвать настороженность в людях. Так что ничего удивительного, что она порой умалляет удовольствие от еды.

Насильно откормленные птицы, кастрированные боровы и скот зернового откорма — все почтенные версии некоего обонятельного камуфляжа, предварительная готовка в живой массе, выделяющая обобщенные жирные запахи поверх специфически животных и кровавых. Они отдалают наш прием пищи от запахов животной жизни и жестокости нанесения ранений и обрывания этой жизни; они помогают нам забыть, что мы хищные животные, получающие удовольствие от кусков плоти, предвосхищающих наш собственный конец.

РЫБА И РЫБНОСТЬ

Мясистость в пище — хорошая вещь. Рыбность обычно нет, как мы увидели (см. с. 310). Поскольку большинство рыб хладнокровные и живут в холодной, поддерживающей вес среде, они мало похожи на фермерских животных по своим тканям и присущим летучим молекулам. То же самое касается и их приготовленных ароматов. Мышцы рыб, моллюсков, ракообразных и иглокожих относительно нежные, их текстура лучше всего, когда они легко приготовлены — и их аромат лишь слегка изменен. Как указывает их обычный бледный цвет, они содержат мало вырабатывающего аромат железа гема. У многих рыб есть маленькие участки темных мышц рядом с плавниками и аккуратно под кожей, и они действительно имеют более сильный аромат, чем белая плоть на расстоянии всего лишь в несколько миллиметров.

Ароматы приготовленных рыб обусловлены в основном их цепочками клеточных мем-

бран и масел, которые крайне изломанные, чтобы оставаться жидкими в холодных водах (см. с. 309). Собственные энзимы рыб расщепляют эти цепочки на изломанные фрагменты, в основном длиной в шесть, восемь и девять углеродных атомов, которые имеют зеленую, огуречную, похожую на лист герани и дынную характеристики. Это летучие молекулы свежей рыбы, **водный жирный букет**: не мясной, но и не откровенно рыбный, вместо этого овощной и океанический. Быстрая готовка усиливает эти характеристики и добавляет содержащий серу метиональ от расщепления аминокислот. Согласно одному исследованию, узнаваемый набросок запаха приготовленной рыбы можно создать простой смесью всего лишь двух летучих молекул: похожего на лист герани октадиенона и похожего на приготовленный картофель метионаля.

Когда рыбы, моллюски, ракообразные и иглокожие менее свежие или приготовленные более тщательно, длительное воздействие кислорода или тепловой энергии расщепляет их изломанные цепочки, в основном на семи- и десятиуглеродные фрагменты, и именно эта смесь пахнет характерно рыбно. Долгое время готовки и температуры консервирования могут развить некоторые из мясных фурановых серных летучих молекул; метилфурантиол известен как «рыбный тиол» за его важность в запахе консервированного тунца.

Раздражающим образом даже идеально приготовленная свежая рыба, совсем не рыбная на тарелке, может порой оставлять рыбное послевкусие во рту, если до или после нее последовал глоток вина. Японские

Некоторые типичные запахи приготовленных рыб, моллюсков, ракообразных и иглокожих

Запахи	Молекулы
водный жирный букет: зеленый, рыбно-жирный, грибно-металлический, лист герани, огурец, дыня, жареный	гексеналь, гептеналь, гептадиеналь, октенон, октадиенон, нонадиеналь, нонадиенон, декадиенали
приготовленный рыбный букет: лист герани + приготовленный картофель	метиональ + октадиенон

Некоторые приготовленные рыбы

Рыба	Составляющие запахи	Молекулы
форель	лист герани, огурец, картофель, масляный, землистый, прокислый	октадиенон, нонадиеналь, метиональ, диацетил, геосмин, метилизоборнеол
лосось	лист герани, огурец, приготовленный картофель, жареный, прокислый	октадиенон, нонадиеналь, метиональ, декадиеналь, пропиональ
треска	приготовленный картофель, лист герани, какао, огурец, жареный	метиональ, октадиенон, метилбутаналь, нонадиеналь, декадиеналь
консервированный тунец	мясной	фурантиолы, сульфиды

Некоторые приготовленные ракообразные

Ракообразное	Составляющие запахи	Молекулы
креветка	попкорн, жареный орех, вареный картофель, подвергающиеся воздействию окружающей среды морские водоросли	ацетилпирролин, этилдиметилпипразин, метиональ, бромфенолы
краб	масляный, рыбный, попкорн, вареный картофель	диацетил, пирролидин, ацетилпирролин, метиональ
омар	масляный, вареный картофель, попкорн, потный, цветочный, животный	диацетил, метиональ, ацетилпирролин, метилмасляная и фенилуксусная кислоты, скатол, аминокетофенон

химики опознали виновника как следы железистого железа, обычно остающиеся в винах от металлического оборудования винодельни и катализирующие расщепление остатков изломанных цепочек, когда мы едим. Эта возникающая рыбность может быть несколько смягчена дополнительным выжиманием лимонного сока, лимонная кислота которого связывает железо.

Конкретные рыбы, моллюски, ракообразные и иглокожие обладают своими собственными характеристиками. В пресноводной **форели** готовка развивает картофельную и масляную характеристики, дополняющие овощные фрагменты расщепленных цепочек. Приготовленные **океанические рыбы** типа **трески** и **лосося** дополняют свои овощно-рыбные фрагменты различными пропорциями картофельной, жареной во фритюре, прокислой и похожей на какао ноток. Жир-

ные атлантический и королевский лососи могут развивать особенно сильные запахи, потому что у них в двадцать раз больше содержание изломанных цепочек, чем у худощавых рыб, типа трески, и поэтому они вырабатывают больше летучих фрагментов.

Ракообразные — креветки, крабы, омары, раки и им подобные — имеют общую семейную нотку, описываемую как похожую на попкорн, даже когда они сварены. Ответственная летучая молекула, ацетилпирролин, развивается, потому что ракообразные уравнивают соленость морской воды, накапливая аминокислоты, среди которых пролин с готовностью вырабатывает пирролин при нагревании. Пищеварительные и репродуктивные органы ракообразных — головы креветок и раков, задняя часть крабов, икра омаров — порой выбрасываются, но порой смакуются как самые ароматные части благо-

Некоторые приготовленные моллюски

Моллюск	Составляющие запахи	Молекулы
кальмар (длительная готовка)	приготовленный картофель, сырный, попкорн, пажитник, жареный кофе, мясной	метиональ, масляная кислота, ацетилпирролин, сотолон, фурфурилтиол, метилфурантиол
морские гребешки	вареный картофель, поджаренный, океанический бриз, приготовленная капуста, рыбный	метиональ, пиразины, диметилсульфид и -дисульфид
двустворчатые моллюски	сладкий, поджаренная кукуруза, ореховый, океанический бриз	мальтол, фуранеол, ацетилтиазолин, ацетилтиазол, диметилсульфид
мидии	картофель, масло, ореховый, луковый, кукурузные чипсы	метиональ, диацетил, этилпиразин, диметилтрисульфид, ацетилтиазолин
устрицы	виски, зеленый, восковой, гриб, жирный, дыня, океанический бриз	пентанол, пентенол, октанол, октенол, октадиенол, бензальдегид, сиреневый альдегид, диметилсульфид

даря их относительно высоким уровням липидов и фрагментирующего липиды железа.

Из членов семейства **моллюсков, осьминог и кальмар** — самые рыбоподобные в том, что активно плавают и состоят в основном из мышечной ткани. Поскольку они плотнее, повара порой варят их на медленном огне часами, в течение которых они могут развить мясные тиолы. Из двустворчатых моллюсков **морские гребешки** плавают, поэтому их мясо состоит в основном из мышц и напоминает мясо ракообразных. Более оседлые, питающиеся фильтрованием двустворчатые моллюски, мидии и устрицы собирают и сохраняют планктон, уравнивающий океанскую соленость при помощи DMSP (см. с. 305), который готовка помогает преобразовать в пахнущий океаническим воздухом диметилсульфид, особенно подобающая трансформация в блюде из печеных моллюсках на пляже, которое часто включает столь же сульфидную приготовленную кукурузу. **Двустворчатые моллюски** имеют заметно сладкий запах, **мидии** — картофельную и масляную нотки, а приготовленные **устрицы** сохраняют модифицированную версию своих первоначальных овощных характеристик (см. с. 316).

КОМПАНЕЙСКИЕ ОВОЩИ:
ТОМАТ, МОРКОВЬ, СЕЛЬДЕРЕЙ,
ЛУК

Теперь мы перемещаемся с животной плоти и ее порой овощных ароматических ноток на овощи и их порой мясные нотки! Для начала несколько надежных компаньонов в мясных и рыбных блюдах, и один в частности, предоставляющий ключевую ароматическую нотку долго тушеных рагу.

Плод растения **томата** — лидирующий свежий овощ в мировом производстве и в числе самых многофункциональных в готовке, с его импозантным красным цветом и богатым, сбалансированным ароматом, вкус одновременно сладкий, кислый и пикантный, запах — сложная смесь растительных характеристик с оттенком сульфидной и похожей на какао и пот (см. с. 261). Нагревание уничтожает характерную нотку зеленого томатного листа, в то же время усиливая серную, и оно стимулирует частичное расщепление избыточных терпеноидных пигментов плода, что выдвигает на передний план похожий на печеное яблоко дамасценон и добавляет фиалковую, лимонную и абрикосовую нотки.

Длительное или экстремальное нагревание, в свою очередь, убавляет эти характеристики в пользу просто овощного диметилсульфида, основной летучей молекулы в уваренной томатной пасте.

Многие основные блюда в европейской традиции начинаются с приготовления основы из ароматических овощей, соединяющей лук и/или чеснок, морковь и сельдерей, все нашинкованные и приготовленные в жире или масле. Эта смесь затем сочетается с основным ингредиентом и объединяющей жидкостью, бульоном, вином или несколькими раздавленными томатами. Как и томат, морковь насыщенно окрашена произведенными от терпеноидов пигментами и в процессе готовки испускает некоторые из тех же самых цветочных и фруктовых фрагментов с другими, древесными и смолистыми. Ее необычный и преобладающий липовый эфир — основная летучая молекула в цветах липового дерева, в липовом чае и меде. **Сельдерей** и его близкие родственники, **корневой сельдерей** и **любисток**, предоставляют дополнительное измерение со сладко пахнущими фураноновыми летучими молекулами. Сельдерей содержит свои характерные фталиды, и все три вырабатывают похожий на пажитник сотолон. В забавной путанице оригинала и имитации любисток аптечный (*Levisticum officinale*) называется растением Магги в северной Европе, потому что его приготовленный аромат напоминает долголетний бренд «Магги» готовых при-

прав, симулирующих ароматическую овощную основу.

Совершенно иное ароматическое измерение берется от серных виртуозов лукового племени — чеснока, лука и их родственников. Хотя большинство овощей испускают похожий на океанический воздух диметилсульфида, когда они нагреваются (у растений хороший запас его предшествующего деривата, аминокислоты метионина), луковые защитные энзимы вырабатывают десятки других серных молекул, когда целостность ткани нарушается. Их избыточные серные летучие молекулы могут подкрепляться сульфидами и тиолами богатого белками мяса или замещать их в блюдах без мяса.

Различные методы готовки добиваются очень различных версий лукового аромата. Когда чеснок или лук приготовлены целыми или с препятствующим энзимам кислотным ингредиентом типа томатов, защитным энзимам не дают выработать их полный комплект летучих молекул, поэтому аромат относительно приглушенный. Когда их ткани нарушены шинкованием или теркой и затем медленно приготовлены, богатая смесь защитных молекул образуется и развивается, вызывая к жизни как более простые метилсульфиды, так и более сложные цепочки и кольца.

Согласно исследованию 2015 года, проведенному Нантским университетом, легкое «пропаривание» нашинкованного лука в кастрюле изгоняет раздражающие летучие молекулы в кухонный воздух, при этом давая

Приготовленные томат, морковь и сельдерей

Овощ	Составляющие запахи	Молекулы
томат	печеное яблоко, цветочный, приготовленный картофель, зеленый, карамель, потный, грибно-металлический, серный	дамасценон, линалоол, метиональ, гексеналь, фуранеол, метилбутаналь, октенон, диметилтрисульфид, диметилсульфид
морковь	цветочный, печеное яблоко, зеленый, древесный, сосна, смолистый	липовый эфир, ионон, дамасценон, гептаналь, ноненаль, терпинолен, мирцен
сельдерей, любисток	сельдерей, травянистый, сладкий, пажитник, печеное яблоко, цветочный, потный	фталиды, сотолон, дамасценон, ионон, метилмасляная кислота

Приготовленные лук и лук-порей

Овощ	Составляющие запахи	Молекулы
лук пропаренный 212°F (100°C), 25 мин	луковый	пропенил- и пропилсульфиды, пропенил- и пропи- ди- и три-сульфиды
лук пассерованный 300°F (155°C), 10 мин	луковый, поджаренный	пропенил- и пропилсульфиды, метилбутаналь, пиразины
лук жареный 260°F (130°C), 18 мин	луковый, жареный, сладкий	альдегиды, диметилсульфид, диметил ди- и три-сульфиды, тиофены, метиональ, диацетил, фурфурол, ацетилафурон
лук-порей	зелено-фруктовый, листовой, луковый, серный	метилпентаналь, гексаналь, гексеналь, пропилсульфиды, пропантриол

Приготовленный чеснок

Приготовление	Составляющие запахи	Молекулы
пропаренный	чесночный, серный	диаллилсульфид и ди- и три-сульфиды, аллилметилтрисульфид, дитиан, бутаналь
жареный	чесночный, серный	диаллилдисульфид, аллилметил ди- и три-сульфиды, винилдитиины
черный	чесночный, сладкий, жареный, потный, уксусный	аллилметилтрисульфид, диалли ди- и три-сульфиды, фуранеол, метилмасляная и уксусная кислоты

энзимам время выработать их луковые пропенилсульфиды; быстрое **пассерование** сокращает сульфидный выброс, при этом добавляя солодовые и поджаренные нотки от реакций потемнения аминокислот и сахаров; тщательная **жарка** усиливает количество всех веществ, кроме пропенилсульфидов, и дополняет аромат изобилующими метилсульфидами, сладкими фуранами и масляным диацетилом. Этот пикантно-сладкий эффект ярко выражен в таких блюдах, как французский луковый суп и жареные гарниры из лука-шалота, популярные в Южной Азии.

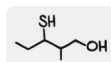
Чеснок ведет себя похожим образом со своим комплектом аллилсульфидов. Готовка «приручает» сильную, едкую характеристику сырого чеснока, стимулируя преобразование жгучего аллицина (диаллилтиосульфидата) в определяющий характер диаллилдисульфид и выработку смеси сульфидов и колец. **Черный**

чеснок — необычная версия, которую готовят, держа нетронутые луковицы при температуре (от 60°C до 80°C) в течение недель, обеспечивая как энзимную деятельность, так и идущее до конца потемнение и другие реакции, делая их черными и заворачивая чесночные аллилсульфиды в сладко-кислый и жареный букеты.

Как же летучие молекулы ароматических овощей и мяса сочетаются, чтобы принести нам удовольствие чего-то типа рагу? В 2009 и 2011 годах немецкие ароматические химики опубликовали исследования основных летучих молекул в типичных **мясных рагу**, приготовленных обжаркой до потемнения кубиков либо говядины, либо свинины, затем моркови, лука-порея, лука и корневого сельдерея, затем добавления воды и тушения смеси в течение четырех часов. Они не обнаружили никаких свидетельств того, что разные материалы

вступали в реакцию друг с другом, образуя новые летучие молекулы. Вместо этого каждый ингредиент вносил свой собственный вклад в жидкость рагу. Говядина предоставила характерно сальный метилтридеканаль и высокие уровни многих летучих молекул, возможно благодаря ее изобилующему гемму. Свинина придала более приглушенный аромат с характерной жареной во фритюре ноткой. Морковь предоставила терпеноиды, в частности цветочный ионон, а корневой сельдерей придал сладкий, как пажитник, сотолон.

Поразительным образом, но преобладающая нота, описанная как «похожая на подливку», взялась не от мяса, а от лука и лука-порея! Ответственной летучей молекулой оказалась пятиуглеродная односерная цепочка с метиловым украшением, **меркаптометилпентанол**, сокращенно **ММР**.



Он образуется последовательно-стью реакций, первая вызвана чувствительными к нагреванию луковыми ферментами, затем обыкновенные химические реакции, ускоренные нагреванием. Таким образом, его выработка стимулируется шинкованием или превращением в пюре этих сортов лука (но не чеснока) задолго до того, как их готовить, чтобы позволить ферментам сделать свою работу, затем медленной готовкой в течение нескольких часов.

Столь же поразительным образом у современных людей есть вариант отдельного обонятельного рецептора, настроенного на ММР и крайне чувствительного к нему, этот рецептор был у неандертальцев, но не у других ранних гоминидов. Является ли это случаем того, как выдвигают предположение открывшие это ученые, что он отражает «адаптацию нашего питательного поведения к луку во всех культурах»? Парочка интригующих подсказок: ММР имеет мясной и бульонный запах, когда он сильно разбавлен, луковый и потный, когда более концентрирован. Рецептор ММР также реагирует на родственные меркаптометилбутанол и -гексанол — летучие компоненты человеческого пота и, возможно, первоначальные цели рецептора. (Меркапто- и сульфанил почти что химические синонимы; я повторяю летучие названия, используемые в соответствующих исследованиях.) В 2000 году ароматические химики запатентовали использование этих потных летучих молекул, чтобы усиливать мясные ароматы в фасованных пищевых продуктах (см. с. 112). Какие бы эволюционные влияния ни задумали сделать современных людей такими чувствительными к граничащему с потом ММР, похоже, что сегодня, когда мы чуем хорошую подливку, мы подсознательно регистрируем нотку нашего собственного аромата.

Рагу из говядины и свинины

Составляющие запахи	Внесены	Молекулы
сальный, говяжий жир	говядина	метилтридеканаль
жареный во фритюре	свинина	декадиеналь
похожий на подливку, мясной, потный	лук-порей, лук	меркаптометилпентанол
серный	говядина, свинина, лук	метиональ, диметилтрисульфид
пажитник; карамель	корневой сельдерей; все	сотолон, фуранеол
цветочный, приготовленный плод	морковь	ионон, дамасценон
жирный, жареный	говядина, свинина	альдегиды: нонаналь, деканаль, ноненаль, деценаль, ундеценаль...

ЗЕЛЕННЫЕ ОВОЩИ

Многие съедобные растительные части зеленые от фотосинтетического хлорофилла и имеют общий «зеленый» аспект своих ароматов в приготовленном виде, но это не простой похожий на скошенную траву, свежий запах живых растительных тканей. Готовка деактивирует энзимы, вырабатывающие зеленые живые летучие молекулы, и она добавляет новые жирные и серные летучие букеты и характерные нотки. Исследование 2000 года

шпината, приготовленного в течение 30 и 120 минут, показало, как аромат приготовленных зеленых овощей может развивать пряные, даже мясные аспекты. Как и его ботанические родственники мангольда и свекла, приготовленный шпинат также испускает имеющий землянистый запах геосмин (см. с. 283).

Некоторые зеленые овощи сохраняют характерно овощную зеленость своих метокси-пиразинов (см. с. 159), которые устойчивы к нагреванию и могут оказаться преобладающими в приготовленном аромате овоща. Есть

Некоторые в основном зеленые овощи

Овощ	Характерные запахи	Молекулы
шпинат, быстро приготовленный; тушеный	зеленый лист, цветочный, сладкий, землянистый; жирный, дымный, гвоздика, серный, мясной	GLVs (гексенал и гексенолы), циклоитраль, ионон, сафраналь, геосмин; C ₁₂ альдегиды, винилгваякол, тиофены, тиазолы
боб, зеленый	овощной зеленый, лист герани, картофель, грибно-металлический, ореховый, цветочный	метоксипиразины, октадиенон, метиональ, октенон, ацетилпирролин, линалоол
горох, зеленый	овощной зеленый, землянистый, серный, грибно-металлический, зеленый фрукт	метоксипиразины, дипропилдисульфид, октенон, гексилacetat
стручковый перец, зеленый	овощной зеленый, серный	метоксипиразин, бутилпропилтиазол
спаржа	океанический воздух, овощной зеленый, картофель, грибной	диметилсульфид, метоксипиразин, метиональ, октандион
спаржевый салат, уйсун	попкорн, рис басмати, зеленый, овощной, землянистый	ацетилпирролин, метоксипиразины, этилдиметилпиразин
артишок	грибно-металлический, зеленый, восковой, мед, древесный	октенон, гексенон, ноненаль, деканаль, фенилацетальдегид, селинен, кариофиллен
абельмош съедобный	сладкий, цветочный, печеное яблоко, древесный, дымный, гвоздика, рыбный	ацетилфуран, линалоол, дамасценон, кариофиллен, винилгваякол, эвгенол, пиридин
капустное семейство: брокколи, брюссельская капуста, кочанная капуста, листовая капуста, кудрявая капуста, листовая горчица	океан, серный, едкий	сульфиды, изотиоцианаты, нитрилы, цианиды

несколько типичных метоксипиразинов, различно описываемых как имеющие землястый, прокислый и овощной запахи; они тяжелые и цепляющиеся по сравнению с GLVs. **Зеленые бобы и горошек**, оба семенные стручки членов бобового семейства, имеют эти молекулы как преобладающие, с добавочными грибными нотками и, в случае бобов, цветочный линалоол. **Зеленый стручковый перец** сочетает метоксипиразин с серным тиазолом и, как преобладающий член его «святой троицы» овощных ароматов, придает луизианскому креольскому рагу под названием гамбо особую нотку. В **спарже** преобладает серный букет: пахнущий океаническим воздухом диметилсульфид и картофельный метиональ. Выбеленная почвой белая спаржа мягкая, в то время как стебли, подвергнутые воздействию солнца, имеют сильную овощно-зеленую нотку метоксипиразина. (Поедание спаржи имеет серные побочные эффекты; см. с. 98.) **Спаржевый салат**, также известный как **уйсун** или **гибрид сельдерея и салата**, — это разновидность салата-латука, популярная в Китае за свой толстый, длинный, сочно-хрустящий стебель. Он странным и чудесным образом одарен тем же самым ацетилпирролином, который придает рису басмати и листьям пандана их характерный аромат. Готовка повышает эту нотку над овощным фоном метоксипиразина.

Другие зеленые овощи обладают не столь сильно зеленым ароматом. **Артишок**, нераскрывшаяся цветочная почка крупного чертополоха, и **абельмош съедобный**, незрелый семенной стручок гибискуса, выделяются древесными и цветочными терпеноидами и дымными, пряными фенольными молекулами. Большая группа овощей имеет общую преобладающую серность вместе с луками. Многие члены **капустного** семейства из рода **Brassica** (**Капуста**) защищают себя раздражающими и ароматическими изотиоцианатами (см. с. 159). Нагревание побуждает эти молекулы вступать в реакцию друг с другом и образовывать разнообразие летучих продуктов, включая нитрилы и цианиды (с имеющими

тройную связь углеродно-азотными парами), а также сульфиды. Каждый член капустного семейства имеет свой собственный оттенок серности и едкости, **листовая горчица** определенно наиболее агрессивная, а **листовая и кудрявая капусты** — наименее.

ОВОЩНАЯ ВСЯЧИНА

Вот образчик кое-каких других овощей, не являющихся зелеными или используемыми как ароматические. Сначала несколько, которые близко прижимаются к земле или прячутся в ней. Пара подземных клубней и корней пахнет как почва, из которой они выкопаны, даже когда они тщательно отмыты, потому что они синтезируют летучие молекулы, сходные с теми, что испускают ищущие пищу обитатели почвы, возможно, это способ маскировки. Некоторые разновидности **картофеля** и **свеклы** создают землястые и прокислые метоксипиразины, сохраняющиеся в приготовленной форме, и некоторые свеклы также синтезируют свой собственный геосмин (см. с. 224).

Когда они сварены или приготовлены на пару, большинство овощей вырабатывают в основном жирный и серный приготовленные букеты, но **мякоть вареного картофеля** также развивает новые ореховые и землястые пиразины. **Картофельная кожа** богата фенольными молекулами, подкрепляющими и упрочняющими ее структуру; в запеченном виде она с готовностью высыхает и темнеет, становится особенно ореховой и вырабатывает фенольные кольцевые летучие молекулы, дымные и пряные. **Жареный картофель** и **картофельные чипсы** определяются похожей на фритюр летучей молекулой декадиена, картофельно-серным метионалем и ореховыми пиразинами. **Сладкий картофель** — не родственник обычному картофелю и не землястый по запаху. Разновидности, оранжевые от каротиноидных пигментов, вырабатывают цветочные, фруктовые терпеноидные фрагменты из них вместе со сладкими, карамельными нотками, особенно очевидными после медленного запекания, процесса,

Некоторые земляные овощи

Овощ	Характерные запахи	Молекулы
свекла	землистый, металлический, гвоздично-дымный, печеное яблоко, овощной землистый	геосмин, метоксипиразины, деценаль, винилгваякол, дамасценон
картофель, печеный	мякоть: землистый, серный, картофель, потный, мед кожа: ореховый, жареный, дымный, гвоздика	этилметилпиразины, метиональ, метантиол, диметил ди- и три-сульфиды, метилбутаналь, фенилацетальдегид; около 30 пиразинов, гваякол и винилгваякол, эвгенол
картофель, сладкий (Ipomoea batatas)	сладкий, карамель, миндаль, цветочный, масло, мед	мальтол, фурфурол, фуран, пентилфуран, бензальдегид, диацетил, фенилацетальдегид, гераниол, ионон
побеги бамбука	бальзамический, сладкий, грушанка, древесный, зеленый, восковой	бензил- и метилсалицилаты, цедрол, гексеналь, генэйкозан
шляпочный гриб, обычный, жареный	потный, приготовленный картофель, поджаренный, грибно-металлический, карамель, мед, жареный	метилбутаналь, метиональ, ацетилпирролин, октенон, фуранеол, фенилацетальдегид, пиразины

дающего его энзимам время преобразовать крахмал в химически активные сахара.

Побеги бамбука, влажные растущие кончики тропической травы, которая в конце концов вырастает до высоты деревьев, необычные из-за своих преобладающих фенольных родственников, напоминающих древесную смолу и грушанку. А **шляпочные грибы**, растущие на поверхности органы подземных грибов, богаты аминокислотами и становятся менее очевидно грибными в приготовленном виде, к их характерным восьмиуглеродным летучим молекулам присоединяются несколько поджаренных, жареных, карамельных и картофельно-серных продуктов реакций.

Теперь полдюжины последних не зеленых, не ароматических овощей. **Цветная капуста** — бледная диковинка из капустного семейства, менее одаренная, чем ее капустные сестры, серными изотиоцианатами, но со своими собственными масляной и грибной ноткой. **Спелые стручковые перцы** теряют большую часть овощного метоксипиразина, определяющего их зеленую стадию, и накап-

ливают многообразие необычных фруктовых серных летучих молекул, которые готовка усиливает и дополняет цветочными терпеноидами. **Баклажан** развивает характерную смесь древесных терпеноидов, нескольких сладких бензольных колец и редкой похожей на сено серной молекулы. В консервированных **зимних сортах тыквенных**, включая **тыквы**, более сильно нагретых, чем на кухне, преобладают сульфиды и сладкие, хлебные альдегиды. В **сладкой кукурузе** столь сильно преобладает пахнущий океаническим воздухом диметилсульфид, что «приготовленная кукуруза» — это термин, часто используемый для описания запаха этой молекулы. (А чаудер с моллюсками, приготовленный с кукурузой и молоком, действительно приносит океан на стол!) А **нори**, красная морская водоросль из океана, спрессованная в тонкие пластинки, высушенная, поджаренная и использованная как обертка для азиатских рисовых шариков и суши, сохраняет свои водные похожую на лист герани и огуречно-устричную нотки, но высушивание и поджаривание дополняют их

Некоторые стебли, плоды и морские овощи

Овощ	Характерные запахи	Молекулы
цветная капуста	серный, масляный, грибно-металлический	как и для капустного семейства, + диацетил, октенон
стручковый перец красный	серный, фруктовый, металлический, овощной, зеленый, цветочный, печеное яблоко	гептантиол, гептанон и гептенон, изобутилметоксипиразин, линалоол, дамасценон, многие C ₇ и C ₉ тиолы
баклажан	сосна, цитрус, древесный, миндаль, мед, сладкий, сушеное сено	карен, бизаболен, бензальдегид, фенилацетальдегид, толуол, метилтиопенкарбоксальдегид
тыквенные, зимние, консервированные	потный, серный, растворитель, хлебный, сладкий	метилбутаналь, диметилсульфид и -дисульфид и -трисульфид, метилпропаналь, пенатналь, фурфурол
кукуруза сладкая	океан, серный, растворитель, зеленый	диметилсульфид, этантиол, ацетон, этанол, ацетальдегид
нори (морская водоросль), поджаренная	поджаренный, мясной, сырный, лист герани, огурец/устрица, цветочный мед	пиразины, тиазолиэтанон, масляная и метилмасляная кислоты, октадиенон, нонадиеналь, ионон, фенилацетальдегид

жареной, мясной, цветочной, сладкой характеристиками.

СЕМЕНА: ОРЕХИ, ЗЕРНА, БОБЫ

Мы уже попробовали врожденные сырые характеристики орехов и зерен в главе 13; нагревание обычно позволяет им сохраняться, при этом добавляя характерные приготовленные букеты. **Орехи**, обычно печеные или жареные, пахнут так же, как и в сыром виде, с добавлением жареных пиразинов или жареного во фритюре декадиенала. **Тыквенные семена** необычны из-за своих выраженных серных ноток. Быстро сваренные в первоначальном виде или преобразованные в лапшу, **очищенные зерна**, освобожденные от своих зародышей и оболочек, пахнут самими собой с усилением жирных приготовленных букетов. **Цельнозерновые** продукты, сохраняющие богатые маслами и белками зародыши и защитные семенные оболочки, или отруби, вырабатывают больше летучих молекул и более сильный аромат, чем очищенные зерна.

Из нелетучих фенольных кислот в семенных оболочках кипящая вода вырабатывает летучие фенольные молекулы, знакомые по дыму и пряностям.

Необычно ароматное цельное зерно — **дикий рис**, семена травы, растущей в озерах и ручьях северных Соединенных Штатов и южной Канады. Его традиционно собирают из воды, пока он все еще влажный и зреющий, прежде чем он «сорвется» с растения, затем выдерживают в кучах в течение нескольких дней, прежде чем подсушить. Выдерживание зачастую приводит к некоторой бактериальной ферментации, а подсушивание порой все еще осуществляется при помощи древесных костров. Получающиеся в результате поджаренная, дымная и чайная характеристики менее выражены в современном механизированном производстве.

Три разные формы подготовки придают **кукурузе** или **маису** очень разные характеристики. Большинство включает похожий на попкорн ацетилпирролин; здесь уместней альтернативное название: похожий на рис басмати.

Некоторые приготовленные семена

Семена	Составляющие запахи	Молекулы
орехи жареные	как и на с. 231 + поджаренный, печеный, карамельный, жирный, жареный	как и на с. 231 + пиазины, фурантиолы, фураноны, декадиеналь
тыквенные семена	солодовый, поджаренный, приготовленные картофель и овощи, пряный/дымный	метилбутанали, этилметилпиазины, метиональ, диметилсульфид, винилгваякол
очищенные зерна вареные	как и на с. 229 + приготовленный	как и на с. 229 + жирный букет
цельные зерна вареные	жирный, ваниль, дымный, гвоздика	альдегиды, ванилин, гваякол, винилгваякол
дикий рис вареный (<i>Zizania palustris</i>)	ореховый, дымный, чайный, зеленый	метилпиазины, гваякол, пиридин, гексаналь, гептаналь, нонаналь

В консервированной сладкой кукурузе преобладают прибрежно-овощной диметилсульфид, ацетилпирролин и кукурузный тиазол. **Попкорн**, быстро приготовленный в нагреваемом горячим воздухом аппарате для приготовления воздушной кукурузы или в микроволновой печи, испускает сульфид водорода и диметилсульфид, когда зерна взрываются, и сохраняет смесь ацетилпирролина и жирной похожей на жареный кофе пряной и масляной ноток (прежде чем добавляется какое-либо масло!). Долго варенная на медленном огне каша **полента** содержит многие из тех же самых летучих молекул и кукурузный тиазол; когда она приготовлена из цельного зерна, пряная нотка семенной оболочки развивается и затем исчезает. Среди кукурузных продуктов выделяются **маисовая каша** и **отвар из маиса**, цельные зерна, приготовленные и вымоченные в щелочном растворе минеральной извести (гидроксида кальция). Для маисовой каши приготовленные зерна высушиваются, затем снова готовятся целыми или измельченными в крупу или муку; отварная кукуруза измельчается мокрой в тесто для приготовления **тортилий** и **тамале**. Щелочная готовка заставляет аминокислоту триптофан расщепляться и образовывать аминацетофенон, который, вместе с фиалковым иононом, придает этим

блюдам их неизбежно цветочно-фруктовую нотку, напоминающую виноград Конкорд и каштановый мед. **Кукурузные чипсы** добавляют похожую на попкорн и характерные жареные летучие молекулы.

Пшеница — самое важное зерно на Западе, и большая ее часть поглощается в форме **хлеба**, теста из измельченного зерна, сформированного и тщательно выпеченного, часто после аэрационного периода дрожжевой ферментации. Наш вид знал запахи хлеба в течение как минимум 14 000 лет, задолго до возникновения сельского хозяйства. Большая часть хлебного теста, по сути, тост снаружи и пар внутри, и в процессе оно теряет свои дрожжевые летучие молекулы. Запах обычного **белого хлеба** из очищенной муки — смесь жирного, серного и сладкого букетов внутри буханки, поджаренный и жареный в потемневшей корочке. Фенольные отрубные молекулы в имеющем более сильный аромат **цельнозерновом пшеничном хлебе** вырабатывают пряные летучие молекулы во всей буханке, но препятствуют образованию поджаренно-сладкого пирролина и фурановых колец в корочке. **Кислый хлеб** обязан своими резкими ароматом и вкусом уксусной и другим кислотам, выработанным бактериями, составляющими компанию дрожжам. Сы-

Некоторые приготовленные версии кукурузы

Приготовление кукурузы	Составляющие запахи	Молекулы
консервированная сладкая кукуруза	океанический воздух, кукурузный, басмати, какао, гвоздика	диметилсульфид, ацетилтиазол, ацетилпирролин, этилдиметилпиразин, винилгваякол
попкорн	басмати, жареный, кофе, гвоздика, ваниль, масло	ацетилпирролин, декадиеналь, фурфурилиол, винилгваякол, ванилин, диацетил
полента	гриб, восковой, басмати, океанический воздух, серный, мед, гвоздика	октенон, нонанол, ацетилпирролин, диметилсульфид и -трисульфида, ацетилтиазол, фенилацетальдегид, винилгваякол
кукурузные тортильи (мексиканской обработки)	животно-цветочный, фиалка, какао, гвоздика, грибной	аминоацетофенон, ионон, метилбутаналь, винилгваякол, октенон
кукурузные чипсы (мексиканской обработки)	жареный, какао, кофе, животно-цветочный, басмати, гвоздика	декадиеналь, метилбутаналь, фурфурилиол, аминоацетофенон, ацетилпирролин, винилгваякол, пиразины

рая ржаная мука несет больше аромата, чем пшеничная мука, включая заранее изготовленные пряные, сладкие и масляные летучие молекулы; традиционный **цельнозерновой кислый ржаной хлеб** обладает особенно богатым ароматом. **Брецель** — разновидность Laugengebäcke, или щелочной выпечки, которая, судя по всему, возникла в Баварии и получает свой темно-коричневый цвет и характерный аромат от обмакивания сформированного теста перед выпеканием в горячую щелочную воду. Эта простая обработка смещает баланс реакций потемнения и их сладкого и орехового букетов (см. с. 388–389), минимизируя образование пиразинов и альдегидов и выдвигая на передний план похожие на попкорн карамельные, масляные и потные летучие молекулы с незначительным цветочным оттенком столь же щелочного кукурузного отвара.

Последний вариант приготовления зерна — это **ру** (французское roux — «рыжий»),

паста из муки и кулинарного жира или масла, нагретая в кастрюле до тех пор, пока она не развивает некоторые цвет и аромат, затем добавленная к жидкому соусу, рагу или супу, чтобы сделать гуще его консистенцию и внести фоновый аромат. Слегка приготовленное золотистое ру содержит в основном кислоты и кетоны стартового набора и оттенок пахнущего экстрактом миндаля бензальдегида; когда оно темнеет в течение продолжительной готовки, ру развивает сладкие и ореховые фураны и пиразины. Жирный компонент важен: масло отдает предпочтение сырным, цветочным, сливочно-масляным летучим молекулам, в то время как полиненасыщенное растительное масло отдает предпочтение жареной во фритюре и медовой ноткам.

Последняя группа съедобных семян, которые богаче белками, чем зерна, и важный питательный ресурс происходит из бобового семейства — сушеных бобов, гороха, чечевицы и их родственников. Их летучие

Некоторые выпеченные сорта хлеба и ру

Версии хлеба	Составляющие запахи	Молекулы
корочка белого хлеба	попкорн, какао, потный, картофель, масляный, карамель, ореховый	ацетилпирролин, метилбутанали, метилмасляная кислота, метиональ, диацетил, фуранеол, фурфурол, пиазины
внутренняя часть белого хлеба	жирный, металлический, грибной, масло, приготовленный картофель, мед, попкорн	декадиеналь, деценаль, ноненаль, октенон, диацетил, метиональ, метилбутанол, фенилацетальдегид, ацетилпирролин
цельнозерновой пшеничный хлеб	карамель, древесный, дымный, гвоздика, растворитель	винилгваякол, изомаальтол, циклопентандион, октенон, эфиры
кислый пшеничный хлеб	выраженный уксусный, потный, похожий на растворитель фруктовый	уксусная, метилпропионовая и метилмасляная кислоты, этилацетат
кислый ржаной хлеб	сырный, пряный, ваниль, картофель, жирный, свежий, уксус, мед, цветочный	масляная и метилмасляная кислоты, сотолон, ванилин, метиональ, декадиеналь, гексаналь, уксусная и фенилуксусная кислоты
брецель	попкорн, карамель, мед, потный, масляный, цветочный	ацетилпирролин, фуранеол, фенилуксусная и метилмасляная кислоты, диацетил, аминокетофенон
ру из пшеничной муки	жирный, сладкий, ореховый	кислоты, альдегиды, кетоны, фураны, пиазины;
со сливочным маслом:	+ сырный, цветочный, сливочный;	нонанон, масляная кислота, дельта-декалактон;
с растительным маслом:	+ жареный во фритюре, медовый	декадиеналь, фенилацетальдегид

Некоторые бобы

Семена	Составляющие запахи	Молекулы
красная фасоль, вареная	приготовленный картофель, серный, землистый, поджаренный, грибной, гвоздика	метиональ, этил- и метилсульфиды, метилпиазины, октенон, винилгваякол
соевые бобы, вареные и тофу	бобово-жирный, грибной, миндаль, серный	гексаналь, гексеналь, гептеналь, октеналь, октенон, нонаналь, пентаналь, декадиеналь, бензальдегид, пентилфуран, диметилдисульфид

молекулы относительно мало изучены. Исследования **красной фасоли** обнаружили, что ее запах определяется смесью серной, землистой, грибной ноток вместе с поджаренным пиазином и гвоздичной фенольной молекулой. **Соевые бобы** необычно богаты маслом и крайне изломанными углеродными цепоч-

ками, поэтому в приготовленном виде они выработывают большие количества фрагментов, определяющих жирный букет, описываемый как бобовый; есть также характерная грибная нотка от запасенного октенонла. Аромат соевых бобов не пользуется повсеместной любовью, и исследования разведения и про-

изводства соевых бобов были направлены на снижение его уровня в тофу, соевом молоке и других продуктах.

**ПРИГОТОВЛЕННЫЕ ПЛОДЫ,
СИРОПЫ, ПРИГОТОВЛЕННЫЙ
ПЧЕЛАМИ МЕД**

Как мы увидели, наши любимые плоды уже были состряпаны их родительскими растениями, чтобы они были притягательно ароматными. Мы готовим их, в основном, чтобы продлить их иным образом короткие съедобные жизни, и в процессе мы изменяем их первоначальный баланс вкусов и ароматов. Готовка обычно усиливает сладость и приглушает характерные эфиры и терпеноиды; их приготовленные букеты предсказуемым образом склоняются к запахам приготовленной из сахара карамели. Сладко-сенной фурфурол — почти универсальная летучая молекула в плодах, приготовленных за любой промежуток времени.

Самый простой способ приготовить плоды — позволить им высохнуть достаточно, чтобы микробы больше не могли расти на них. **Чернослив**, сушенная версия сливы, — совер-

шенный образец сушеного плода со сладкими фуранами и фуранонами, дополняющими стойкие миндальную, цветочную и фруктовую нотки плода. Виноград преобразуется в **изюм** посредством того, что его медленно высушивают на солнце, быстро высушивают на воздухе при температуре от 70°C до 80°C или высушивают с добавлением оксида серы (IV), это стандартная обработка, препятствующая окислению и реакциям потемнения и таким образом сохраняющая часть природного цвета и аромата плода. Когда плоды быстро варятся на медленном или обычном огне для приготовления **плодовых соусов** или **варений**, обычно выживает больше первоначальных спеющих летучих молекул, и сладкий коричневый букет менее выражен, хотя он становится тем более выраженным, чем дольше варенье хранится в кладовке.

Плодовые варенья обычно готовятся с чистым кристаллическим сахаром сахарозой, которая была сконцентрирована и очищена от внутренних жидкостей растений сахарного тростника или сахарной свеклы, и она в основном непахнущая. Когда растительные жидкости первоначально вывариваются, сахарозные сахара и аминокислоты вступают

Некоторые высушенные и приготовленные плоды

Сушеный плод	Составляющие запахи	Молекулы
чернослив (сушенная слива)	сладкий, древесный, цветочный, экстракт миндаля, фруктовый, мед	фурфурол, нонаналь, бензальдегид, этилциннамат, фенилацетальдегид, фуранеол, метилфурфурол
изюм (сушеный виноград)	жирный, зеленый, мед, печеное яблоко, фруктовый, жареный	нонаналь, гексаналь, фенилацетальдегид, дамасценон, этилгексаноат, пиразины
печеное яблоко	фруктовый, яблоко, печеное яблоко, похожий на какао потный, мед, эссенция миндаля, древесный	эфиры ацетата и бутирата и пропионата, дамасценон, метилбутаналь, фенилацетальдегид, бензальдегид, фурфурол
клубничное варенье	клубника, карамель, потный, сырный, древесный, корица, персик, океанический воздух	фуранеол, метилпропионовая кислота, масляная кислота, метилмасляная кислота, фурфурол, циннамилацетат, гамма-додекалактон, диметилсульфид
жем-мarmелад из кислого апельсина	цитрус, сосна, цветочный, смолистый, апельсиновая цедра, фруктовый, древесный	лимонен, терпиненол, терпинеол, линалоол, мирцен, октаналь, этилацетат, фурфурол

Некоторые сахара и сиропы

Подсластитель	Составляющие запахи	Молекулы
очищенный свекольный сахар: следовые побочные запахи	кислый, сырный, потный, землистый, жженный сахар	уксусная, масляная, метилмасляная кислоты, геосмин, диметилпиразин
неочищенный тростниковый сахар	пажитник, ваниль, сладкий, кокос, дымный	сотолон, ванилин, мальтол, гамма-ноналактон, винилфенол и диметоксифенол
тростниковая патока	дымный, ваниль, резкий, картофель, потный, карамель, масляный, океанический воздух, серный	гваякол, ванилин, уксусная кислота, метиональ, масляная и метилмасляная кислоты, фуранеол, диацетил, диметилсульфид и -дисульфид
сорговый сироп	зеленый, виски, потный, масло, поджаренный	ацетальдегид, метилпропаналь и -бутанали, ацетон, диацетил, пиразины
кленовый сироп	сладкий, фруктовый, пажитник, поджаренный, хлебный, ваниль, резкий	фураны, фуранеол, сотолон, пиразины, кленовый лактон (циклотен, метициклопентенолон), ванилин, уксусная кислота
пальмовые сахара	карамель, сладкий, масляный, дымный, резкий	фураны, фураноны, фуранеол, мальтол, диацетил, ацетоин, фурфурол, уксусная кислота
солодовый сироп	какао, потный, гриб, картофель, ваниль, сладкий, фруктовый, серный	метилбутаналь, октенон, метиональ, декадиеналь, ванилин, метилмасляная кислота, фуранеол, диметилсульфид

в реакцию друг с другом, делают жидкости еще более темно-коричневыми и вырабатывают сладкий и жареный букеты. Очищенный белый сахар готовится путем отделения сахарозных кристаллов от коричневой жидкости. Поскольку свеклы выкапываются из земли и часто лежат в кучах в течение некоторого времени перед обработкой, они порой несут неприятные летучие молекулы порчи, которые могут оставаться в качестве следов в очищенном **свекольном сахаре**. **Тростниковый сахар** готовится из надземных стеблей, которые обрабатываются быстро, поэтому он редко страдает от побочных ароматов.

Кристаллы **неочищенного сахара**, или **сырца**, сохраняют пленку ароматной коричневой жидкости, и именно в ней в 1980

году был опознан важный фуранон, сотолон. **Патока** — та самая коричневая жидкость, неоднократно сконцентрированная в более сильно пахнущий черно-коричневый сироп; она развивает ярко выраженный серный букет, дымную и ванильную фенольные нотки и резкость летучих кислот. **Сорговый сироп**, уваренная жидкость раздавленных стеблей сорго, имеет необычные ферментированную и похожую на растворитель нотки.

Сладкие сиропы и неочищенные сахара также готовятся вывариванием растительных соков клена, березы и пальмовых деревьев. Североамериканский **кленовый сироп** содержит сбалансированное разнообразие сладких и коричневых циклов, включая знакомые сотолон и фуранеол, а также необычный

кленовый лактон. **Солодовый сироп**, много используемый в Азии, готовится путем соложения ячменного зерна — семенам дают прорасти и активировать энзимы, преобразующие их крахмал в сахар, — затем семена раздавливают в воде, позволяют пройти процессу осахаривания и вываривают получившуюся в результате сладкую жидкость. Благодаря изобилующим белкам ячменя солодовый сироп имеет ярко выраженную дозу метилбутанала от расщепления аминокислот; именно поэтому эта молекула часто описывается как имеющая солодовый запах, а также похожий на какао и потный.

За много миллионов лет до того, как наш вид впервые сконцентрировал растительные жидкости в устойчивые к порче сиропы, насекомые проделывали именно это с цветочным нектаром. Пчелы медленно преобразуют эту

хрупкую сладкую награду в долгоживущий **мед**: каплю по капле, пока индивидуальные особи закачивают собранный нектар в свои медовые желудочки и выкачивают его оттуда, затем по медовым сотам, пока рабочие пчелы вентилируют воздух улья. Этот процесс контролируемого пищеварения и испарения, более сложный и нюансированный, чем быстрые вспышки сильного жара готовки, сохраняет часть молекул от первоначального нектара и высвобождает другие из нелетучих форм запасаения. Репутация меда как сладкой бальзамировочной жидкости, судя по всему, по большей части из разряда легенд, но он действительно как минимум сохраняет некоторый запах от короткой жизни цветов.

Большинство сортов меда содержат сладкий фуран и цветочные фенольные кольца.

Некоторые сорта меда

Цветочный источник	Составляющие запахи	Молекулы
смешанный	мед, цветочный, корица выдержанный: сено, табак, прокислый	фенилацетальдегид, фенилэтанол, фенилуксусная кислота, циннамальдегид; выдержанный: гидроксиметилфурфурол
апельсин	цветочный, травянистый, кумин, виноградный	продукты окисления линалоола, включая сиреневые альдегиды, укропный эфир, ментеналь; метилантранилат
каштан	животно-цветочный, потный, хлебный	аминоацетофенон, бензойные кислота и спирт, метилмасляная кислота, фураны
липа	печеное яблоко, анис, цветочный, приготовленный картофель	дамасценон, анисальдегид, липовый эфир, линалоол, метиональ
гречиха	солодовый, карамель, ваниль, цветочный, масляный, фруктовый	метилбутаналь, эфиры бутирата, диметилсульфид, диацетил, сотолон, дамасценон
манука	растворитель, сладкий, карамель, попкорн	дигидроксиацетон, ацетилформальдегид (глиоксаль), ацетилпирролин, гидроксиметилфурфурол
смешанная лесная медвяная падь; сосновый лес; дубовый лес	печеное яблоко, дымный, гвоздика, миндаль, сосна, кокос	дамасценон, гваяколы, крезол, эвгенол, бензальдегид; пинен; дубовый лактон (метилокталактон)



Фенилацетальдегид часто описывается как похожий на мед сам по себе; он накапливается от медленного расщепления следовых аминокислот. Из обычных одноцветочных медов из преобладающе отдельных цветочных видов **апельсиновый мед** напоминает парфюмерный ингредиент нероли (см. с. 364), **каштановый** имеет общий необычный животнов-цветочный аминокетофенон с виноградом сорта «конкорд» и кукурузными тортільями, сильный **гречишный** напоминает солодовый сироп своими преобладающими метилбутаналем и сульфидами, а **мед из мануки**, дерева родом из Новой Зеландии и восточной Австралии, имеет уникальную похожую на растворитель нотку. **Медвяная падь** — это похожий на мед концентрат, который пчелы производят, собирая секреты других насекомых, кормящихся растительными жидкостями; он может иметь дымную, животную и древесную нотки. Как это верно также для сушеных плодов и варений, меды заметно темнеют со временем, когда происходят реакции потемнения, перекрывающие их более характерные нотки.

ВЫПЕЧКА И ПИРОЖНЫЕ

Наконец-то мы добрались до вафель Гастона Башляра и удовольствий от излешества. Мы готовим большинство продуктов, потому что нам нужны их питательные вещества для жизни; мы готовим выпечку и пирожные, потому что мы хотим побаловать себя сладкими, богатыми вкусами, текстурами и запахами. Эти удовольствия уходят корнями в нашу биологическую потребность в энергии, но они также мотивируют нас ради самих себя.

Сладкая выпечка — смесь зерновой муки, сахаров и жиров, которой придали форму и приготовили в печи или на сковороде, достаточно горячей, чтобы высушить и сделать коричневой ее поверхность. Она развивает основу характерных букетов жирного, сладкого и поджаренного, которая приятна сама по себе и служит подходящим фоном для более специфических ароматов других ингредиент-

тов — плодов, орехов, пряностей или шоколада. Я не смог найти опубликованный анализ летучих молекул вафель — очевидно, не столь любимых ароматическими химиками, как Башляром, — но они, вероятно, сходны с летучими молекулами основных видов выпечки и пирожных.

Сначала самое простое: **слойка**, выпеченная из теста, содержащего только пшеничную муку, воду и очищенный непахнущий растительный кулинарный жир. Когда она испечена до сухой коричневой слоистости, ее основные молекулы включают жирные альдегиды с металлической, жареной и зеленой нотками, сладко-карамельный фуранеол и похожий на попкорн и басмати ацетилпирролин. Когда непахнущий растительный жир заменяется пахучим маслом, к этим молекулам присоединяются молекулы масла: кокосовый декалактон, масляный диацетил и сырные кислоты с короткой цепью, все они усилены готовкой.

Cookie (печенье) происходит от немецкого слова, означающего «маленькое пирожное», и как **пирожные**, так и **печенье**, включая лепешки Башляра, обычно добавляют сахар и яйца к муке и жиру простых слоев. Сахара вносят материал для более экстенсивных реакций карамелизации и реакций потемнения с аминокислотами; яйца приносят изобилующие белки в яичном белке, белки и свободные аминокислоты в желтке, который также добавляет длинные способные фрагментироваться жирные цепочки и родственные молекулы. Маленькие тонкие печенья и поверхности пирожных высыхают и развивают сладкие, коричневые кольцевые молекулы, мальтол, фураны и фураноны вместе с похожим на какао метилбутаналем и поджаренными пиразинами, образованными от аминокислот. Некоторые из этих летучих молекул проникают во внутреннюю часть пирожного, но там температура никогда не поднимается выше точки кипения воды, и аромат берется в основном от жирного букета, картофельного метионаля и пары фруктовых и спиртовых ноток.

Некоторые виды выпечки и пирожных

Выпечка	Составляющие запахи	Молекулы
слойка, маргарин	жирный, металлический, жареный, зеленый, карамель, попкорн	эпокси-деценаль, декадиеналь, фуранеол, ноненаль, ацетилпирролин
слойка, масло	кокос, карамель, жирный, сырный, цветочный, картофель, поджаренный, масляный	как и выше + дельта-декалктон, масляная и метилмасляная кислоты, диацетил
печенье, корочка бисквитного пирожного (пшеничная мука, сахар, яйца, масло)	как и для слойки с маслом + сладкий, хлебный, какао, жареный	как и для слойки с маслом + мальтол, фурфурол, фураны, метилбутаналь, пиразины
внутренняя часть бисквитного пирожного	жирный, хлеб и виски, фруктовый, картофель	меньше фуранов, фуранонов и пиразинов, чем в корочке; жирный букет, пентанол, этилгексаноат, метиональ

КОФЕ И ШОКОЛАД

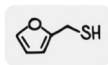
Чтобы завершить эту главу о запахах наших приготовленных продуктов, вот два излишества, которые часто составляют компанию выпечке и пирожным, две из наших обонятельных вех и два примера темных искусств пиролиза — кофе и шоколад. Оба готовятся из семян древесных плодов, одно дерево родом из Африки, другое — из Южной Америки. Ранние человеческие фанаты плодов обнаружили, что готовка могла превратить их неинтересные зерна в нечто стимулирующее и лакомое, и современные энтузиасты находят бесконечные нюансы аромата, чтобы продемонстрировать энтузиазм по этому поводу и выводить их на рынок. Если по большей части отбросить нюансы в сторону, вот то, что делает кофе кофейным, а шоколад — шоколадным.

Есть два вида рода *Coffea*, семена которых используются для приготовления **кофе**; они сейчас растут как на их африканской родине, так и в Америке и Азии. Оба вида деревьев *C. arabica* и *C. robusta* привлекают животных-распространителей похожими на вишню плодами и защищают семена внутри кофейном — полезным для нас, но токсичным для многих насекомых-вредителей — и различными молекулами фенольных колец. Зеленые

похожие на бобы семена содержат питающие эмбрионы — белки, масла, крахмал и сахара; они жарятся при температурах, варьирующихся от 220°C до 260°C, от двух до десяти или более минут. Сильный жар делает зеленые бобы коричневыми или черными, фрагментирует и заставляет вступать в реакцию их запасы, преобразующиеся во множество сотен летучих молекул. Бобы сорта робуста склонны оказывать предпочтение выработке дымно-пряных молекул; арабики — сладких и серных.

Разные «жареные профили», или температурно-временные пути, вырабатывают разные ароматические балансы в готовых бобах. Светлые легкие обжарки сладкие и хлебные от преобладания фурановых колец, в то время как самая темная обжарка имеет опаленный аромат гваякола и фенола от расщепления защитных фенольных молекул. Средние обжарки акцентируют знаковый аромат кофе как такового, который по большей части создается украшенными серой фурановыми кольцами и родственными тиолами.

Фурфурилтиол, «кофейный» меркаптан, пахнет как обжаренный кофе и придает ту же самую нотку мясу и поджаренным кунжутным семенам. Метилфурантиол — определяющая ле-



Некоторые запахи кофе

Составляющие запахи	Молекулы
сладкий, хлебный, коричневый, масляный	фураны, фураноны (фуранеол, сотолон), мальтола, диацетил
кофе, жареное мясо, серный, кошачий, скунс	тиолы: фурфурилтиол, метантиол, метилфурантиол, меркаптометилбутилформиат, метилбутентиол...
потный, солодовый, какао	метилбутанали, метилпропаналь
ореховый, жареный, землистый	пиразины, метоксипиразин
цветочный, фруктовый	ацетальдегид, пропаналь, линалоол, дамасценон, малиновый кетон (гидроксифенилбутанон), октаналь
гвоздика, дымный, опаленный	этил- и винилгваяколы, гваякол, фенол, пиридин

тучая молекула приготовленного мяса, и некоторые другие кофейные тиолы тоже имеют животную серность. Менее значительные вкладчики в аромат кофе средней обжарки — ореховые пиразины, землистый метоксипиразин от сырого боба, фенольное кольцо ванилин и парочка гваяколов с гвоздичными, пряными запахами. Кофе легкой и средней обжарок также может содержать цветочную и фруктовую нотки от терпеноида линалоола и порой украшенное фенольное кольцо, уместно известное как малиновый кетон. Добавочная нотка для тех, кто наслаждается обжаренным **корнем цикория** как кофейным заменителем без кофеина: он имеет много общих с кофе ярко выраженных летучих молекул, но добавляет свою собственную уникальную нотку с древесно-перечным терпеноидом ротундоном (см. с. 151).

Запахи кофейных напитков зависят от того, как они приготовлены. Высокие давление и концентрация эспresso имеют тенденцию акцентировать серную и фенольную нотки сильнее, чем это делает стандартный фильтрованный капельный кофе. И запахи все время меняются. Определяющие характер тиолы не очень-то растворимы в воде, и они нестабильны, поэтому они особенно ярко выраженные, когда обжаренные бобы только что измельчили, менее выраженные в готовом напитке, а затем они медленно исчезают из чашки или термоса по мере того, как они

вступают в реакцию с коричневыми пигментными молекулами. Совокупный аромат тоже изменяется по мере того, как кофе остывает, и его летучие молекулы высвобождаются медленнее.

Запахи жидкого кофе все время развиваются и рассеиваются, но запахи твердого **шоколада** заключены внутри, они стабильные, медленно проявляют себя. Обжаренные какао-бобы, из которых готовится шоколад, крайне мелко измельченные с изрядной дозой сахара, чтобы уравновесить их горькость, почти на половину состоят из какао-масла, твердого жира, который тает во рту, когда мы его едим, как раз чуть ниже температуры тела. Высвобождаемые им ароматы очень отличаются от кофейных. Какао-бобы странным образом содержат только следы серы и содержащих серу аминокислот, поэтому в обжаренном виде они развивают лишь оттенок летучих тиолов кофе. Они беднее сахарами, чем кофейные бобы, и поэтому вырабатывают меньше сладких фурановых колец. Более того, они гораздо более легко обжариваются — при температуре примерно от 120°C до 140°C в течение примерно тридцати минут, — поэтому их избыточные защитные фенольные молекулы не фрагментируются на дымные и пряные летучие кольца.

Характерный запах шоколада берется в основном от метилбутанала, разветвленного аминокислотного фрагмента, пахнущего

Некоторые запахи темного и молочного сортов шоколада

Составляющие запахи	Молекулы
какао, солодовый, потный	метилбутаналь, метилпропаналь
какао, ореховый, жареный, землистый	метил- и метокси-пиразины, диметилдитиофуран, диметилтрисульфид
резкий, уксусный, сырнй	уксусная и метилмасляная кислоты
мед, сладкий	фенилацетальдегид, фенилуксусная кислота
карамель	сотолон, фуранеол
цветочный	линалоол, фенилэтанол
фруктовый	эфиры метилбутирата, метилбутилацетат
травянистый, древесный, фруктовый	мирцен, оцимен; гептанол, гептанилацетат, гептанон
жирный, кремовый, кокос	гамма-окталактон, гамма- и дельта-декалактоны
масляный	диацетил
карамель	фуранеол, сотолон

характерно как какао с потной гранью, а еще от букета из примерно двадцати различных пиразинов. (Какао-порошок — это измельченные обжаренные какао-бобы, из которых удалена большая часть масла, концентрат центрального аромата шоколада.) Некоторые из пиразинов пахнут как какао, некоторые — ореховые, некоторые — прокислые и землистые, некоторые — горелые. Совокупный аромат заданного шоколада зависит от относительных пропорций этих отдельных ноток, а также от нескольких других факторов. Кислая грань берется от изобилующих уксусной и метилмасляной кислот, в то время как фруктовость берется от нескольких эфиров. Некоторые разновидности какао ценятся за производство высококачественных или ароматических бобов, цветочные, травянистые, фруктовые или древесные летучие молекулы которых переживают обжарку. Когда бобы обрабатываются щелочью перед обжаркой — обрабатываются раствором карбоната, уменьшающим их кислотность, — они отдают предпочтение реакциям Майяра, которые затемняют их цвет и смещают баланс пиразинов, и бобы оказываются менее резкими и фруктовыми. В **молочном шоколаде**, приготовленном путем смешивания

растопленного шоколада с молочными концентратами, преобладающими становятся кокосовая, масляная и карамельная молочные летучие молекулы, как происходит и в **белом шоколаде**, смеси молочных твердых веществ и какао-масла без каких-либо ставших коричневыми твердых веществ какао-бобов. И большинство версий шоколада ароматизируются ванилью, либо пряным экстрактом, либо синтетической имитацией ванилина.

Требуется терпение, чтобы в полной мере насладиться твердым шоколадом. Его летучие молекулы заключены в какао-масле и на частицах какао и сахара, и летучие молекулы испаряются в воздух только тогда, когда жир тает. Когда влага во рту смачивает сухие частицы какао, запускаются новые реакции, вырабатывающие свежий набор летучих молекул, в частности дополнительный метилбутаналь. Это также верно для других сухих продуктов — чипсов, крекеров и хлебных корочек: поедание помогает создавать их ароматы. Вкус часто расцветает во рту.

Как же так происходит, что какао-бобы выработывают такой темный цвет и полный аромат, когда они готовятся при температурах, которые лишь чуть-чуть окрасили бы кофейный боб или арахис? Потому что они настро-

ены на это. Я узнал это из первоисточника примерно в 1995 году, когда я посетил производителей какао и шоколада в Венесуэле, контрабандой притащил несколько стручков какао домой и приготовил шоколад на своей калифорнийской кухне. Когда я вытащил семена из длинных древесных стручков, очистил сладкую мякоть и немедленно обжарил их, в итоге у меня получились твердые, сухие комки, пахнувшие как сушеная фасоль пинто, совсем не как шоколад. Но, когда я позволил извлеченным семенам и мякоти отлежаться в течение нескольких дней, как это делают производители какао, до тех пор, пока они не приобрели дрожжевой и уксусный запах, затем очистил и легко обжарил семена, у них уже был слабый шоколадный запах. Короткая обжарка в мини-духовке усилила его.

Запахи окисленной какао-мякоти — осязаемые ключи к трансформации семян. Сейчас мы знаем, что, когда сахарная мякоть подвергается воздействию воздуха — в деревенской Венесуэле или пригородной Калифорнии, — парящие в воздухе микробы быстро колонизируют ее. Дрожжи поглощают ее сахара и вырабатывают спирт. Поглощающие спирт бактерии преобразуют спирт в уксусную кислоту, эссенцию уксуса. Уксусная кислота проникает в семена, взламывает перегородки между их клетками и высвобож-

дает энзимы проращивания, расщепляющие питательные ресурсы эмбриона на аминокислоты и сахара. А эти молекулы строительных элементов — главные ингредиенты для образующих пиразины реакций Майяра, которые продуктивны даже при относительно низких температурах обжарки, позволяющих выжить некоторым плодовым и микробным летучим молекулам. В частности, сочетание энзимного расщепления белков с последующим умеренным нагреванием — это то, что вырабатывает определяющий какао метилбутаналь.

Итак, ключ к успеху обжарки какао — невидимая работа молекулярных механизмов: микробных энзимов, преобразующих сахара в спирт, а спирт — в уксусную кислоту, плюс какао-энзимов, преобразующих питательные запасы в ароматизаторы. Мы уже повстречались с энзимами ранее в роли создателей летучих молекул зеленой листы в растениях и грибных восьмиуглеродных цепочек в грибах, и мы повстречались с микробами в роли источника большинства животных смрадов. Но энзимы и микробы также дали нам удивительные альтернативы пиролизу для приготовления продуктов, безопасных, питательных и лакомых. Соление и ферментация — темы нашей последней подборки примечательных запахов.

ГЛАВА 19.

СОЛЕННЫЕ И ФЕРМЕНТИРОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ

Поэт однажды сказал: «Вся вселенная в бокале вина». ... Вот предметы физики: крутящаяся жидкость, испаряющаяся в зависимости от ветра и погоды, отражения в бокале, а наше воображение добавляет атомы. Бокал — это продукт дистилляции горных пород земли, и в его составе мы видим секреты возраста вселенной и эволюции звезд. Что за странный набор химических веществ содержится в вине? Как они появились? Есть ферменты, энзимы, субстраты и продукты. В вине обнаруживается великое обобщение: вся жизнь — это ферментация. ... Как же колоритен кларет, проталкивающий свое существование в сознание, смотрящее на него!

Ричард Фейнман, «Фейнмановские лекции по физике», 1963 год

Сюрстремминг: этот прославленный (или, лучше сказать, печально известный?) вид ферментированной сельди производится... на севере Швеции... Другой чиновник из рыболовного управления вспомнил историю о том, как в молодости он был в гавани на острове Ульвен августовским днем, когда были открыты 200 бочек с сюрстреммингом. Когда запах клубами повалил вверх, птицы начали замертво падать с небес. Более того, ветер отнес пары к отдаленному конвою буксиров, тянувших баржи извести вдоль берега; вследствие чего все без исключения капитаны сменили курс на Ульвен.

Алан Дэвидсон, «Североатлантические морепродукты», 1979 год

Поэт винного бокала физика Ричарда Фейнмана — это, вероятно, удобная выдумка. Самый близкий кандидат, которого я обнаружил, — это Роберт Льюис Стивенсон, который действительно назвал изысканное вино «поэзией в бутылке» и который действительно писал стихи — наиболее достойно — «Йо-хо-хо и бутылка рома». Но это высказывание звучит как слова любящего вино профессора. Я был студентом в Калтехе (Калифорнийском техническом институте) в ранних 1970-х годах и никогда не упускал возможности впитывать навязанное его родным Куинсом наслаждение Фейнмана повседневными чудесами. Его восклицание выше предполагает возбуждение насыщен-

ного восприятия: колоритный цвет вина *проталкивает* свое собственное существование через глаз и в разум человека, упивающегося им и воображающего агентов, создавших его. Хотя Фейнман странным образом упускает это, разумеется, следующий шаг — понюхать, затем сделать глоток: ароматы и вкусы тоже колоритные! Запах и вкус дают нам наиболее непосредственный доступ к работе агентов перемен Героя-Углерода, ферментов и энзимов.

Если вино — это поэзия в бутылке, тогда шведский сюрстремминг — это inferнальность в бочке. Алан Дэвидсон изучал классическую литературу в Оксфорде и незаметно протолкнул небылицу Лукреция в свое рыб-

ное образование, приписав смертоносность Авернского озера парам квасящего сельдь причала (см. с. 41). Я могу подтвердить, что и в самом деле рекомендуется открывать набухшие от газа консервы протухлого сюрстремминга на открытом воздухе. Когда я сделал это, ни одна птица не пострадала, но были привлечены многие мухи и осы — вместе с несколькими отважными исследователями запахов. И вот в чем правда этой истории: запахи разложения привлекают людей так же, как и мух. Как и винные ароматы, они продукты ферментации, и они, вероятно, символизировали ценные питательные вещества для тысяч поколений людей.

Хотя этот термин сейчас имеет специфическое техническое значение в биохимии, *ферментацией* обычно называют метод приготовления пищи, полагающийся не на нагревание, а на микробов и их ферменты. Слово происходит от древнего корня, обозначающего «варить» или «пузыриться». Нагрейте горшок раздавленного свежего винограда над огнем, и он будет пузыриться от водяных паров. Позвольте другому горшку того же самого раздавленного винограда простоять ненагретым в течение нескольких дней, и он тоже будет пузыриться, но на этот раз — от метаболических выбросов растущих в нем микробов. Оба процесса образования пузырей — признаки физической и химической трансформации первоначального продукта. При варке тепловая энергия разрушает растительные и животные ткани и вырабатывает новые летучие букеты. При ферментации микробы и их ферменты делают то же самое.

Кажется вероятным то, что спонтанная ферментация была ранним и важным дополнением к готовке при помощи огня, которое питало развитие нашего вида. Любое мясо, не съеденное или не приготовленное в течение дня-двух, постепенно становилось все более легким для жевания само по себе, когда мышечные ферменты расщепляли его изнутри, а ферменты вездесущих микробов — снаружи. Крахмал и волокно остатков толченых корнеплодов становились более перевариваемыми.

Если топливо для огня было редким, простое прятание избытков пищевых продуктов под камнями, в почве или в воде давало ферментам время сделать их более легко усваиваемыми — и более ароматными.

Эта неконтролируемая версия ферментации — по сути, частичное *разложение*, относительно нейтральный синоним для *гниения*, *порчи*, *гнили*, *тухлости*. Сегодня эти слова и запахи предполагают несъедобность, риск заболеваний и отвращение. Но разлагающиеся продукты не всегда токсичны, и в ранние дни нашего вида терпимость к ним — и опыт с тем, какие были безопасны, — были преимущественными. Их сильные запахи стали ассоциироваться с удовлетворением голода, и их даже выписывали просто из-за их сенсорной стимуляции. Моряк Джон Джуитт, находившийся в плену на острове Ванкувер примерно в 1800 году, сообщил, что народы залива Нутка часто ели лососевую икру свежей, но также позволяли бочонкам с ней ферментироваться, и «они почитают ее гораздо больше, когда она приобрела сильный вкус... хотя едва ли что-либо может быть более отвратительным для европейского вкуса». И по сей день «вонючие яйца» и «вонючие головы» — почитаемые способы приготовления лосося среди коренных народов Тихоокеанского Северо-Запада; заквашенным в вечной мерзлоте мясом моржей и карибу наслаждаются по всей Арктике — у сюрстремминга есть свои капитаны буксиров.

С развитием сельского хозяйства в более умеренных регионах, чем дальний север, спонтанные версии разложения уступили дорогу разнообразию *контролируемых* версий, которые могли поддерживать избыточные пищевые продукты относительно съедобными в течение недель или месяцев. *Соленые/вяленые/копченые* продукты — *cured* от латинского «заботиться» — защищены от микробов солением или высушиванием и преобразованы в основном за счет своих собственных ферментов. *Ферментированные* продукты готовятся путем призывания на помощь конкретных благотворных микробов.

Они защищают самих себя и продукт способами защиты, которые безвредны и даже притягательны для нас в основном вязущими кислотами и расслабляющим спиртом.

В процессах соления и ферментации продуктовые и микробные ферменты вырабатывают летучие молекулы и ароматы, непохожие на те, что появляются в результате спонтанного разложения. Сегодня, когда мы способны охлаждать в холодильнике, замораживать и консервировать продукты, чтобы уберечь их от порчи, ферментированные продукты меньше ценятся за их срок годности, чем за эти излишние ароматы. Люди, производящие их, чрезмерно утруждаются, чтобы сделать их своими собственными, поэтому у нас есть великолепное ненужное изобилие сыров, колбас, чаев, спиртных напитков и уксусов, не говоря уж о приправах, столь насыщенных, что одна ложечка ароматизирует целые блюда. Ферментированные продукты предлагают бесконечные возможности, чтобы подивиться человеческой изобретательности, своеобразию и желанию. И разнообразию микробных партнеров, которых мы рекрутировали, от растительных листьев, цветов и древесной коры до почвы и океанов, до наших животных-компаньонов, а также до нас самих: широкая сеть, связи которой мы только-только начинаем отслеживать.

НЕКОНТРОЛИРУЕМАЯ ПРОДУКТОВАЯ ХИМИЯ: ЧЕРСТВОСТЬ И ПРОГОРКЛОСТЬ

Прежде чем мы доберемся до ароматов контролируемых солений и ферментаций, есть несколько родственных вех, которые стоит обнюхать и понять, а именно: чересчур знакомые запахи неконтролируемого продуктового хранения, зачерствения и порчи.

Продукты — сложные химические смеси, естественным образом меняющиеся со временем. Запахи, которые мы называем **черствыми** и **прогорклыми**, берутся от летучих молекул, выработанных химически активным

кислородом воздуха, зачастую при столкновении с собственными ферментами продукта. Stale (черствый, несвежий, выдохшийся) происходит от корня, обозначающего «стоять», и в Средневековье это слово применялось к пиву или вину, которые простояли достаточно долго, чтобы стать чистыми и сильными; выдохшийся эль был хорошей штукой. Rancid (прогорклый) происходит от латинского «гнилой» и стало ассоциироваться в основном с запахом старых жиров и масел. Эти запахи становятся прогрессивно сильнее, поэтому они метка времени, прошедшего с тех пор, как продукт был собран или приготовлен, это ценная информация для наших копающихся в падали предков, а также для современных Homo sapiens, когда мы копаемся в шкафчиках и холодильниках и проверяем свои находки, не пахивают ли они гнильцой.

Черствые и побочные запахи развиваются в основном, когда какая-нибудь комбинация ферментов, кислорода и световой энергии расщепляет длинные углеводные цепочки, содержащиеся во всех продуктах, на маленькие летучие альдегиды и кетоны. Многие из тех же самых молекул входят в число имеющих свежий запах летучих молекул зеленой листвы, или огурца, или грибных летучих молекул шляпочных грибов, или же они вносят вклад в приятный фоновый жирный букет приготовленных продуктов. Удивительный запах высохшего на солнце белья берется от смеси C_5-C_{10} альдегидов с прямой цепью. Однако медленное окисление вырабатывает более смешанные букеты, зачастую включающие случайные изломанные цепочки, совокупные запахи которых совсем другие. Они обычно описываются как металлические, рыбные, похожие на краску и особенно «картонные». Картонная нотка была впервые описана в молочных продуктах в 1940-х годах и ассоциировалась с девятиуглеродными ноненалями с одним изломом, которые по факту были позже опознаны как преобладающие летучие молекулы в произведенном картоне — огуречность совсем не к месту!

Некоторые черствые и прогорклые букеты

Совокупный запах	Составляющие запахи	Молекулы
картонный	жирный, огурец, зеленый, жареный, гриб	ноненали, нонадиеналь, декадиеналь, октенон
металлический	гриб, лист герани, металлический	октенон, октадиенон
рыбный	вареная рыба, краска, гриб, лист герани, огурец	гептеналь, гептадиеналь, октенон, октадиенон, нонадиеналь
краска	свежий, растворитель, зеленый, гриб, краска	ацетальдегид, пропаналь, пентеналь, гептадиеналь

Некоторые прогорклые кулинарные жиры и масла

Жир или масло	Составляющие запахи	Молекулы
сливочное масло	картонный, металлический	ноненали, гексаналь, октенон, октадиенон
оливковое масло	картонный, жареный, сальный	ноненаль, декадиеналь, октеналь, деценаль
стандартные рапсовое, соевое масла; высокоолеиновые масла	краска, рыбный; восковой, зеленый, сладкий, сальный	пропаналь, гексеналь, гептадиеналь, нонадиеналь, декатриеналь; октаналь, нонаналь, деканаль, деценаль

Прогорклость в **кулинарных жирах и маслах** особенно очевидна, потому что эти ингредиенты полны уязвимых длинных углеводных цепочек и сами по себе часто имеют слабый аромат или вообще не имеют никакого. Многоизолированные полиненасыщенные масла более подвержены расщеплению, чем масла с высоким уровнем мононенасыщенной олеиновой кислоты или насыщенных соединений, и они высвобождают иные летучие фрагменты. Масло становится сырным; оливковое и арахисовое масла становятся картонными и напоминающими залежалые орехи; рапсовое и соевое масла становятся рыбными; высокополиненасыщенное льняное масло становится похожим на краску. Производители разработали более стабильные разновидности высокоолеиновых соевого и рапсового масел для более длительной и более нейтральной сохранности. Антиоксидантные добавки тоже замедляют прогорклость масел, как и хранение в прохладных и темных условиях.

Богатые маслами **орехи** становятся прогорклыми, когда они извлечены из-под защиты своих скорлупок: в процессе их поверхности часто повреждаются. Грецкие и кедровые орехи имеют самый высокий уровень полиненасыщенных соединений и являются самыми уязвимыми. **Зерно и мука, хлеб и хлопья**, сделанные из них, куда менее жирные, чем орехи, но развивают похожие несвежие запахи. **Сушеные душистые травы** теряют большую часть своей ароматической личности и превращаются в сено. **Замороженные овощи** обычно имеют зачерствелый аромат из-за повреждения клеток и неконтролируемых химических реакций, когда их ткань замерзает и оттаивает. Воздействие яркого света может наполнить дурным запахом иным образом неиспорченное питьевое **молоко**, помогая одному из его витаминов (B_2) вступать в реакцию с содержащей серу аминокислотой и вырабатывать метантиол. Свет заставляет провонять **пиво**, похожим

Некоторые черствые и прогорклые продукты

Продукт	Составляющие запахи	Молекулы
орехи	зеленый, восковой, цитрусовая цедра, огурец	гексаналь, октаналь, нонаналь, нонадиеналь
рис, зерновая мука, хлопья, хлеб	зеленый, жирный, восковой, цитрусовая цедра, бобовый	гексаналь, гептаналь, октаналь, ноненаль, пентилфуран
сушеные душистые травы	сенной, похожий на какао и пот	метилнонадион; метилпропаналь и -бутаналь
замороженные овощи	зеленый, растворитель, рыбный	гексенали, гексаналь, пентаналь, пентеналь, гептеналь
молоко, подверженное воздействию света	гниющий овощ, приготовленный картофель, резкий, едкий	метантиол, метиональ, муравьиная кислота, акролеин
пиво, подверженное воздействию света	картон, зеленый, сладкий, похожий на какао и пот; серный, скусн	ноненаль, гексаналь, ацетальдегид, фурфуролы, метилбутанали; метилбутентиол
заново нагретое мясо скота и птицы	зеленый, металлический, картофель	гексаналь, эпокси-деценаль, метиональ

образом поощряя плохое поведение кислот в хмеле. **Мясные обеды** компрометируются той же самой содержащей железо молекулой гема, которая помогла выработать их вкусноту: она продолжает фрагментировать мясные липиды, особенно когда они повторно нагреваются, и вырабатывает версию черствости, известную как WOF, перегретый вкус (warmed-over flavor). Заново нагретая говядина может иметь печеночный запах, потому что она может содержать в десять раз больше свежеприготовленных уровней металлического эпокси-деценала и зеленого гексаналя. Соленое мясо — бекон, ветчина, колбасы — меньше страдает от WOF, потому что нитрит обрабатывающей соли препятствует окислению.

Легучие молекулы прогорклости и черствости нежелательны, когда они на первом плане, но они порой ценятся как фоновые ароматы или как признаки желанного долгого выдерживания. В Южной Франции ценятся окисленные кулинарные масла, сделанные из свежих оливок, а кусочки старого ветчинного жира добавляются в долго тушащиеся рагу. Многие фанаты сыра пармезан

сохраняют твердые и прогорклые корки, чтобы медленно варить в похлебках и соусах.

КОНТРОЛИРУЕМАЯ ПИЩЕВАЯ ХИМИЯ: СОЛЕНАЯ ВЕТЧИНА, АНЧОУСЫ, ЯЙЦА

При хорошем контроле хранение сырых животных тканей вырабатывает необычайные ароматы. Оно дает тканым ферментам шанс расщепить избыточные белки и липиды на пикантные на вкус и ароматические фрагменты, а фрагментам — шанс вступить в реакцию и выработать новые вкусы и запахи. Это усиление аромата, вместе с эффектом размягчения консистенции, — цель, стоящая за *подвешиванием* диких промысловых животных в течение нескольких дней, *выдерживанием* пива в течение нескольких недель и *засолкой* различных сортов мяса в течение месяцев.

Ингредиент, делающий продолжительную засолку возможной, — это соль, первоначальная доза которой строго ограничивает рост микробов на продукте, так что он может созреть в течение неопределенного времени без порчи. Соленое мясо, которое наиболее

часто едят как таковое, неприготовленное, — это крупная задняя нога свиньи, **ветчина**. Соленая ветчина зачастую действительно развивает поверхностные плесневые грибки и дрожжи, но ее внутренний вкус обусловлен химией самого мяса, на которую влияют многочисленные факторы, среди них — порода свиньи, питание и свобода передвижения, а также возраст в момент забоя; количество примененной соли с нитратами и нитритами или без них; а также температура, влажность и продолжительность засолки. В общем, чем теплее или дольше засолка, тем более широкомасштабны химические изменения и более насыщен окончательный аромат.

Большинство сортов ветчины имеют общий центральный летучий букет, включающий приготовленные и животные нотки — похожую на какао, картофельную, потную, прогорклую, похожую на скотный двор, — но также ярко выраженную фруктоность от эфи-

ров. Современная промышленная «**городская**» **ветчина** обычно обрабатывается соляным раствором соли и нитрита и засаливается за несколько часов, затем готовится при температуре примерно 65°C; у нее мягкий аромат с некоторыми серными летучими молекулами, выработанными готовкой. **Итальянская ветчина прошутто** типично засаливается в течение года при подвальных температурах, в среднем составляющих примерно 15°C, и она развивает весьма сладкую, фруктовую характеристику, которая, возможно, подталкивает картонный ноненаль в направлении его дынно-огуречной характеристики в растениях. Традиционная **американская деревенская ветчина** с территории от Виргинии до Северной и Южной Каролины, которую сейчас по большей части затмили промышленные подоби-я, засаливается в течение от девяти до двенадцати месяцев при температурах окружающей среды, которые могут достигать 30°C

Некоторые сорта соленой ветчины

Ветчина	Составляющие запахи	Молекулы
большинство сортов	какао, потный, зелено-прогорклый, приготовленный картофель, скотный двор, ягоды и тропические плоды	метилбутаналь, метилмасляная кислота, гексаналь, метиональ, крезол, этилметилбутират
промышленная, приготовленная (нитриты, засолка за 1 день)	+ океанический/приготовленная кукуруза, лук, мясной, масляный	+ диметилсульфид, этантиол, метилиопен, диметилдитиофуран, диацетил
итальянский прошутто (Парма, Сан-Даниеле, 12 месяцев, 15°C)	+ огурец-дыня, пажитник, карамель, цветочный, мед, поджаренный	+ ноненаль, сотолон, фуранеол, фенилуксусная кислота, фенилацетальдегид, ацетилпирролин
американская деревенская (9–12 месяцев, 30°C)	+ грибной, поджаренный, мед, цветочный, персиковый, карамель, дымный	+ октенон, ацетилпирролин, фенилацетальдегид, фенилэтанол, ноналактон, фуранеол, гваякол
китайская Цзиньхуа (6–10 месяцев; периоды высушивания солнцем и умышленное выращивание плесневых грибов; 37°C)	+ грибной, поджаренный, дымный, чеснок, мясной, мед, персиковый	+ октенон, ацетилпирролин, гваякол, диметилтрисульфид, диметилдитиофуран, фенилацетальдегид, ноналактон
испанский хамон иберико (24 месяца и более, 30°C)	+ мясной, грибной, сырный, фруктовый, карамель, цветочный, восковой	+ метилфурантиол, октенон, масляная кислота, метилбутират, фуранеол, октаналь, нонаналь

Некоторые виды соленой рыбы, рыбная икра и утиные яйца

Продукт	Составляющие запахи	Молекулы
анчоусы	какао, картофель, жирный, герань, дыня, жареный, говяжий жир	метилбутаналь, метиональ, гептеналь, октадиенон, нонадиеналь, декадиеналь, эпокси-деценаль
икра (осетровые яйца, засоленные и созревшие)	рыбный, огурец, цветочный, восковой, жареный во фритюре, приготовленный картофель	гептеналь, нонадиеналь, ноненаль, нонаналь, декадиенали, метиональ
столетнее утиное яйцо (соленая и щелочная паста или раствор, месяцы)	аммиачный и сульфидный; гриб, жирный, луковый, рыбный	аммиак и сульфид водорода; октенон, гексаналь, ноненаль, декадиеналь, диизопропил- и диэтил- и диметилдисульфиды, триметиламин

летом, и у нее есть грибная, ореховая, медовая нотки; даже когда она не прокопчена дымом, она часто содержит запашок дымного гваякола. Китайская **ветчина Цзиньхуа**, названная в честь ее родного города рядом с Шанхаем, засаливается в течение времени чуть меньше года, но она проходит периоды высушивания солнцем и умышенного выращивания плесневых грибков и проводит несколько недель при температуре 37°C; у нее есть грибная и серная нотки и насыщенная мясистость.

Общепризнанный золотой стандарт соленой ветчины — это *jamón ibérico de bellota*, откормленная желудями иберийская ветчина: приготовленная в юго-западной Испании из местной породы свиней, которые активно живут на открытых дубовых территориях, поедая растительность и желуды, забиваются в год достижения зрелости или в более старом возрасте и засаливаются при температурах окружающей среды в течение как минимум восемнадцати месяцев, достаточно долго, чтобы испытать жару двух испанских летних периодов. Очень специфическое питание вырабатывает длинноцепочечные альдегиды с цветочной и восковой нотками, а условия засолки вырабатывают особенно насыщенный аромат.

От массивной ветчины к рыбе-с-пальчик: соленые **анчоусы** известны за развитиепряного аромата, напоминающего иберийскую

ветчину гораздо больше, чем простую рыбность, и по этой причине являются излюбленными ингредиентами средиземноморской кухни (французское пюре из анчоусов в оливковом масле *anchoïade*, итальянская горячая подливка из чеснока и анчоусов *bagna cauda*). Эти маленькие жирные рыбки из семейства сельдевых засаливаются в 20–25%-ном соляном растворе в течение нескольких месяцев, в ходе которых энзимы из их мышц, часть их кишок и кишечные резидентные микробы вырабатывают мясные ароматические молекулы и их предшественников. Больше напоминает океаническое происхождение скоропортящаяся **икра**, богатые жиром яйца осетра и других рыб, которые лишь краткосрочно и слегка засаливаются, а затем охлаждаются, что придает им более простую и более мягкую смесь альдегидов.

Штучным товаром являются древние на вид **столетние яйца**, оригинальное китайское название которых — **пидань**, «кожаное яйцо». Это обычно утиные яйца, засаливаемые в течение месяцев в соленой и сильнощелочной пасте или соляном растворе из пепла, щелочи или минеральной извести. Экстремальные химические условия выполняют фрагментирующую работу, которую энзимы проделывают в ветчине и анчоусах. Результат поразителен: твердый, коричневый, прозрачный альбумин, нефритово-зеленый полутвер-

дый желток и запах, сильно аммиачный и сульфидный, когда яйцо впервые открыто, мягче, когда оно нарезано, и более рыбный, чем анчоусы, благодаря летучести триметиламина в щелочных условиях.

УПРАВЛЯЕМАЯ ПИЩЕВАЯ ХИМИЯ: ЧАЙНЫЕ ЛИСТЬЯ

Сушеные чайные листья обычно не оказывают бок о бок с соленой свиной и анчоусами, но их ароматы — это тоже продукт контролируемой, курируемой энзимной деятельности, какой бы ни краткосрочной. По факту, эта краткосрочность делает их трансформацию еще более волшебной. Удивительно испытать это непосредственно — и это достаточно просто сделать. *Camellia sinensis* (чайный куст, камелия китайская) родом из Южного Китая, но растения широкодоступные и достаточно морозостойкие, так что они коммерчески выращиваются в северных Соединенных Штатах. Добудьте растение, сорвите пару нежных новых листьев и мягко раздавите один. Он будет пахнуть как зеленый лист, которым он и является, благодаря летучим молекулам зеленой листы (см. с. 137). Затем потрите оба между ладонями несколько раз и дайте им отлежаться где-то в течение часа. Снова понюхайте.

Парфюм! Цветы и плоды, навешанные зелеными листьями. Это и есть энзимная алхимия, которую освоили производители чая по всей Восточной Азии и подробно разработали ее, чтобы создавать сотни различных вариаций. Чай — это ситуационное исследование человеческого поиска нюансов ощущения ради них самих. Последующие параграфы могут лишь намекнуть на их разнообразие и сложность.

Предпочитаемые материалы для приготовления чая — новые листья растущих кончиков растения. Они забиты энзимами и маленькими молекулами для постройки самих себя, и, поскольку они все еще нежные и уязвимые к насекомым, они запасают широкий ряд химических средств защиты: не только обычные летучие молекулы зеленой листы, но так-

же терпеноиды и бензоиды, готовые к тому, чтобы быть высвобожденными энзимами, когда листья ощущают стресс или повреждение, включая простое физическое трение или сгибание. Некоторые ароматы развиваются, когда листья собираются и оставляются завяливаться с потерей воды. Подбрасывание или натирание листьев вырабатывает больше. А применение нагревания, чтобы убить энзимы и завершить сушку, изгоняет некоторые летучие молекулы, но также создает новые.

Чтобы приготовить **зеленый чай**, листья собираются, порой завяливаются, но не обрабатываются до тех пор, пока не нагреваются; они склонны иметь наименее парфюмерный, порой сильно зеленый запах. **Китайские зеленые чаи** высушиваются обжаркой листьев на нагретой металлической поверхности, что вырабатывает жареные и дымные нотки. **Японские зеленые чаи**, включая самый распространенный, **сэнтя (сенча)**, сперва обрабатываются паром, чтобы деактивировать энзимы, затем скручиваются, чтобы сломать клетки листьев и вызвать некоторые химические реакции, и, наконец, высушиваются нагреванием при относительно низкой температуре, примерно 110°C, что вырабатывает зеленую и мясную серную летучую молекулу — кошачий кетон! Зеленые чаи **маття (матча)** и **гёкуро** готовятся из листьев, которые росли в тени в течение нескольких недель, прежде чем были собраны; это заставляет клетки листьев расщеплять свои избыточные белковые структуры ради энергии, в процессе вырабатывая аминокислоты и в конце концов диметилсульфид, вносящий вклад в их океаническую, овощную, водорослевую характеристику.

Для **чая улун** или **вулун**, названного от китайского «черный дракон», листья завяливаются, затем раздражаются несколько раз в течение часов хватанием, трением и подбрасыванием их вручную или трясением их во вращающемся барабане. Это избивание порой дополняет природное беспокойство на плантации: специальные ароматы чаев второго сбора Тайванской Восточной Краса-

Некоторые версии обработанных чайных листьев

Чай	Составляющие запахи	Молекулы
зеленый, китайский: лунцзин (незатененные листья, завяленные, сушка обжаркой)	цветочный, фруктовый, жареный, зеленый стручковый перец, дымный, океанический воздух	гераниол, линалоол, неролидол, ионон, дигидроактинидиолид, метилжасмонат, метил- и этилпиразины, изопропилметоксипиразин, винилфенол, диметилсульфид
зеленый, японский: сэнтя (незатененные листья, обработанные паром, скрученные, мягкая сушка)	мясной, животный, цветочный, печеное яблоко, жареный во фритюре, металлический, зеленый	меркаптометилпентанон, метоксиметилбутантиол, индол, метилжасмонат, дамасценон, декадиеналь, октадиенон, нонадиеналь
зеленый, японский: маття, гёкуро (затененные листья, обработанные паром, горячая сушка)	морские водоросли, потный, зеленый, цветочный, грибной, металлический, огурец, цветочный	диметилсульфид, метилбутаналь, гексаналь, гептеналь, октенон, октадиенон, нонадиеналь, ионон
улун, вулун, китайский (завяленные, подброшенные, нагретые, скрученные/окисленные, сушка нагреванием)	цветочный, фруктовый, кремовый, сладкий, животный, фиалка, зеленый, океанический воздух	фенилэтанол, метилжасмонат, жасмолактон, фуранеол, индол, линалоол, ионон, неролидол, дельта-декалактон, гексаналь, диметилсульфид
черный: китайский Кимун; индийский Ассам, Дарджилинг; Цейлон со Шри-Ланки (завяленные, раздавленные, окисленные, сушка нагреванием)	цветочный, цитрус, роза, фиалка, мед, фруктовый, зеленый, солодовый, ореховый	линалоол, гераниол, ионон, фенилацетальдегид, дамасценон, гексенон, метилбутаналь, метилпиразины
пуэр (завяленные солнцем, скрученные, ферментированные)	прокислый, опавшие листья, цветочный, древесный, сладкий	ди- и три-метоксibenзолы, ионон, оксиды линалоола, терпинеол, сирингол

вицы и Дарджилинга частично являются следствием грызения насекомыми. Цветочный, жасминовый запах многих улунов частично обусловлен метилжасмонатом, двенадцатуглеродным эфиром и стрессовым сигналом, который поврежденные листья испускают, чтобы стимулировать средства защиты других листьев и растений (см. с. 144). Листья разновидности Цзинь Сюань создают примечательный молочно ароматизированный улун, возможно благодаря жасмолактону и гамма-декалактону.

Для **черного** или **красного чая**, разработанного в Китае девятнадцатого века и зна-

менито введенного в употребление в Индии (Ассам, Дарджилинг) и на Шри-Ланке (Цейлон), листья завяливаются, затем раздавливаются или разрезаются, чтобы разрушить их клетки, смешать их содержимое, подвергнуть его воздействию кислорода в воздухе и вызвать буйство энзимной деятельности и химических реакций. Совокупный эффект богато фруктовый, цветочный и медовый.

Наконец, совершенно иное приготовление листьев камелии. **Чай пуэр** пришли из южной китайской провинции Юньнань, где листья частично высушиваются солнцем, слегка скручиваются и нагреваются, чтобы

сохранить часть энзимной деятельности, затем спрессовываются вместе в брикеты и хранятся в теплых влажных условиях в течение годов. Они развивают коричневый цвет и запах, напоминающий опавшие осенние листья. Основные летучие молекулы — метоксибензолы, образовавшиеся от фенольных колец листьев (галловой кислоты), той же самой молекулы, которая дала местным китайским видам розы их слабый запах (см. с. 202).

Хотя улун и черные чай часто вольно описывались как ферментированные, их лучше назвать окисленными. Чай пуэр — действительно ферментированные, преобразованные полчищем диких микробов, в частности видом плесневых грибов из рода *Aspergillus* (аспергилл). Они — контролируемая версия разлагающихся осенних листьев, запах которых они напоминают. А для нас они мост к царству микробных продуктовых разложений.

НЕКОНТРОЛИРУЕМЫЕ БЫТОВЫЕ МИКРОБЫ: ЗАПЯТНАННЫЕ И ИСПОРЧЕННЫЕ

Еще в главе 1 я описал то, как ошибочно принял запах вкусного сыра на моей собственной кухне за засорившееся сливное отверстие в раковине. В японских ресторанах запах натто, ферментированных соевых бобов (см. ниже, с. 440), используется для описания запаха грязной тряпки, который может развиваться у неиспользованных полотенец для рук *осибори*. Очевидно, намеренные ферментации имеют общие летучие молекулы со зловониями современного домашнего хозяйства! Мы и наши дома заполнены пригодными для эксплуатации следами органической материи, а микробы, живущие в нас, на нас и рядом с нами, всегда ароматизировали человеческую жизнь, даже в эти времена водопроводов, очистителей и холодильников. Мы уже повстречали их запахи на поверхностях, в полостях и отходах наших собственных тел (глава 6). Доносимые с предметов, которыми мы окружаем самих себя, чтобы не подпускать близко

энтропийные силы природного мира, они — само дыхание этой энтропии, и они остаются неустраимыми точками отсчета для ароматов ферментации, даже если только подсознательно.

В то время как черствые запахи неконтролируемого окисления возникают от всего лишь нескольких альдегидов, более вонючие запахи неконтролируемых микробов возникают от более разнообразных побочных продуктов их метаболизма, когда они разворачивают какую бы то ни было органическую материю, которую сумеют найти: *spoiled* (испорченный) первоначально обозначало «ограбленный». Запахи запятнанного и испорченного группируются на пять непривлекательных летучих букетов. Три по большей части от бактерий: **кислые** и тошнотворные кислоты с короткой цепью, **потно-животные** разветвленные кислоты от расщепления белков и вонючие **серные** молекулы из того же самого источника. Плесневые грибки вырабатывают свои **грибно-прокислые** восьмиуглеродные средства защиты и сигналы. А **фруктовые** спирты, кетоны и короткие эфиры вырабатываются по большей части дрожжами и плесневыми грибами.

В построенной человеком окружающей среде есть множество ниш, где процветают микробы, на частицах или пленках пищевых остатков, на останках крошечных насекомых-сжигателей и сброшенных чешуйках нашей собственной кожи, и даже на сходном с липидами мыле, которым мы пользуемся для наведения чистоты. Бактерии преобладают во влажных уголках и испускают свою типичную кислую и серную пахучесть маленьких молекул из **кухонной раковины и сливного отверстия, посудных тряпок и губок, холодильников, душевых кабинок и занавесок, влажных ковров и подвалов**. (Быстрое решение проблемы кислотности: щелочная пищевая сода вытягивает водород из кислотных молекул, оставляя их заряженными и нелетучими.) Даже приборы, которые мы используем для наведения чистоты, как оказывается, дают приют экстремофилам, одомашненным

Некоторые бытовые микробные букеты

Общие запахи	Бытовые источники	Молекулы
кислый	кухонные губки и тряпки, посудомоечная машина, вазы и цветочные горшки	кислоты с короткой цепью: уксусная, пропионовая, масляная, гексановая
серный	кухонные сливные отверстия и губки, унитаз	содержащие серу: метантиол, сульфид водорода, метилсульфиды
прокисло-грибной	подвал, ванная, сырой ковер	C ₈ цепочки, терпеноиды: октенол, октенол, октадиенон, метилизоборнеол
потно-животный	грязное или влажное белье	короткие разветвленные кислоты и альдегиды: метилмасляная и метилгексеновая кислоты, метилбутанали
растворительно-фруктовый, поднимающийся	портящиеся пищевые продукты	кетоны, спирты, эфиры: ацетон, гептанон, этанол, этилацетат

Некоторые испорченные продукты

Продукт	Составляющие запахи	Молекулы
испорченное мясо испорченная рыба	кислый, тошнотворный, потный, прогорклый, капустный, протухлый, фруктовый, жирный, солодовый, сырный; + рыбный, аммиачный	масляная и метилмасляная кислоты, метилбутаналь, гексаналь, октеналь, нонаналь, диметилсульфид и -дисульфид и -трисульфид, метилтиоацетат, этилацетат и -бутират; + диметил-, триметил- и метилбутил-амины
испорченное молоко, сливки	кислый, тошнотворный, серный, растворитель, фруктовый	уксусная кислота, этанол, ацетон, этилацетат и -бутират, масляная кислота, диметилдисульфид, метантиол
заплесневелый хлеб	грибной, прокислый, землистый, фруктовый	октенол, октанол, метилизоборнеол, дамасценон
заплесневелый цитрусовый плод	растворитель, лак для мебели	этанол, этилацетат, лимонен
заплесневелый томат	потный, серный, растворитель	метилбутаналь, диметилдисульфид, толуол, ксилол

версиям микробов, процветающих в горячих источниках и отходах горнодобывающих предприятий. **Посудомоечные машины** укрывают бактерии и дрожжи на своих уплотнительных кольцах; **стиральные машины** сокращают микробное количество на грязной одежде, но распространяют множество по всей партии белья, некоторые из которых переживают сушилки и бельевые веревки. Когда постиранная ткань снова намокает от влажности или потоотделения, одна из этих бактерий, *Moraxella osloensis*, вырабатывает знакомый потный запах **влажных полотенец и белья** (из 4-метил-3-гексеновой кислоты, кузины 3-метил-2-гексеновой кислоты нашего телесного запаха).

Когда дело касается самих продуктов, портящиеся плоды и овощи, хлеб и мясо, все они, в общем, теряют свои собственные присущие летучие молекулы, и у них появляются новые, сильные запахи, которые в лучшем случае неуместны. Фруктовость восхитительна, но не тогда, когда она исходит от куска сырого **мяса**, которое, когда портится, сначала пахнет фруктами и растворителем, но быстро прогрессирует до протухлости. Порой современные методы сохранения в действительности делают все только хуже. Сырое молоко, свежее, из вымени, развивает кислый, яблочный, масляный аромат, дикое начало сметаны, йогурта и сыра; если оно пастеризовано, окисляющие бактерии уничтожаются, а холодильник дает преимущество переносящим холод бактериям (*Pseudomonas*), которые в

конце концов делают **пастеризованное молоко** мерзким от серных, фруктовых, похожих на растворитель продуктов.

Смешайте всевозможные кухонные объедки вместе и завяжите их в пластиковый мешок, удерживающий влагу и тепло, — вот рецепт для микробного рая! Отсюда запахи, знакомые по заваленным мусором городским тротуаром летними ночами, что напоминают мне мятые металлические консервные банки, разбираться с которыми было моей домашней работой десятилетия назад. Головокружительное изобилие кислотности и фруктовости, сульфидов и растворителей.

КОНТРОЛИРУЕМЫЕ МИКРОБЫ: ИСКУПЛЕННОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ

Тысячи лет назад первопроходцы ферментации открыли способы управлять разложением, так чтобы пищевые продукты оставались съедобными дольше обычного и приобретали сильный аромат, но не от случайных миазмов черствения и порчи. Они рекрутировали избранный отряд деструкторов: микробов, ограничивающих свое воздействие на пищевые молекулы, отбивающих у своих более деструктивных или токсичных соперников охоту вторгнуться и акцентирующих более приятные летучие букеты, с серными, потными и прокислыми запахами, обычно (но не всегда!) предоставляющими относительно ненавязчивую глубину совокупному запаху.

Микробные букеты в ферментированных продуктах

Букеты запахов и молекул	Преобладают в
кислый, резкий: кислоты с короткой цепью	соленые или маринованные огурцы, вино, пиво, уксус, колбасы, соевый соус и мисо, сыры
растворительно-фруктовый: спирты, эфиры, кетоны	=
серный: тиолы, сульфиды	сыры, соевый соус и мисо, рыбные соусы, креветочные пасты
потно-животный, какао: разветвленные кислоты и альдегиды	соевый соус, сыры
прокисло-грибной: C ₈ цепочки, терпеноиды	сыры, колбасы

Некоторые ферментационные бактерии

Бактерии	Продукты	Основные ароматические вклады
молочнокислые бактерии: <i>Lactobacillus</i> , <i>Lactococcus</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Enterococcus</i> , <i>Tetragenococcus</i> ...	йогурт, сыры, колбасы, соевый и рыбный соусы, кислый хлеб	растворительно-фруктовый, кислый, сульфидный, масляный (спирты, эфиры, уксусная и другие кислоты, сульфиды, диацетил)
уксуснокислые бактерии: <i>Acetobacter</i> , <i>Gluconobacter</i> , <i>Gluconacetobacter</i> , <i>Komagataeibacter</i>	уксус, чайный гриб (комбуча), пиво ламбик	уксус (уксусная кислота)
<i>Propionibacterium</i> <i>freudenreichii</i>	сыры швейцарских сортов	потный (пропионовая и разветленно-цепочечные кислоты)
<i>Brevibacterium linens</i> , <i>aurantiacum</i>	сыры с отмытой корочкой	сульфидный, потный (сульфиды, тиолы, кислоты с разветвленной цепью)
<i>Staphylococcus xylosus</i> , <i>carnosus</i> , <i>equorum</i>	колбасы	растворительно-фруктовый, сульфидный, потный (спирты, эфиры, сульфиды, альдегиды с разветвленной цепью)
<i>Bacillus subtilis</i>	ферментированные бобы и орехи, например, натто, давадава	потный, ореховый (кислоты с разветвленной цепью, пиразины)
<i>Clostridium perfringens</i>	солеподнимающийся хлеб, средиземноморские лепешки	кислый, сырный, рвота (масляная, пропионовая кислоты)
<i>Halanaerobium praevalens</i>	сюрстремминг	кислый, рвота, экскременты (масляная и пропионовая кислоты, сульфиды и тиолы)

Самая важная группа ферментационных микробов — это **молочнокислые бактерии**, или **LAB** (*lactic acid bacteria*), названные так потому, что их основное защитное оружие — непахнущая, приятно кислая на вкус молочная кислота. Эта группа предшествовала первым наземным растениям и стала разнообразной вместе с ними; затем некоторые обитатели растений специализировались дальше, чтобы жить на животных, питающихся растениями, от насекомых до молочных коров и до нас самих. Они везде, и большинство из них быстро поглощают сахара и не нуждаются в кислороде, поэтому LAB получают фору, чтобы первыми добраться до

всевозможной уязвимой органической материи, от растоптанной растительности до пролитого материнского молока. Они стоят за спонтанной ферментацией наших **овощных маринованных огурцов**, они намеренно добавляются для изготовления **йогурта, сыров** и сырых колбас типа **салями**, и они играют роль в **соевом и рыбном соусах**. *Lactococcus lactis*, основной источник масляного диацетила в молочных продуктах, вероятно, пришел с зеленых пастбищ и вымени коров, в то время как *Lactobacillus helveticus*, усиливающая аромат многих долго выдержанных сыров, судя по всему, прибыла в молоко через пищеварительный тракт куриц. Первоначальный

дом *Lactobacillus sanfranciscensis*, бактерии, вносящей вклад в кислый хлеб, — это кишки и экскреты мучных хрущаков *Tribolium*!

Среди других бактерий, рекрутированных для продуктовых ферментаций, **уксуснокислые бактерии** — названные так, потому что они защищают себя уксусной кислотой — ферментируют спирты в **уксусы** и кооперируют с дрожжами для приготовления **чайного гриба (комбучи)**; они обычно растут на поврежденном винограде и других плодах. *Propionibacterium*, придающая **швейцарским сырам** типа эмменталю их характерный резкий, потный аромат, — сестра другого вида, живущего на нашей коже; *Brevibacterium*, вносящая вклад в оранжевый цвет и вонючесть отмытых соляным раствором **сыров эпюас и лимбургер**, имеет близких родственников на потно-соленых ногах, (см. с. 107) и в морских осадках и рыбе.

Определенно, самые важные ферментеры из царства грибов — это **дрожжи**, которые, как и бактерии, живут в виде отдельных клеток. Первые среди них — *Saccharomyces cerevisiae*, которые защищают свою террито-

рию приятно психоактивным этиловым спиртом (см. с. 294). Они также вырабатывают другие спирты, простые кислоты и кислотно-спиртовые эфиры, типичные для спелых плодов, и они придают эти ароматы **алкогольным напиткам, уксусам и дистиллированным спиртным напиткам**, приготовленным из них. Родственные *Zygosaccharomyces* включают виды, колонизирующие частично высушенные или ферментированные плоды и древесный сок; они вносят похожую на растворитель, фруктовую и карамельную нотки в приправы типа **соевого и рыбного соусов** и истинных **бальзамических уксусов**. *Geotrichum*, необычные дрожжи, образующие похожие на плесень нитевидные волокна, портят плоды, но также придают некоторым **влажным сырам** типа сен-марселлен их «цветущую» белую корочку и вносят серные и медицинские летучие молекулы.

Многоклеточные, образующие нитевидные волокна **плесневые грибки**, помогающие ферментировать характерные продукты и напитки, произошли из грибных кланов, широко распространенных в приро-

Некоторые ферментационные дрожжи

Грибы	Продукты	Основные ароматические вклады
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>exiguus</i> , <i>pastorianus</i> , <i>bayanus</i> , <i>uvarum</i> ...	хлеб, вино, пиво, рисовые спиртные напитки, уксус	пьянящий, алкогольный, фруктовый, цветочный (спирты, эфиры)
<i>Zygosaccharomyces rouxii</i> , <i>sapae</i> , <i>lentus</i>	соевый и рыбный соусы, бальзамические уксусы, чайный гриб (комбуча)	пьянящий, фруктовый, сладкая карамель (спирты, эфиры, фураноны)
<i>Brettanomyces/Dekkera bruxellensis</i> , <i>anomala</i> ...	пиво, вино	пряный, дымный, скотный двор (фенолы, уксусная кислота)
<i>Debaromyces hansenii</i>	колбасы, сыры с влажной корочкой	фруктовый, серный, аммиачный (спирты, эфиры, метиональ, тиолы, аммиак)
<i>Yarrowia lipolytica</i>	сыры	сульфидный, аммиачный (сульфиды, тиолы, аммиак)
<i>Candida milleri</i> , <i>humilis</i> , <i>versatilis</i> , <i>etchellsii</i> ...	кислый хлеб, соевый соус	пьянящий, алкогольный, фруктовый, цветочный (спирты, эфиры)
<i>Geotrichum candidum</i>	сыры с цветущей корочкой	фруктовый, цветочный, серный, медицинский (эфиры, тиолы и сульфиды, тиозэфиры, кетоны, фенилэтанола, фенол)

Некоторые ферментационные плесени

Грибы	Продукты	Основные ароматические вклады
<i>Penicillium camemberti</i> , <i>roqueforti</i> , <i>nalgiovense</i> , <i>salamii</i>	сыры с цветущей корочкой и голубыми прожилками, колбасы	грибной, фруктовый (октанол, октенол, спирты, кетоны)
<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>sojae</i> , <i>kawachii</i>	соевый соус, мисо, ферментированные черные бобы, рисовые спиртные напитки	грибной, потный, фруктовый, алкогольный (октенол, метилбутаналь, спирты, ацетон, диацетил, этилацетат)
<i>Rhizopus oligosporus</i> , <i>oryzae</i>	темпе (брикет из соевых бобов)	растворитель, серный, прогорклый (этанол, ацетон, этилацетат, бутанон, метилбутанол, диметилсульфид и -трисульфид, метиональ, метилпропаналь)

де, в почвах и на растительности, и включают деструктивных и крайне токсичных членов. Самые знакомые — виды белой плесени, один из которых растет на поверхности влажных **сыров камамбер и бри**, а другая парочка — на поверхности **сыровяленых колбас**. Виды зелено-голубой плесени окрашивают воздушные каналы в **голубых сырах** (плесневым грибкам для роста необходим кислород). Белые плесени вкладывают в основном грибно-прокислые восьмиуглеродные цепочки; голубые — фруктовые и похожие на растворитель кетоны.

Виды плесневых грибов *Aspergillus* и *Rhizopus* — важнейшие ингредиенты в азиатских многоэтапных ферментациях, вырабатывающих насыщенно ароматические **соевые пасты и соусы** и различные **алкогольные напитки**. Эти плесневые грибки выделяют изобилирующие энзимы для переваривания семенных крахмала и белков на сахара и аминокислоты, на которых затем могут процветать бактерии и дрожжи в ходе вторичной ферментации. Первоначальная плесневая стадия вносит типичную грибковую восьмиуглеродную грибность, и фруктовую, похожую на растворитель, и похожую на нотки какао.

Традиционная закваска из смешанных диких плесневых грибов известна как **чу** в Китае и **меджу** в Корее; более поздняя и более изысканная японская версия, **кодзи**, — чистая культура *Aspergillus*. Это смеще-

ние со спонтанных и сложных ферментаций на более контролируемые и упрощенные было типичным за последний век, особенно в производстве промышленного масштаба. В последнее время как энтузиасты, так и производители изучали новые комбинации микробов и ингредиентов. В последующих таблицах по мере возможности я собрал информацию о традиционно ферментируемых продуктах, вкусовом стандарте, к которому стремятся промышленные подобию.

ФЕРМЕНТИРОВАННЫЕ ОВОЩИ: МАРИНОВАННЫЕ ОВОЩИ, КВАШЕНАЯ КАПУСТА И КИМЧХИ, ОЛИВКИ, КАПЕРСЫ

Маринованные овощи входят в число самых популярных ферментированных — или псевдоферментированных продуктов. В течение тысячелетий они были важным средством запасаения летнего скоропортящегося урожая на зиму; сегодня они обычно быстро сострыпанные, солено-кислые приправы, зачастую произведенные простым закислением и сохраненные пастеризацией. У истинных маринованных овощей ароматы богаче. Они среди самых легкоготавливаемых ферментированных продуктов, и они предлагают яркую демонстрацию того, как простая микробная селекция влияет на ферментационные аро-

маты. Исследователи запахов, попробуйте-ка это дома: нарежьте немного гарнирных овощей, разделите их на две чашки или миски, погрузите одну кучку в обычную воду, другую — в воду с ложкой соли. Закройте их, оставьте их в теплом месте и обнюхивайте их каждый день.

Несоленая миска — подобие того, как готовится парочка китайских ферментированных специальных блюд: **гнилой амарант** Шаосина и жидкость, используемая для маринования и ароматизации кусочков бобового творога для приготовления **вонючего тофу**. С ограниченным кислородом, растворенным в воде, всевозможные анаэробные микробы извлекают энергию из любого материала, из какого могут, включая содержащие азот и серу аминокислоты. Результат, как вы почувствуете, — болотный набор сульфидов и протухлый кадаверин.

Большинство других маринованных овощей готовятся с солью именно для того, чтобы

избежать этой болотности. Несколько молочнокислых бактерий переносят высокие уровни соли лучше, чем большинство микробов, поэтому соль дает им преимущество над метаболизирующими аминокислоты анаэробами. LAB получают энергию из растительных углеводов и липидных цепочек, из которых они вырабатывают консервирующую молочную кислоту и мягко резкую смесь летучих кислот и спиртов: запахи вашей соленой миски.

В **маринованных огурцах**, типично ферментируемых в течение нескольких недель в примерно 6% соляном растворе, растительные энзимы, вырабатывающие характерные девятиуглеродные цепочки, подавлены, поэтому огуречность становится всего лишь одной ноткой в смеси кислых и пьянящих ферментационных летучих молекул. **Квашеная капуста** готовится наполовину из соли и имеет более разнообразные микрофлору и аромат, включая сульфиды, развившиеся из защитных тиоцианатов, определяющих

Некоторые ферментированные и маринованные овощи

Овощ	Составляющие запахи	Молекулы
гнилой амарант, мей сиань кай ген (и вонючий тофу: чу дуфу)	океанический воздух, трюфель, лук, газовый, чеснок, животный, протухлый	диметил-, метилэтил- и диэтилдисульфиды, индол, кадаверин
огурец	кислый, сырный, прокислый, огуречный, цветочный	гексеновые кислоты, гептанол, нонадиеналь, фенилэтанол
капуста: квашеная капуста	кислый, уксусный, растворитель, серный	уксусная кислота, этанол, ацетальдегид, этилацетат, этиллактат, метилбутанол, диметил ди- и три-сульфиды
капуста + чеснок + стручковый перец: кимчи	как выше + чесночный	как выше + диаллилдисульфид, аллилметилдисульфид, метилпропилдисульфид
оливки, соленые	растворитель, уксусный, фруктовый	этил и другие спирты, уксусная кислота, этилацетат
оливки, консервированные солением	фруктовый, растворитель, уксусный, потный	метилметилбутират, гексенол, метилбутанол, этилпропаноат, уксусная и метилмасляная кислоты
каперсы	цветочный, сосновый, капустный, фруктовый	неролидол, линалоол, ионон, терпинеол, метилизотиоцианат, этилбензоат, метил- и этилоктаноаты

капустное семейство (см. с. 159); корейское **кимчхи**, квашеная капуста с чесноком и красным перцем, значительно усиливает серный букет чесночными аллилсульфидами. Ферментация **соленых оливок** занимает месяцы из-за воскового слоя, покрывающего каждый плод; дрожжи в итоге преобладают и дают им приятную смесь из спиртов, уксусной кислоты и похожего на растворитель и фруктового эфира. Более сухая окружающая среда **консервированных солением оливок** тоже отдает предпочтение дрожжам и вырабатывает разнообразие молекул с разветвленной цепью и более разношерстных эфиров. (В консервированных оливках преобладает похожий на приготовленные овощи диметилсульфид.)

Для меня самый лакомый ферментированный овощ — это засоленная не открывшаяся цветочная почка **каперсового** куста, далекого родственника капустного семейства, который умудряется быть одновременно капустным и цветочным. Цветочность происходит от двух терпеноидов, неролидола и линалоола, ароматизирующих поразительный белый и фиолетовый открывшийся цветок, а другой, фиалковый ионон, каким-то образом высвобождается ферментацией. Поддержку оказывают несколько фруктовых эфиров.

ФЕРМЕНТИРОВАННЫЕ СЕМЕННЫЕ ПРОДУКТЫ: ХЛЕБ, ТЕМПЕ, ВОНЮЧИЕ БОБЫ

В отличие от скоропортящихся вонючих овощей, большинство семян можно хранить бесконечно в первозданном виде. Зерна и сушеные бобы обычно ферментируются не для того, чтобы сохранить их, а для того, чтобы сделать так, чтобы эти главные диетические продукты было легче и интересней есть, или чтобы выработать спиртные напитки, до которых мы доберемся позже.

Самые знакомые ферментированные зерновые продукты — это хлеб, обычно вентилируемый преобладающим ростом вырабатывающих оксид углерода (IV) дрожжей в

тесте из увлажненного мелко измельченного зерна. Большая часть хлебного аромата вырабатывается в процессе готовки (см. с. 411), изгоняющем многие дрожжевые летучие молекулы. (**Упакованные сухие дрожжи** для выпекания хлеба имеют интенсивный запах, вырабатываемый из аминокислот в процессе сушки и включающий сульфиды и похожие на орехи и попкорн пиразины и пирролы.) Тесто, включающее значительное количество LAB и других бактерий, развивает летучие молекулы, сохраняющиеся даже после выпекания, в частности уксусную и другие кислоты с короткой цепью. Такой **кислый хлеб** имеет множество названий и составов, включая эфиопскую **ынджеру**, сделанную из тефа, и южноиндийские **досу** и **идли**, сделанные из смешанных видов блинного теста из риса и бобов урда.

Кислые ароматы приятно сбалансированы, когда ферментация протекает при прохладной комнатной температуре, но слишком сильно нагретые закваска и тесто часто генерируют слишком много потной пропионовой кислоты и/или сырно-рвотной масляной кислоты. Ироничным образом **хлебные ряды в супермаркетах** часто имеют всепроникающий кислый запах, потому что производители обрабатывают свои заключенные в пластиковые мешки буханки солями пропионовой кислоты, чтобы предотвратить рост плесневых грибов.

Масляная сырность в действительности ценится в нескольких необычных сортах хлеба. Для **солеподнимающегося хлеба** и **эфтази-мо** повара в восточных Соединенных Штатах и в восточном Средиземноморье давно избрали главными бактерий для подъема теста. Они начинают, выливая кипящую воду на измельченные зерно или бобы. Этот шаг моментально убивает большинство микробов, включая дрожжи, но стимулирует прорастивание крепких спящих спор бактерий-выживальщиков. В ходе ферментации при температуре тела вид *Bacillus* вырабатывает энзимы, расщепляющие крахмал семян на сахара. Затем безвредные штаммы *Clostridium perfringens* (другие

штаммы которых вызывают газовую гангрену и пищевое отравление!), которые метаболизируют сахара и аминокислоты, в процессе вырабатывая заквашивающий газообразный водород, а также сырную масляную кислоту и серный метантиол.

В Азии богатые белками бобы — важный основной продукт, и ферментации делают их менее монотонно бобовыми. Некоторые не пользуются повсеместной любовью. **Пекинское дужи** или **дужир** — это богатая белками жидкость, оставшаяся после того, как измельченный маш (бобы мунг) обрабатывается, чтобы способствовать экстракции его крахмала для приготовления лапши, включая ферментацию дикими молочно- и уксуснокислыми бактериями и видами из рода *Clostridium*. Анализ 2018 года отметил, что этот официальный элемент городского «неосвязаемо-

го культурного наследия», несмотря на его «сильный серный, кислый, сырный запах... все еще пользуется популярностью у части населения Пекина». Я могу подтвердить: это блюдо определенно осязаемо для носа!

Суфу — версия вонючего тофу, приготовленная ферментацией самого соевого творога, а не просто замачивания его в заранее ферментированном соляном растворе. Его производители стимулируют рост нескольких плесневых грибов (*Actinomucor*, *Mucor*, *Rhizopus*) на кубиках творога, затем позволяют плесневым энзимам заниматься расщеплением в течение нескольких месяцев засаливания. Белки тофу служат для выработки ярко выраженных животных летучих молекул вместе с характерным вкладом от похожего на дезинфицирующее средство, медицинского фенола. Темно-красная вер-

Некоторые ферментированные семенные продукты

Продукт	Составляющие запахи	Молекулы
кислый хлеб, ынджера	кислый, уксусный, сырный, потный	уксусная, пропионовая, масляная, пентановая кислоты
солеподнимающийся хлеб, эфтазимо (греческий самозаквашивающийся хлеб)	сырный, уксусный, серный	масляная и уксусная кислоты, метантиол
дужи (китайская похлебка из маша)	серный, сырный, огурец, гвоздика, зеленый, картофель, скотный двор, гриб	диметилтрисульфид, масляная кислота, наонадиеналь, эвгенол, гексенол, этилфенол, метиональ, крезол, октенон
суфу (китайский ферментированный тофу)	животный, серный, дезинфицирующее средство, сырный, фруктовый; красный суфу: вышеперечисленное + дрожжевой	индол, диметил ди-, три- и тетра-сульфиды, фенол, масляная кислота, метилбутират; + спирты, эфиры
натто (японские липкие соевые бобы)	масло, поджаренный, кофе, гриб, фруктовый, сырный	диацетил, ди-, три- и тетра-метилпипразины, гидроксипутанон, октенон, метилпропионовая и метилмасляная кислоты, аммиак
темпе (индонезийские брикеты из соевых бобов)	приготовленный картофель, свежий, гриб, орех/попкорн, капуста, мед	метиональ, метилпропаналь, октенон, ацетилпирролин, диметилтрисульфид, фенилацетальдегид

сия суфу обязана своим цветом и типичными спиртовыми и эфирными нотками виду дрожжей, *Monascus*, которые отдельно культивируются на рисе и затем добавляются к созревающему соляному раствору.

Натто — несколько печально известная японская версия продукта из соевых бобов, производимого во всей Азии; Африка производит схожие ферментационные продукты из ряда других семян. Приготовленные бобы неплотно заворачиваются в загруженные микробами солому или листья, или же им делают инокуляцию культуры бактерий *Bacillus subtilis*, разновидность *natto*, и они ферментируются при температуре тела в течение дня-двух. Микробы расщепляют избыточные соевые белки и придают бобам коричневый цвет, интригующее липко-слизкое покрытие и аромат, сочетающий характеристики какао и кофе с потной и сульфидной нотками и порой аммиаком, вместе с поджаренными пиразинами, которые, вероятно, спонтанно образуются в тепле, когда расщепляются белки. Коммерческие бактериальные штаммы, вырабатывающие относительно мягкий аромат, включают некоторые, собранные с китайских пылевых облаков, проходящих через Японию весной: говорят, что они вырабатывают «небесное натто»!

Темпе — индонезийский брикет из ферментированных соевых бобов, наименее проблемный из всех ферментированных соевых продуктов. Он готовится примерно как натто, но приготовленные бобы отмываются от своих семенных оболочек и ферментируются плесневым грибом *Rhizopus*, нити мицелия которого прорастают через массу и связывают ее вместе в твердые брикеты. Верный своей грибной природе, плесневый грибок придает бобам грибно-прокислую восьмиуглеродную летучую молекулу вместе с овощной, ореховой и медовой нотками.

ФЕРМЕНТИРОВАННЫЕ СЕМЕННЫЕ ПРИПРАВЫ: СОЕВЫЙ СОУС, МИСО, ЦЗЯН

Ферментированные семенные *продукты* — вкусные приготовления питательных, но пресных зерен и бобов. Ферментированные семенные *приправы* — вкусовые концентраты для добавления во всевозможные пресные продукты, чтобы удовлетворить наш аппетит на сенсорную стимуляцию. Народы Азии подали пример развития и очистки ферментированных семенных продуктов, которые «помогают проглотить рис». Один из них, соевый соус, приготовленный из соевых бобов, сейчас знаковый аромат почти по всей планете. Его характерный баланс летучих молекул и солено-пикантного вкуса делает его и похожие приготовления необычно разносторонними. Приправа, приготовленная и имеющая вкус совсем как у соевого соуса, **мурри**, была сделана из ячменя в средневековом арабском мире. Сегодня изобретательные шеф-повара во многих странах применяют азиатские техники ко всевозможным сырым материалам, от местных семян до насекомых и сушеных дрожжей, в то время как производители все больше полагаются на упрощенные способы, чтобы сделать недорогие подобию.

Есть много вариаций ферментированных семенных приправ, но большинство развивают свои ароматы посредством одной и той же общей двухэтапной ферментации. Все начинается с роста плесневых грибов на приготовленных семенах, чтобы сделать закваску чу (между или кодзи), богатую энзимами и ароматизированную летучими молекулами приготовленного зерна и грибов. Затем закваска смешивается со свежими порциями приготовленных соевых бобов и зерен и с очень соленым соляным раствором. Когда смесь ферментируется в течение дней или месяцев, переносящие соль молочнокислые бактерии вырабатывают консервирующие и летучие кислоты, а переносящие соль дрожжи вырабатывают спирты, эфиры, а также углеродно-кольцевые фураноны и серные летучие молекулы. Период выдерживания от

нескольких месяцев до нескольких лет дает время бесчисленным продуктам и остаткам семян и микробам вступить в последующие реакции друг с другом.

Готовые пасты обычно продаются в основном как таковые, в то время как жидкие соусы обычно пастеризуются перед разливанием по бутылкам при температурах выше точки кипения в течение нескольких минут или при 60°C в течение нескольких дней; этот шаг готовки еще больше усиливает цвет и аромат. В результате получаются имеющие сильный вкус варева, соленые, пикантные, кислые и порой сладкие, с ароматом, богатым микробными и приготовленными летучими молекулами.

Основа аромата **соевого соуса** обусловлена реакциями аминокислот друг с другом и

со следами сахаров и фрагментов с короткой цепью, частично в ходе ферментации и выдерживания, частично в ходе последнего этапа готовки. Простое **промышленное подобие соевого соуса**, соевые бобы, приготовленные под давлением с очень сильной соляной кислотой, вырабатывают аромат, на удивление схожий с ферментированной версией, ту же самую центральную смесь знакомых аминокислотных фрагментов — похожий на какао метилбутаналь, похожий на картофель метиональ — и некоторых «коричневых» по запаху приготовленных молекул. Однако только задействие дрожжей вырабатывает летучие молекулы, дающие ферментированным соевым соусам их большие широту и глубину, а именно: пьянящие спирты и фрук-

Некоторые соевые соусы и пасты мисо

Приправа	Составляющие запахи	Молекулы
ферментированный соевый соус (приготовленная на пару соя + жареный пшеничный, рисовый или соевый кодзи, засоленные и ферментированные 6–8 месяцев, пастеризованные)	какао, картофель, карамель, пажитник, фруктовый, тропический фрукт, поднимающийся, дымно-пряный, жареное мясо, обжаренный кофе	метилбутаналь, метиональ, сотолон, фуранон соевого соуса (гидроксиэтилметилфуранон), фуранон, этанол, этилметилпропионат, этилтиопропионат, другие эфиры, этилгваякол, метилфурантиол, фуранметантиол
кислотно-гидролизированный соевый соус	какао, картофель, кислый, прогорклый, жареный, дымный	метилбутаналь, метиональ, фенилацетальдегид, уксусная, муравьиная и масляная кислоты, пиразины, фураны, сульфиды, гваякол
мисо, белое, желтое, красное (приготовленные на пару соевые бобы + рисовый кодзи, ферментированные + выдержанные 6–12 месяцев)	карамель, сладкий, картофель, цветочный, фруктовый, дымный, обжаренный кофе	фуранон соевого соуса, сотолон, метиональ, фурфурол, гексанол, фенилэтанол, этилметилпропионат и -бутират, фенилэтилацетат, другие эфиры, гваякол, фуранметантиол
мисо, маме/хатчо (приготовленные на пару соевые бобы, соевый кодзи, ферментированные + выдержанные 2–3 года)	какао, картофель, карамель, мед, гриб, дымный, серный, обжаренный кофе	метилбутаналь, метиональ, фуранон соевого соуса, фенилацетальдегид, октенон, гваякол, диметилтрисульфид, фуранметантиол

товые эфиры, похожие на тропический фрукт, обжаренный кофе и жареное мясо тиолы, а также карамельно-сладкий сотолон и «фуранон соевого соуса».

Японское **мисо**, определяющий ингредиент в одноименном супе, — самая знакомая из полутвердых версий ферментированных соевых бобов. Большинство сортов мисо готовятся из крахмальной основанной на рисе закваске с *Aspergillus* без обжаренных зерен или пастеризации, поэтому они светлее по цвету, чем соевый соус, обычно не имеют похожего на какао метилбутанала, и вместо этого в них преобладают спирты, эфиры и фураноны, фруктовые и пахнущие карамелью. Исключение — **хатчо** или **маме мисо**, приготовленное почти полностью из соевых бобов, с куда меньшим количеством сахара и куда большим количеством белков и аминокислот, выдержанное в течение двух лет или более, очень темное по цвету и поджаренному пикантному аромату.

Среди других китайских семенных приправ **доучи**, или **ферментированные черные бобы**, — целые приготовленные на пару соевые бобы, соленые и ферментированные плесневым грибом *Aspergillus*, с пикантными и грибными летучими молекулами, уравновешивающими скромную фруктоность; **доубаньцзян, паста из ферментированных садовых бобов**, приготовленная из более крахмалистых, менее богатых белками бобов фава, не развивает так много похожей на какао нотки метилбутанала, а сицилийская версия, включающая перец чили, несет его характерную древесно-цветочную смесь терпеноидов. **Тяньмяньцзян, или ферментированная пшеничная паста**, не содержит бобов, готовится из обработанных на пару булочек из пшеничной муки, которым позволяют заплесневеть, затем высушивают, засаливают и ферментируют; у нее хлебная и грибная характеристики. Корейская приправа **кочхуджан, ферментированная паста чили**, стала более

Некоторые другие ферментированные семенные приправы

Приправа	Составляющие запахи	Молекулы
доучи (целые черные соевые бобы, приготовленные на пару и ферментированные)	какао, фруктовый, ореховый, грибной, цветочный, мед	метилбутаналь, этилметилбутират, метилбутилацетат, диметилпипразин, октенол, фенилэтанол, фенилэтилацетат, фенилацетальдегид
доубаньцзян (приготовленные на пару садовые бобы, размятые и ферментированные)	уксус, экстракт миндаля, мед, поджаренный, карамель, цветочный, картофель, какао	уксусная кислота, бензальдегид, фенилацетальдегид, диметилпипразин, фуранон соевого соуса, фенилэтилацетат, метиональ, бутаналь
тяньмяньцзян (приготовленный на пару пшеничный хлеб, заплесневелый и высушенный, засоленный и ферментированный)	солодовый, хлебный, поджаренный, грибной, кислый, мед, дым/гвоздика	метилбутаналь, фурфурол, ацетилфуран, октенол, пентановая кислота, фенилацетальдегид, этилгваякол
кочхуджан (порошок чили, мука, соль, ферментированные между)	красный стручковый перец, серный, картофель, яблоко, цветочный, масляный	гимахаален, ионон, этил- и винилгваяколы, изобутилметоксипипразин, метиональ, этанол, метилпропаналь, этилметилпропаноат, фенилэтанол, этиллактат

широко известна и доступна за последнее десятилетие; она готовится из смеси измельченных высушенных перцев чили и зерновой муки, рисовой или пшеничной, и имеет одновременно фруктовый и овощной запахи.

ФЕРМЕНТИРОВАННЫЕ РЫБА И МЯСО: РЫБНЫЕ СОУСЫ, КАЦУОБУСИ, СЮРСТРЕММИНГ, САЛЯМИ

Задолго до того, как появились ферментированные семенные соусы, существовали ферментированные рыбные соусы. Они, вероятно, были ранним открытием в Юго-Восточной Азии о том, что скоропортящихся маленьких рыб можно сохранить и наполнить ароматом, просто посолив или замочив их в соляном растворе и храня их в течение месяцев. Хотя по большей части забытые на Западе до недавних времен, подобные приправы были широко используемы среди древних греков (*гарон*) и римлян (*гарум* и *ликвамен*). Те, что готовились из внутренностей макрели, стали особенно ценными.

Возрождение западного **рыбного соуса** произошло, когда оценили тайскую и вьетнамскую кухни. Их **нам пла** и **нуок мам** готовятся смешиванием рыбок размером с анчоус с солью от трети до половины их веса, ферментацией в теплых условиях в течение месяцев, затем сливанием жидкости и последующим выдерживанием. Преобладающие микробы — молочнокислые бактерии, с мышечными и пищеварительными ферментами рыб, помогающими расщеплять белки и масла, и последующими химическими реакциями, вырабатывающими коричневые пигменты и ароматы. В результате получается соленая, кислая, пикантная жидкость с богатым мясным, сырным, серным ароматом, лишь слегка рыбным, поскольку триметиламин из морской рыбы (см. с. 310) не очень летучий в кислотной pH соуса.

Самая скрупулезно приготовляемая ферментированная рыба — это, без сомнения, японская **кацуобуси**, придающая свой пи-

кантный вкус и сложный аромат **даси**, основной японской похлебке и кулинарной жидкости. Кусочки филе полосатого тунца варятся на медленном огне, пока не затвердеют, затем кратковременно и повторно обрабатываются дымом в течение нескольких дней, затем получают инокуляцию плесневых грибов *Aspergillus*, *Penicillium* и *Eurotium* и ферментируются в деревянном ящике в течение нескольких недель, затем высушиваются солнцем, затем отскребаются начисто — и этот цикл ферментации и сушки повторяется несколько раз! Готовые кусочки филе такие твердые и плотные, что при ударе они издают металлический звенящий звук; у них характерная смесь дымных, жареных, рыбных и серных запахов, с грибной и сырной фоновыми нотками от плесневых грибов.

Есть относительно мало примеров ферментированной животной плоти, которую едят как таковую, не в качестве приправы, возможно, потому, что непросто есть большую порцию такого сильно ароматизированного вещества! Три исключения, подтверждающих правило, — аммиачные исландская акула и корейский скат, **хауккартль** и **хонгео-хо** (см. с. 312), и **сюрстремминг**, сельдь, серные, рыбные, фекальные пары которой якобы смертоносны для птиц. Сюрстремминг ферментируется как в бочке, так и во все более разбухающей консервной банке бактериями из морских осадков, а затем поедается кусками, но с пресным картофелем и крепким напитком, чтобы запить его.

Выдающийся пример любимого ферментированного мяса — это сыровяленая колбаса, типичным примером которой служит **салями**: нарезанное мясо, обычно свинина, засоленное и запиханное сырым в белковые оболочки, сделанные из животных внутренностей или их подобий, ферментированное в течение недель или месяцев — изнутри молочнокислыми бактериями, а снаружи — оболочкой плесневых грибов *Penicillium* и дрожжей *Debaromyces* (и других). Вместе с грибной оболочкой соли нитрата и нитрита ограничивают жировые окисление и про-

Некоторые ферментированные мясо и рыба

Приправа или продукт	Составляющие запахи	Молекулы
рыбные соусы (тайский нам пла, вьетнамский нуок мам)	серный, какао и пот, сырный, рыбный	метантиол, метилпропаналь и -бутаналь, диметилтрисульфид, метиональ, масляная и метилмасляная кислоты, триметиламин
рыбная паста (тайский патис, филиппинский багоонг)	какао и пот, экстракт миндаля, лист герани, металлический, грибной, серный, фруктовый	метилбутанали, бензальдегид, бутаналь, пентеналь, октадиенон, пентенол, диметил ди- и три-сульфиды, этилацетат и -бутират, бутилбутират
креветочная паста (тайский капи, филиппинский белачан)	ореховый, жареный, рыбный, сульфидный, какао, потный, сырный, масляный	диметил-, диметилэтил- и триметилэтилпиразины, триметиламин, диметил ди- и три-сульфиды, метилбутаналь и масляная кислота, диацетил
консервированные филе полосатого тунца (японская кацуобуси)	дымный, жареный, сульфидный, мясной, рыбный, огурец, металлический, грибной, сырный, потный	гваяколы, фенолы, крезолы, пиразины, фураны, диметилсульфид и -дисульфид, тиофураны, триметиламин, гептеналь, ноненаль, наонадиеналь, октенон, октадиенон, масляная и метилмасляная кислоты
сюрстрёмминг	рыбный, гнилой, фекальный, сырный, рвота, дезинфицирующее средство, фруктовый	триметиламин, ди- и три-сульфиды, масляная кислота, фенол, эфиры бутирата
салями	резкий, сырный, поджаренный, приготовленный картофель, грибной, фруктовый	уксусная. масляная, метилмасляная кислоты, метиональ, ацетилпирролин, октенон, октенон, этилбутират, этилметилпропионат

горклость и позволяют более мясным дериватам аминокислот и серы быть более ярко выраженными. Бактерии предоставляют кислые и сырные кислоты плюс нотки какао и картофеля; грибы — их фирменную прокислую грибность; бактерии и дрожжи — спирты, эфиры и их фруктовость.

ФЕРМЕНТИРОВАННОЕ МОЛОКО: ЙОГУРТ, СМЕТАНА, МАСЛО, СЫРЫ

Молоко, первая жидкая пища новорожденных млекопитающих, — многофункциональная чистая доска для ферментации. Когда

оно превращается в твердый концентрат под названием **сыр**, оно может поддерживать разношерстные сообщества бактерий, дрожжей и плесневых грибов и развиваться по аромату месяцами или годами. Производители молочных продуктов создали сотни разновидностей: благоприятная территория для исследователя запахов.

Молочные ферментации имеют несколько общих определяющих летучих молекул, и одна из них подчеркивает центральную роль ферментации в животном теле. Четыре десятилетия назад пищевые ученые сообщили о том, что зарисовали узнаваемую карикатуру сыра чеддер при помощи всего лишь трех мо-

лекул. Двумя из них были мягко серный метиональ и масляный диацетил. Третьей была масляная кислота, которую я часто описывал как «сырную» — не особо-то просвещающий термин, когда пробуешь сыры!

Масляная кислота — важная молекула в животной жизни. Бактерии вырабатывают эту четырехуглеродную цепочку из остаточных растительных материалов в животной пищеварительной системе, где она как подавляет вредоносных микробов, так и кормит клетки кишечной оболочки (см. с. 94). Млекопитающие поставляют эту полезную кислоту своим новорожденным, запаковывая ее в жирные молекулы своего молока, чтобы ее распаковали желудочные энзимы младенца. Микробные энзимы могут провернуть эту же самую распаковку. Отсюда и изменяющиеся характеристики масляной кислоты: она может напоминать сыр, но также отрыжку младенца, или испортившееся молоко, или подгузники, или навоз. Здесь лучше всего просто позволить ей обозначать саму себя: *масляно-кислотная* называет кислую, резкую грань, которая у многих сыров общая с другими менее приятными животными побочными продуктами.

Сперва несколько несырных молочных ферментаций. **Йогурт** окисляется и загущается добавлением в пастеризованное молоко культур молочнокислых бактерий. Его аромат как у приготовленного молока с резкой и свежей гранью, свежесть от ацетальдегида, напоминающая зеленое яблоко характеристика которого ярко выражена в водянистой молочной сыворотке, когда весь йогурт сцеживается. Допромышленные версии **крем-фреша** и **сметаны** получались в качестве ароматных результатов, когда свежесобранное сырое молоко оставляли на ночь, чтобы его жирные глобулы поднялись и образовали сливочный слой, а дикие кисломолочные бактерии спонтанно выросли и слегка окислили его.



Масло взбивалось из этих окисленных сливок и несло те же самые летучие молекулы, наиболее ярко выражена молекула **диацетила**, поэтому она стала зна-

ковой молочно-жирной летучей молекулой. Сегодня сметана готовится внесением в пастеризованные сливки культур молочнокислых бактерий; масло массового производства обычно ароматизируется экстрактом ферментированного молока или ароматическим концентратом. Менее знакомый **смен** — это североафриканское масло, которое засаливают и запечатывают в кувшины, чтобы оно созревало в течение месяцев или лет, в процессе теряя диацетил и приобретая похожую на сыр коллекцию кислот и альдегидов.

Теперь набор представителей **сыров**. Их ароматы обусловлены некоторой комбинацией следующих факторов: собственные летучие молекулы и энзимы самого молока плюс его собственные дикие микробы, если оно использовано сырым, а не пастеризованным; добавленный энзимный препарат, реннин (сычужный фермент), который сворачивает белки и образует твердые сырные зерна; добавленные заквасочные молочнокислые бактерии, которые стремительно окисляют молоко; добавленные вспомогательные культуры усиливающих аромат микробов; и, после того как сырные зерна формируются в сыр, другие микробы, рост которых стимулируют на его поверхности в течение периода созревания, или выдерживания.

Я рассортировал дюжину сырных сортов на несколько групп. Первая ароматизируется в основном молоком, реннином и заквасочными бактериями. Свежий **козий сыр** имеет откровенный козий элемент от характерных короткоцепочечных кислот животного (см. с. 86) вместе с кокосовыми и виноградными летучими молекулами. **Моцарелла** может быть приготовлена из коровьего молока или более богатого молока азиатских буйволиц, стандартного на ее итальянской родине и вырабатывающего более сильный и более животный аромат. Подлинная греческая **фета**, замоченная в соляном растворе или сильно засоленная, подчеркивает короткоцепочечные кислоты овечьего молока; она резкая, кислая, масляная, потная, со смягчающими фруктовыми эфирами.

Некоторые ферментированные молоко и сливки

Продукт	Составляющие запахи	Молекулы
йогурт	свежий, зеленый, масляный, кислый, океанический воздух	ацетальдегид, диацетил, уксусная и масляная кислоты, диметилсульфид
сметана, крем-фреш	масляный, кокос, картофель, мясной, океанический воздух, зеленое яблоко, уксус	диацетил, ацетонин, дельта-декалактон, метилфурантиол, метиональ, диметилсульфид, ацетальдегид, уксусная кислота
масло, ферментированное	масло, кокос, сырнй	диацетил, дельта-декалактон, масляная кислота
пахта (ферментированное снятое молоко)	кокос, сладкий, масляный, ваниль, металлический	гамма- и дельта-декалактоны и -окталактоны, диацетил, ванилин, эпокси-деценаль, уксусная кислота, ацетальдегид, диметилсульфид
смен (выдержанное масло)	масляно-кислотный, потный, фруктовый, зеленый	масляная, пентановая, гексановая кислоты, этилметилпропионат, гептеналь

Некоторые свежие и рассольные сыры

Сыр	Характерные запахи	Молекулы
козий, свежий	козиный, восковой, резкий, масляно-кислотный, потный, масляный, грибной, картофель, фекальный, кокос, виноград	гексановая, декановая, этил- и метил-октановая кислоты, диацетил, скатол, гамма-окталактон, дельта-додекалактон, аминоацетофенон
моцарелла: коровье молоко молоко азиатской буйволицы	фруктовый, винный, цветочный грибной, цветочный, нафталиновый/животный, свежий	этил- и метилбутираты, метилбутанол, фенилацетальдегид, нонаналь, октенон октенон, нонаналь, индол, гидроксипутанон, метилбутенон, октанон, гептеналь
фета, овечье молоко	потный, масляно-кислотный, фруктовый	гексановая, декановая, масляная кислоты и этилэферы, нонаналь, нонанон

Вторая группа важным образом ароматизирована микробами, процветающими только после того, как сыры сформировались. **Камамбер** и **бри** имеют «цветущие» корочки, их поверхности белые от матового покрытия плесневого грибка *Penicillium* и дрожжей *Geotrichum*, вносящих грибные цепочки, фруктовые эфиры, вонючие серные летучие молекулы и порой аммиак от экстремального расщепления белков, очевидного, когда сыр впервые разворачивается или если он перезрелый. **Голубые сыры** имеют цветные прожилки, где в сырной массе были проткнуты воздушные каналы, чтобы там мог расти другой плесневой грибок *Penicillium*; они готовятся из различных видов молока и плесневых штаммов, но все обязаны своим общим фруктовым и похожим на растворитель запахом кетонам, особенно гептанону. Печально известные вонючие имеющие липкую корочку **эпуас**, **мюнстер**, **лимбургер** и иже с ними регулярно обмазываются — отмываются — соляным раствором, чтобы стимулировать рост переносящих соль дрожжей и бактерий. Бактерии расщепляют поверхностные белки на смесь разветвленных кислот, сульфидов и тиолов, а также медицинского фенола. Запах может быстро заполнить помещение, но внутрен-

ний сыр, как и опыт поедания, мягче и более сбалансированный.

Третья группа включает более крупные сыры (до 60 килограммов или более), сырные зерна которых часто «варятся» до температуры примерно 60°C, чтобы удалить больше влаги, поэтому они оказываются более сухими, более твердыми и более долгохранящимися, чем сыры с цветущими и липкими корочками. Они ароматизируются в основном дикими, заквасочными и порой вспомогательными бактериями вместе с выжившими энзимами реннина и молока, а также этапом варки и медленными химическими реакциями, у которых уходит время на то, чтобы выработать еще один слой летучих молекул, включая карамельные сотолон и фуранеол. Голландская **гауда** примечательна своей сладкой, ореховой, мясной смесью эфиров, сотолона и ключевого альдегида говяжьего жира (см. с. 399). **Эменталь**, знакомый полный дырок швейцарский сыр, получает свой потно-сладкий запах от двух необычных бактерий: *Propionibacterium freudenreichii*, которая вырабатывает как пропионовую кислоту, так и газообразный оксид углерода (IV), образующий дырки, и *Lactobacillus helveticus*, высокая энзимная деятельность которой ведет к образованию избыточных фруктовых эфиров и

Некоторые ферментированные на поверхности и в прожилках сыры

Сыр	Характерные запахи	Молекулы
цветущая корочка: камамбер, бри	грибной, потный, масляный, серный	октенол, октенон, ундеканон, диацетил, фенилэтилацетат, дельта-декалактон, метантиол, диметилсульфид, масляная и метилмасляная кислоты
с голубыми прожилками: рокфор, горгонзола, стилтон	масляный, потный, фруктово-пряный, растворитель, зеленый, грибной, фруктовый	диацетил, метилмасляная кислота, гептанон и нонанон, октенол, этилгексаноат
отмытая корочка: эпуас, мюнстер, лимбургер	потный, серный, цветочный, химический, фруктовый	гексановая и метилмасляная кислоты, фенилэтанол, диметилдисульфид, фенол, индол, ацетофенон, этилацетат, метантиол, метилтиоацетат и -пропионат и -бутират

Некоторые полутвердые сыры, созревающие месяцами

Сыр	Характерные запахи	Молекулы
гауда	фруктовый, сладкий, потный/сырный, говяжий, карамельный	этилбутират и -гексаноат, гексановая кислоты, метилтридеканаль, гамма-додекалактон, сотолон
эмменталь	резкий, масляно-кислотный, потный, фруктовый, картофель, карамель	уксусная, пропионовая и метилмасляная кислоты, метилбутаналь, этилпропаноат, фуранеол
конте, грюйер, аппенцеллер	смачный, говяжий, жареный лук, потный, фруктовый, мед, цветочный, землистый	метантиол, диметилтрисульфид, метилбутаналь, ноненаль, фенилацетальдегид, метилмасляная и метилпентановая кислоты, этилдиметил- и диэтилметилпиразины
чеддер: фермерский	почва, зеленый стручковый перец, скотный двор, кокос, сырный, потный, роза, фруктовый, пажитник	изопропил- и изобутилметоксипиразины, метиональ, крезол, дельта-додекалактон, масляная и метилмасляная и уксусная кислоты, фенилэтанол, этилоктаноат, дамасценон, сотолон;
мягкий	масляный, жирный, приготовленный картофель, попкорн, сульфидный, грибной, карамель	диацетил, гептеналь, метиональ, ацетилпирролин, диметилтрисульфид, октенон, октадиенон, фуранеол

Некоторые твердые сыры, выдержанные от месяцев до лет

Сыр	Характерные запахи	Молекулы
пекорино романо (овечье молоко, ягнячий реннин)	кислый, масляно-кислотный, потный, фруктовый	масляная, гексановая, октановая, уксусная, пропионовая кислоты, этилбутират, гексилacetат, бутанон
пармезан	резкий, масляно-кислотный, фруктовый, мед, серный, ореховый	уксусная, масляная кислоты, этилбутират и -гексаноат, фенилацетальдегид, диацетил, диметилтрисульфид, диметилпиразины
корочки сыров мимолет, том-де-Савуа-сироне (сирон = клещ)	лимонный, мед, газолин, жирно-ореховый	нераль, дегидроцитраль, фенилацетальдегид, тридекан, акаридиаль

фуранеола. Корки сыров **конте** и **грюйер** из гор Юра отмываются соляным раствором во время первоначального периода созревания, и они развивают богатый аромат с мясным, луковым, жареным, землистым и сладким аспектами. Швейцарский **аппенцеллер** примечательно сильно пахнущий от похожих по

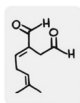
запаху на потные ноги разветвленных кислот.

Чеддер — самый имитируемый сыр в мире. Приготовленный традиционным способом из сырого молока на фермах в его домашнем регионе на западе Англии, он насыщенно ароматизированный, землистый, овощной и животный. Подобия, производимые на заводах

по всему миру для массового потребления, в основном масляные, слегка серные, грибные и карамельно-сладкие, в наши дни с помощью вспомогательной *Lactobacillus helveticus*. «Резкий» чеддер выдерживают достаточно долго, чтобы масляная и другие короткоцепочечные кислоты стали очевидными.

Четвертая группа — набор твердых, сухих сыров, которые могут развиваться в аромате в течение года или двух. **Пекорино романо** — сыр из овечьего молока, створоженный переваривающими белки и жиры энзимами в экстракте из ягнячьего желудка, поэтому он богат масляной и потными жирными кислотами. **Пармезан**, тоже итальянского происхождения, самый соленый и самый сухой из группы, лучше всего в форме подлинного пармеджано-реджано, выдержанного два года, он одновременно резко масляно-кислотный и медово-фруктовый, часто напоминающий ананас.

В заключение парочка сыров, интригующий след которых я научился брать на французских фермерских рынках. Сухим корочкам выдержанного **мимолета** позволяют развить колонии едва видимых клещей, оставляющих за собой обличительный порошок и характерный сильный запах нескольких сигнальных молекул.



Они включают лимонные и похожие на газолин цепочки и необычный **акаридиаль**, запах которого открывший его Уолтер Лил описал мне как «на удивление хороший» для феромона, родственника паука! Сырные клещи обычно считаются вредителями, но я и другие ценим их вклад в ощущения от **том-де-Савуа** и **мимолета**, а мягкий немецкий **мильбенкезе** назван в их честь и содержит их.

ПЛОДОВЫЕ СПИРТНЫЕ НАПИТКИ: ВИНА

В царстве пищи и питья **спиртные напитки** — опьяняющий и ароматный результат, когда дрожжи ферментируют сахар в сладких жидкостях в этиловый спирт. Люди произ-

водили алкогольные напитки в течение примерно семи тысяч лет из таких различных материалов, как спелые плоды, растительные и древесные соки, приготовленные зерна или овощи, а также остатки очистки сахара. В последующих разделах мы попробуем некоторые знакомые современные спиртные напитки и родственные продукты.

Вина — ферментированные дрожжами растительные соки, прежде всего виноградный сок. Они названы по виноградной лозе, и виноградные вина определенно самые изысканные и широко производимые. Судя по всему, они возникли на доисторическом Кавказе, затем перешли на древние Средний Восток и Средиземноморье, а оттуда — в Западную и Северную Европу, Америку, Австралию и почти каждый умеренный климат, пригодный для *Vitis vinifera* (виноград культурный) и его видов-собратьев. Бесчисленные молекулы ферментированного виноградного сока вырабатывают комбинированные ощущения запаха, вкуса и прикосновения, которые могут быть насыщенными, едва заметными, изменяющимися, мимолетными, длительными: вкусно всепоглощающими. Они приглашают неоднократно понюхать и пригубить их, поразмышлять, поделиться и сравнить ощущения с другими. Для гурманов, которые систематически дегустируют и развивают экспертный вкус, винные ароматы могут разоблачать сорта винограда, микробы и процессы, создавшие их.

Эти удивительно излишние удовольствия, а также спрос на вина, предоставляющие их, породили колоссальную совокупность знаний и преданий о винных ароматах. Следующие несколько страниц предназначены для того, чтобы указать исследователю запахов несколько ориентиров, которые можно обнюхать в самих винах, а также в продолжительной дискуссии на их тему.

Винные ароматы бесконечно разнообразны, но они имеют общий типичный винный букет, выработанный дрожжами *Saccharomyces*. Он включает два из пяти типичных микробных букетов, растворитель-

Некоторые составляющие общего винного букета

Пахучие характеристики	Молекулы
спирт, растворитель	этанол
растворитель, какао, виски, цветочный	другие спирты: метилбутанол, фенилэтанол
фруктовый, растворитель	эфиры: этил- и фенилэтилацетаты, этилбутират, этилметилбутират...
резкий, уксус, потный	кислоты: уксусная, масляная, гексановая, октановая
свежий, зеленое яблоко, едкий	альдегиды: ацетальдегид
печеное яблоко, фиалка	терпеноидные фрагменты: дамасценон, ионон

но-фруктовый и кислый. Основная летучая молекула — этиловый спирт, этанол, примерно 10% жидкости, компанию которому составляют следы других спиртов, нескольких кислот с короткой цепью и этанолаво-кислотных эфиров. Комбинация уксусной кислоты и этилацетата известна как «летучая кислотность», наиважнейший аспект винного характера, но признак ухудшения, когда она становится слишком ярко выраженной.

Сами винограды имеют типично фруктовое приданое от эфиров и терпеноидных фрагментов. Некоторые сорта винограда содержат другие молекулы, помогающие сделать их вина характерными. Странным образом, эти определяющие летучие молекулы и запахи часто едва заметны в сыром виноградном соке! Я испытал этот феномен не понаслышке во время сбора урожая 2007 года в виноградниках Фокс-Ран-Вайнъярдс в северной части штата Нью-Йорк, когда винодел Питер Белл пригласил меня попробовать сок только что раздавленных виноградов «рислинг». Он был обобщенно фруктовый, не более. Затем он угостил меня подвергающимся активной ферментации соком: сильно цитрусовый и цветочный. Как выразился первопроходец-эннолог Эмиль Пейно: «Вино сильнее пахнет фруктами, чем сам виноград».

Вероятно, что все сорта винограда запасают какие-то защитные химические вещества, привязанные к нелетучим молекулам, сахарам или аминокислотам, чтобы их высвободили энзимы плода, когда он получает повреждение. У

дрожжей похожие энзимы — возможно, чтобы суметь использовать нелетучие молекулы, возможно, чтобы привлечь насекомых-транспортеров, усиливая плодовые сигналы (см. с. 295). Поэтому ферментация значительно усиливает природные ароматы многих сортов. В то время как винограды «**гевюрцтрамнер**», «**мускат**» и «**рислинг**» высвобождают цитрусовые, цветочные и специфически розоподобные монотерпеноиды, «рислинг» также имеет похожую на нефть нафталиновую структуру TDN (см. с. 337);



красный виноград «**сира**» — черно-перечный сесквитерпен. Многие сорта винограда, но наиболее ярко выражено «**совиньон блан**», высвобождают ряд содержащих серу тиолов с запахами тропического фрукта и черной смородины или кошачьей мочи. «Совиньон блан» также может иметь овощную грань благодаря тем же самым метоксипиразинам, которые содержатся в свежих горохе и бобах; красные сорта «**бордо**» порой тоже ее имеют.

Главные вкладчики в винный аромат — основная дрожжевая ферментация и сами винограды. В игру могут вступить несколько других второстепенных вкладчиков, в зависимости от того, как обращаются с виноградами и вином. **Молочнокислые бактерии** порой вносят масляный диацетил. **Дрожжи Brettanomyces** метаболизируют защитные фенольные кольца в виноградных кожицах и вырабатывают спорно желательную кожу, «потное седло», скотную, гвоздичную и

Некоторые характерные винные ароматы, произошедшие от виноградов

Пахучие характеристики	Основные виноградные источники	Молекулы
цветочный, цитрус, роза, личи	«мускат», «гевюрцтраминер», «рислинг»	линалоол, гераниол, розовый оксид
керосин	«рислинг»	TDN (триметилдигидронафталин)
кокос, сладкий	«гевюрцтраминер»	винный лактон
черный перец	«сира»	ротундон
маракуйя, грейпфрут	«совиньон блан» и другие	меркаптогексилацетат, меркаптогексанол
самшит, черная смородина, кошацья моча	«совиньон блан» и другие	меркаптометилпентанол
овощной, зеленый	«каберне-совиньон» и «фран», «мерло», «совиньон блан»	метоксипиразины
«лисий»: сладкий, клубника	«конкорда», «мускадин», «скуппернонг»	аминоацетофенон

дымную нотки. Следы **серы** и **меди** от традиционных виноградниковых спреев и **оксид серы (IV)**, используемый для контроля ферментации, могут вступать в реакцию и образовывать летучие молекулы с серной, дымной, похожей на высекающий кремль и минеральными характеристиками (см. с. 298).

Важный фактор в аромате многих вин — временное хранение при контакте с **деревянными бочками, клепками** или **щепками**, поверхность которых часто «поджарена» газовым пламенем, чтобы подвергнуть пиролизу древесные компоненты и добавить сладкий, пряный, ореховый ароматы (см. с. 330). Хранение в бочках берет корни много веков назад, но умение разбираться в дубовых видах и степенях поджаренности — только несколько десятилетий. Фураны древесных и серных соединений от дрожжей порой могут вступать в реакцию и образовывать тиолы, пахнущие, как обжаренный кофе, жареное мясо и дымный высекающий кремль.

Кислород и течение времени ответственны за химические реакции среди многочисленных виноградных, микробных и бочковых молекул, совокупный эффект которых называ-

ется **выдерживанием**. Некоторые вина, как считается, изысканней всего после нескольких лет в бутылке. Первоначально резкие разветвленные спирты преобразуются в более мягкие альдегиды; в конце концов фруктовые и цветочные ароматы исчезают по мере того, как эфиры расщепляются обратно на кислоты и спирты, а спирты и тиолы (серные спирты) окисляются в альдегиды. Выдержанные ароматы напоминают мед, сушеные плоды и серность приготовленных и консервированных овощей; количество ореховых лактонов тоже часто увеличивается, и в конце концов вырабатывается карамельная нотка фуранона сотолона.

Сладко пахнущий сотолон — ключевая летучая молекула в нескольких необычных сортах вина. **Хересы** из южной Испании — белые вина, выдержанные в частично пустых бочках; окисление спиртов в альдегиды и химическая реакция ацетальдегида, вырабатывающая сотолон, создают большую часть характерного орехово-сладкого аромата. **Мадера** с португальского острова выдерживается в течение месяцев при температуре 45°C, чтобы создать подобие экстремальных условий корабельной перевозки вина в Америку

Некоторые винные ароматы, произошедшие от бочек, микробов и реакций

Пахучие характеристики	Основные источники	Молекулы
масляный	молочнокислые бактерии	диацетил
скотный двор, «потное седло», гвоздика, дымный	дрожжи <i>Brettanomyces</i>	этилфенол, гваякол, катехол; винилфенол, винилгваякол
серный, высекающий кремь, минеральный	дрожжевые серные молекулы, добавленный диоксид серы, растворенные медь и железо	сульфид водорода, метантиол и этантиол, сульфаны
древесный: дымный, гвоздика, ваниль, кокос, конюшни	поджаренный дуб: бочки, бочковые клепки, щепки	гваякол, эвгенол, ванилин, лактон дуба (виски), этил- и винилфенолы и -гваяколы
обжаренный кофе или мясо; высекающий кремь, дым	бочки + химические реакции	фурфуртиол, метилфурантиол; бензолметантиол
выдержанное: зеленое яблоко, мед, картофель	медленное окисление и другие химические реакции	ацетальдегид, фенилацетальдегид, метиональ
пажитник, карамель		сотолон
серный, овощной		DMS, метантиол
кокос		лактоны
сушеный плод		метилнонадиол

Некоторые винные ароматы, произошедшие от специального обращения: херес, мадера, благородная гниль

Вино и пахучие характеристики	Основные источники	Молекулы
херес: свежий зеленый, какао/пот, масляный, пажитник/карамель	дрожжевая пленка, окисление	диэтоксизтан, метилбутанали, ацетальдегид, метиональ, диацетил, сотолон
мадера: мед, печеное яблоко, хлебный, поджаренный, пажитник/карамель	процесс нагревания (115 °F/45°C в течение 3 месяцев), окисление	фенилацетальдегид, дамасценон, фурфуролы, гваякол, сотолон
сотерн*, токай-ассу, трокенбееренауслезе: мед, персик и абрикос, карамель, пажитник	плесневый грибок <i>Botrytis</i> , виноградные средства защиты, химические реакции	фенилацетальдегид, гамма-ноналактон и гамма-декалактон, фуранеол, фуранон соевого соуса, сотолон
* + грейпфрут, цитрус, лук		* + сульфанилгексанол и -пентанол и -гептанол, метилсульфанилбутаналь

Некоторые ароматические дефекты в винах

Дефект и запахи	Основные источники	Молекулы
пробковое загрязнение: прокислый	пробковое дезинфицирующее средство + грибок	трихлоранизол; геосмин, метилизоборнеол, метоксидиметилпирозин
дымовое загрязнение: пепельница, смолистый	пожары рядом с виноградником	гваякол, метил- и винилгваяколы, крезолы
загрязнение от божьих коровок: овощной	нашествие на виноградник	метоксипиразины
загрязнение от плодовых мушек: восковой, цветочный	самка плодовой мушки в винном бокале	ундеценаль

и Азию века назад. Результат — грани меда, печеного яблока и хлеба.

Самые примечательные из необычных вин с оттенком фуранона начинаются с того, что было названо грибным эквивалентом доктора Джекила и мистера Хайда, деструктивного плесневого грибка серой гнили *Botrytis cinerea*. Когда осенние виноградниковые условия как раз подходящие, он может стать более сдержанной «**благородной гнилью**», которая проникает через виноградные кожицы, стимулирует их химические защиты, оставляет свои собственные химические метки и приглашает необычные дрожжи присоединиться. Короче говоря, она ферментирует виноградины заживо, преобразуя их на лозе. Эти покрытые благородной гнилью виноградины затем ферментируются дрожжами, чтобы сделать венгерское вино **токай-ассу**, французское вино **сотерн** и немецкое/австрийское вино **трокенбееренауслезе**, все сладкие от сахаров и дополнительных медового и фруктового ароматов; виноград «совиньон блан» в сотерне придает серные грейпфрутовую, черносмородиновую и даже беконную нотки.

Вина могут приобрести нежелательные запахи, включающие избыток летучей кислотности в винном букете или летучие молекулы потного седла, вырабатываемые *Brettanomyces*. Прокислое, сырое **пробковое загрязнение** вызвано грибковым ростом на дезинфицированных хлором корковых пробках. При **дымовом загрязнении** виноград

подвергается воздействию дымного воздуха, нейтрализующего фенолы и гваяколы, привязывая их к нелетучим сахарам; позже виноградные и дрожжевые ферменты высвобождают их во время ферментации, как и ротовые микробные ферменты во время питья! **Загрязнение от божьих коровок** — запах зеленого перца и спаржи, возникающий в результате, когда слишком много этих услужливых насекомых оказываются раздавленными вместе с виноградом. Затем есть еще **загрязнение от плодовых мушек**, так что, если вы увидите мушку, которую сморил букет открытого бокала или графина, быстро выловите ее! Самки дрозифил несут восково-цветочный альдегид как феромон для привлечения самцов и могут оставить заметный побочный запах в бокале за несколько минут.

ЗЕРНОВЫЕ СПИРТНЫЕ НАПИТКИ: ПИВО

Как и вино, пиво — ферментированная дрожжами растительная материя, любимая с каменного века за влияющий на сознание спирт, поставляемый *Saccharomyces cerevisiae*. По факту, название этих дрожжей-рабочих лошадей означает «сахарный грибок пива», их так окрестили в девятнадцатом веке ученые из варящей пиво Северной Европы, а не с благоприятного для винограда юга. В отличие от сахарных винных виноградных, **ячмень** и другие сухие зерна, поддерживающие пив-

ные ферментации, включают свои сахара в плотно упакованные длинные цепочки, которые мы называем крахмалом. Так как же любящие спиртные напитки люди заставляют любящие сахар дрожжи ферментировать злаки? Путем варки зерен, чтобы распаковать их крахмальные цепочки, затем рекрутирования энзимов, чтобы расщепить их на свободные сахара, — и различными изобретательными способами. Они включают применение человеческой слюны, приготовление заплесневелых зерен в китайской закваске чу и, самый прямой из всех, простое увлажнение части сырых зерен, или их *соложение*, чтобы они начали прорасти и вырабатывать энзимы для превращения своего *собственного* крахмала в метаболизируемые сахара.

Только что подвергнутые соложению, пахнущие травой зерна прокаливаются или нагреваются, чтобы высушить их для дальнейшего использования и выработать аромат. Низкие температуры прокаливания сохраняют энзимную деятельность и вырабатывают мягкий аромат; высокие температуры жертвуют энзимами ради более темного цвета и более сильного жареного аромата. **Ячменный солод** и **солодовые экстракты** также используются как ингредиенты в конфетах и сладких напитках; у них характерный запах, в основном из-за метилбутаналей, которые по этой причине часто описываются как солодовые.

Чтобы сварить партию пива, некоторая комбинация измельченного солода и сырых зерен смешивается в воде при температуре примерно 65°C, достаточно горячей, чтобы распаковать зерновой крахмал и ускорить работу энзимов. Спустя некоторое время, обычно час или меньше, получившийся в результате сладкий зерновой сок, или *сусло*, сцеживается и кипятится в течение дополнительных нескольких часов с другим ингредиентом, **хмелем**, не очень-то цветочными на вид женскими цветками и гнездами семян вьющегося растения, близко родственного каннабису. Этот этап изгоняет многие летучие молекулы солода и приготовленного сусла с водяными парами, но извлекает новые измерения аромата из хмеля.

Хмель, судя по всему, был введен в пивоварение в средневековой Баварии, чтобы замедлить порчу готового пива. Он постепенно стал применяться везде, и сейчас он часто преобладает в пивном аромате. Как и почки каннабиса, он богато одарен терпеноидами и вдобавок несет защитные фенольные кольцевые молекулы, названные альфа- и бета-кислотами, которые подавляют бактерии порчи и вырабатывают приятно горькие молекулы во время варки сусла. Сегодня пивовары могут выбирать из многих различных разновидностей хмеля и использовать их свежими, сушеными или выдержанными; они часто добавляют часть попозже в процессе пивоварения,

Некоторые пивные ароматы, произошедшие от хмеля

Запахи, приданные готовому пиву хмелем	Молекулы
печеное яблоко, роза	дамасценон
цветочный, роза, фиалка	линалоол, гераниол, ионон
цитрусовый плод, яблоко, ананас	этилметилбутираты и -метилпропаноат и -пентаноат
зеленый, лиственный	гексаналь, гексеналь, гексенол, нонадиеналь
сульфидный	диметилтрисульфид
фруктовый, черная смородина, кошачий, грейпфрут	меркаптометилпентанон, меркаптопентанол, меркаптогексанол
потный	метилмасляная и гексановая кислоты
смолистый, пряный	мирцен, гумулен

чтобы сохранить летучие молекулы, которые изгоняет варка сусла. Летучие молекулы хмеля в пиве варьируются от цветочных и смолистых терпеноидов до фруктовых эфиров, цитрусовых и черносмородиновых кошачьих тиолов и лиственных, потных альдегидов и кислот.

После того как сусло и хмель сварят вместе, жидкость охлаждают и вводят в нее штаммы, и она ферментируется в течение нескольких недель. Дрожжи придают пиву базовый пивной букет, довольно-таки похожий на винный букет вин, но с другими пропорциями спиртов и эфиров, обычно низкой летучей кислотностью, зачастую с оттенком гвоздично-дымного винилгваякола от фенольных колец, которые зерна используют, чтобы укрепить свои клеточные стенки и семенные оболочки, и с одним или двумя сладкими, карамельными фуранонами. В **темном пиве**, сваренном с сильно прокаленным солодом, карамельные фураноны, и мальтол, и фенольные кольца, некоторые — дымные и смолистые от подвергнутых пиролизу зерен, особенно ярко выражены. Букет **выдохшегося пива**, знакомого по барам и давно забытым бутылкам, — это смесь картонных и похожих на растворитель альдегидов, которые присутствуют в свежем пиве, привязанные к другим молекулам, и медленно высвобождаются со временем. К ним порой присоединяется пахнущая, как сунс, серная молекула, которую воздействие света вырабатывает из хмельных тиолов.

Есть три традиционных метода ферментации зернового сока в пиво, и они вырабатывают три очень разных вида ароматов. Самый мягкий — это самый недавний и самый популярный во всем мире. Пивные сорта **лагер** были разработаны несколько веков назад в Германии, где пивовары, намеренные ферментировать и хранить пиво при прохладных подвальных температурах (*lagern* означает «храниться»), выделили необычные дрожжи, которые хорошо работали в этих условиях и удобным образом оседали на дне ферментационного резервуара. Эти дрожжи сейчас признаются как одомашненный гибрид стан-

дартных пивных дрожжей со своим собственным названием, *Saccharomyces pastorianus*, и они не встречаются нигде в мире природы, кроме как в качестве беглецов из пивоварни. Полученное методом низового брожения пиво лагер имеет приглушенную смесь фруктовых, цветочных, похожих на растворитель и серных ферментационных летучих молекул.

До развития лагериования пивное сусло ферментировалось при теплых комнатных температурах добавлением *Saccharomyces cerevisiae*, которые собирались на поверхности резервуара. Комбинация тепла и готового доступа к кислороду дает в результате более активный микробный метаболизм и более высокое качество и разнообразие летучих молекул в этом верхнебродильном пиве, часто называемом **элем**, которое характеризуется сильным фруктовым ароматом и незначительной или отсутствующей серно-стью. Характерная версия — баварское пиво **вайсбир** или **хефевайцен**, которое готовится из большой порции **пшеницы** и конкретных дрожжей, *Saccharomyces delbrueckii* и других, обильно вырабатывающих похожий на банан эфир. Они также метаболизируют фенольные кольца зерновых семенных оболочек и преобразуют их в гвоздичные/медицинские/скотные кольца — нежелательные нотки во многих других сортах пива, как и почти идентичный аромат бреттов во многих винах. Более одомашненные пивные дрожжи имеют нефункционирующие гены для выработки колец, но сейчас некоторые пивовары выискивают штаммы, все еще обозначенные как POF+, или фенольный побочный аромат положительный (*phenolic off-flavor positive*), специально для того, чтобы добыть эти необязательно побочные ароматы.

Третий традиционный пивной ферментационный метод — спонтанный, или «дикий», когда микробам позволяют попасть в сусло из окружающей среды. **Ламбик** из Бельгии готовится из смеси соложенных ячменя и пшеницы. Сваренное сусло охлаждается за ночь в больших открытых кастрюлях, затем медленно ферментируется в заполненных микробами

Некоторые виды солода и пива

Солод или пиво	Характерные запахи	Молекулы
солод	какао, потный, приготовленный картофель, жареный	метилбутанали, метиональ, декадиеналь
низового брожения		
лагер, светлый	фруктовый, солодовый, цветочный, океанический воздух, дымно-гвоздичный, карамель	дамасценон, этилбутират и -гексаноат, метилбутанол, фенилэтанол, диметилсульфид, винилгваякол, фуранеол
лагер, темный	карамель, сладкий, фруктовый, потный	как и для светлого лагера, за исключением: меньше эфиров, куда больше фуранеола, фенилэтанола, метилмасляной кислоты, мальтола
верхнего брожения		
пелл-эль	фруктовый, солодовый, цветочный, карамель	как и для светлого лагера, за исключением: от 2 до 20 раз больше эфиров; меньше диметилсульфида
стаут (темный солод)	сладкий, карамель, гвоздика, смолистый	мальтол, этилгваякол, крезолы
пшеничное	гвоздика, скотный двор, медицинский, потный, банан	винилгваякол и -фенол, метилмасляная кислота, метилбутил (изоамил) ацетат
ферментированный дикими дрожжами ламбик	пряный, гвоздика, медицинский, фруктовый, кислый, уксусный, океанический воздух, потный	этил- и винилгваяколы, этилфенол, метилциннамат, уксусная кислота, диметилсульфид, гексановая и метилмасляная кислоты
выдохшееся подвергнутое воздействию света, скунсовое	картон, сладкий, хлебный, растворитель; серный	ноненаль, гидроксиметилфурфурол, этоксиметилфуран; метилбутентиол

деревянных кадках, а затем — в бочках в течение года или дольше, за это время приходят и уходят более двух тысяч различных грибов и бактерий. Виды *Saccharomyces* постепенно замещаются теми же самыми дрожжами *Brettanomyces*, которые придают скотную и другие фенольные нотки винам. Молочно- и уксуснокислые бактерии также вносят летучую кислотность и похожий на вино аспект, который был бы признаком порчи в других сортах пива. Некоторые сорта ламбика делаются откровенно фруктовыми путем добавле-

ния плодов или плодовых сиропов, среди наиболее распространенных — вишня и малина. Сегодня похожие на ламбик кислые сорта пива готовятся различными методами.

ЗЕРНОВЫЕ СПИРТНЫЕ НАПИТКИ: КИТАЙСКИЕ РИСОВЫЕ ВИНА, ЯПОНСКОЕ САКЕ

Даже с доступностью включающих все необходимое наборов для пивоварения у исследо-

вателя запахов все равно уходит несколько недель на то, чтобы попробовать повседневную магию пресной зерности, преобразенной в душистый алкоголь. Но с азиатскими алкогольными напитками дело обстоит по-другому! Для самого простого требуется всего лишь несколько дней и произведенное домашнее питье китайской заквасочной культуры чу. Местные версии этих гениальных заквасок можно найти по всей Азии, и они содержат колоссальное разнообразие микробов. На Западе легче всего найти сухие имеющие размер шариков-марблов шанхайские или винные «дрожжевые шарики» (*цзючу* или *цзюяо*), которые вдобавок к дрожжам, содержат плесневые грибки, чтобы те переварили зерновой крахмал в сахара, и молочнокислые бактерии, отпугивающие микробов порчи и предоставляющие кислый вкус. Чтобы приготовить свежее рисовое вино, вы готовите и охлаждаете несколько чашек клейкого риса, подмешиваете измельченный дрожжевой шарик и оставляете смесь в воздухонепроницаемом контейнере в теплом месте. Через несколько дней рис выделяет прозрачную жидкость: **свежее рисовое вино**, известное как **лаозао** или **цзюньян** в Китае, **као мак** в Таиланде,

макколли в Корее... Оно нажимает на большинство кнопок удовольствия во рту, просто и вкусно: сладкое, кислое, острое, фруктовое и слегка алкогольное с типичным дрожжевым букетом пьянящих спиртов и эфиров.

Куда более крепкое рисовое вино, как по аромату, так и по содержанию спирта (8–18%), — китайское **желтое вино**, **хуанцзю**, приготовляемое, по сути, таким же способом, но в течение куда более долгого периода времени. Закваска чу для рисовых вин обычно готовится из пшеницы, ферментированной при температурах выше температуры тела, 50°C и выше, и в ней обычно преобладают плесневые грибки *Aspergillus* и *Rhizopus* в компании с несколькими дрожжами и дюжиной или больше бактерий. Большая пропорция чу добавляется к приготовленному на пару рису и предоставляет характерное качество чу, описываемое как дрожжевое и хлебное, готовому вину. Эта вторичная ферментация традиционно длится несколько месяцев при температуре примерно 25°C в открытых глиняных сосудах, за этим следуют несколько лет выдерживания, а затем — мягкая варка для пастеризации. Результат уравнивает фруктовые эфиры гвоздичными, картофель-

Некоторые азиатские рисовые вина

Спиртной напиток	Составляющие запахи	Молекулы
лаозао: китайское свежее рисовое вино	растворитель, цветочный, фруктовый, уксус, масляно-кислотный	метилбутанол, фенилэтанол, фенилэтилацетат, этилацетат и -бутират, уксусная и пропионовая и масляная кислоты
хуанцзю: китайское желтое рисовое вино	гвоздика, приготовленный картофель, гриб, сульфидный, фруктовый, цветочный, ваниль, какао, карамель, потный, экстракт миндаля	винилгваякол, метиональ, октенон, диметилтрисульфид, этилбутират и -гексаноат, фенилэтанола, ванилин, метилбутаналь, сотолон, масляная и метилмасляная кислоты, бензальдегид
саке: японское рисовое вино выдержанное	спирт, фруктовый, ананас, яблоко, банан, травяной, потный пажитник, какао	метилбутанол, этилгексаноат и -октаноат, метилбутилацетат, гексановая и октановая кислоты; сотолон, метилбутаналь

ными, грибными и цветочными летучими молекулами (регламенты уточняют минимальные уровни розового фенилэтанола), в то время как выдерживание привносит сладкий ванилин и похожую на соевый соус смесь метилбутанала и сотолона. Современные модернизированные производственные методы не склонны вырабатывать сильные соусную и ванильную нотки.

Самое изысканное из всех зерновых вин — это **нихонсю**, или **саке**, японский отпрыск китайского рисового вина, ставший особенно усовершенствованным в храмах и святилищах начиная с двенадцатого века, затем как модернизированным, так и еще более усовершенствованным в двадцатом. Вместо сложной дикой закваски саке готовится с чистой и отборной культурой плесневого грибка *Aspergillus oryzae*, кодзи, и специфическими штаммами дрожжей, избранных за их варочные характеристики. Основная ферментация происходит в рисовых зернах, «отполированных», чтобы удалить не только семенные оболочки и зародыши, но также наружные слои, богатые маслами и минералами, как минимум треть и порой больше половины массы первоначального зерна. Таким образом, рис для саке состоит в основном из крахмала, по большей части чистый летучий холст, на фоне которого можно оценить творческую деятельность дрожжей.

Начиная с девятнадцатого века ферментационные температуры саке поддерживались низкими, между 8°C и 18°C, первоначально за счет варения только зимой: условия, благоприятные для выработки фруктовых эфиров. Есть много различных вариаций условий производства, степеней полировки риса, окисления при помощи спонтанных или чистых культур молочнокислых бактерий или простого добавления молочной кислоты, дрожжевых штаммов, а также добавлений концентрированного спирта, сахаров или других ингредиентов. Из множества видов саке те, которые называются **дзюммай**, готовятся только из кодзи, риса и воды, в то время как сорта саке **хондзедзо** включают некоторое

количество добавленного спирта. «Специальные» и «особо специальные» категории, **гиндзе** и **дайгиндзе**, определяются использованием рисовых зерен, измельченных до меньше половины их первоначального веса, ферментацией при самых низких температурах в течение четырех или пяти недель и характерным фруктово-цветочным ароматом, **гиндзе-ка**. Обычные саке **дзюммай** и **хондзедзо** ферментируются при более теплых температурах в течение трех недель, и больше вероятность того, что у них будут зерновая, похожая на какао и порой грибная или потная нотки. Большинство сортов саке выдерживается всего лишь шесть месяцев и потребляется где-то в течение следующего года. Относительно редкое **выдержанное саке**, созревавшее как минимум три года, развивает **дзюкусей-ка**, «зрелый запах», накапливая сотолон и метилбутаналь вместе с серными летучими молекулами, придающие ему нотки, похожие на херес, мадеру и более пикантный соевый соус — аспекты, общие у него с китайскими желтыми винами.

УКСУСЫ И КОМБУЧА

Если вы оставите недопитую бутылку вина, пива или саке в теплом месте на несколько дней, напиток станет кислым. Создайте такие же условия на несколько недель или дольше, и вы преобразите испорченный напиток в насыщенно ароматизированную, многофункциональную жидкость под названием уксус. Название *vinegar* происходит через французский от латинских слов *vinum* (вино) и *acer* («резкий» или кислый). Оба наши слова — *acid* (кислый) и *acetic* (уксуснокислый) — происходят от этого второго корня, а уксусная кислота — это молекула, которая определяет уксус, составляя примерно 5% жидкости. Есть много различных кислот в наших пище и питье, все из них кислые на вкус, но не все летучие. Уксусная кислота летучая, и ее запах кислый и едкий, а также специфически уксусный. Уксусам находится много применений на кухне, особенно в соу-

сах и приправах, и ими также наслаждаются в напитках, просто разбавленных водой, или в качестве компонента фруктово-сиропных коктейлей под названием шрабы (фруктовый сок с алкоголем).

Уксусы — продукт ферментации уксуснокислыми бактериями, которые добавляют кислород к дрожжевому защитному двухуглеродному этиловому спирту, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, превращая его в свое собственное двухуглеродное оружие, уксусную кислоту, CH_3COOH . Их можно приготовить из широкого ряда стартовых материалов, от плодов и зерен до сладких соков пальмовых деревьев и сахарного тростника, молодого кокосового сока, даже пищевых отходов. Доступ к кислороду в воздухе критически важен для ферментации, которая занимает месяцы, когда спиртной напиток просто оставляется в частично наполненной бочке, всего лишь день или два, если его постоянно проветривать. Медленные ферментации имеют тенденцию вырабатывать больше спиртово-кислотных эфиров, помогающих наполнить уксусный аромат.

Перегнанный или спиртовой уксус — простейший и дешевейший, потому что он производится в промышленном масштабе из почти что чистого дистиллированного спирта, разбавленного и подкрепленного минимальными питательными веществами для уксуснокислых бактерий. Обычный **винный уксус** может иметь цветочную, масляную, даже сырную грани, в то время как истинный **хересный уксус** из Хереса, выдержанный и порой также ферментированный в системе солеры — частично заполненных деревянных бочек, имеет более широкий спектр фруктовых эфиров, с похожей на пажитник и карамель ноткой от сотолона, который развивается в течение месяцев или лет (для уксусов *рисерва*) выдержки. Яблочное происхождение **яблочного уксуса** проявляется в паре характерных эфиров, в то время как **солодовый уксус**, фаворит в любящей пиво Англии, отличается летучими молекулами с разветвленной цепью, похожими на какао, потными и фруктовыми.

Бальзамические уксусы сладкие и мягче, чем обычные уксусы, они производились в северной Италии в течение долгого времени и известны с восемнадцатого века под названием, указывающим на успокаивающий бальзам, а не резкий акцент. До промышленные бальзамические уксусы готовились сперва варкой на медленном огне свежего виноградного сока в течение нескольких дней, чтобы низвести его до коричневого сиропа, сладкого и кислого от концентрированных сахаров и кислот, затем спонтанным алкогольной и уксусной ферментациям позволялось одновременно бороться в деревянных бочках в течение лет. В результате получался густой, насыщенно ароматизированный, но лишь мягко уксусный сироп, почти что черный от экстенсивной сахарной карамелизации и реакций между сахарами и аминокислотами (см. с. 387), с карамельным и древесным ароматами.

Когда этот местный продукт Модены и Реджо-Эмилии стал популярен в двадцатом веке, метод, традиционный в этих городах, был модернизирован при помощи культурных дрожжей и уксуснокислых бактерий. Но *aceto balsamico di Modena tradizionale* (традиционный бальзамический уксус Модены) все еще должен быть ферментирован и выдержан как минимум двенадцать лет в последовательности бочек, сделанных из разных пород древесины. Это дорогая приправа, используемая по капле. Несколько официально одобренных подобию моденского *balsamico* — смеси приготовленного виноградного сиропа с обычным винным уксусом и карамельным красителем, выдержанные несколько месяцев в деревянных бочках. У них примерно такой же набор летучих молекул, но более сильный уксусный запах, и они более свободно используются в заправках и соусах.

Китайские уксусы дополняют уксусную кислоту характерными наборами летучих компаньонов. Выработка начинается с обычной заквашенной на чу алкогольной ферментации приготовленных зерен, обычно сорго или риса. Чтобы стимулировать рост нуждающихся в кислороде уксуснокислых бактерий,

Некоторые уксусы и комбуча

Уксус	Составляющие запахи: уксусный +	Молекулы: уксусная кислота +
спиртовой, перегнанный	растворитель, фруктовый, свежий, какао и пот	этилацетат, этанол, ацетальдегид, ацетон, метилпропаналь и -бутаналь
красный винный уксус	уксус, сырный, цветочный, фруктовый, масляный, карамель	этилацетат, этанол, метилмасляная кислота, фенилэтанол, диацетил, масляная кислота
хересный	фруктовый, потный, гвоздика, пажитник, растворитель	метилбутилацетат, этилметилбутират и -метилпропионат, метилмасляная кислота, этилгваякол, сотолон, этилацетат
яблочный уксус	печеное яблоко, растворитель, цветочный, фруктовый	диэтилсукцинат, этилацетат, фенилэтанол, бутанол, бутилацетат, этилпропионат
солодовый уксус	сырный, масляный, растворитель, какао, фруктовый, банан	метилпропионовая кислота, ацетоин, ацетальдегид, метилбутанол, метилбутилацетат
бальзамический уксус: <i>tradizionale di Modena</i> , 12 лет, около 2% уксусной кислоты	масляный, сладкий, карамельный, сырный, цветочный, мед	диацетил, фурфурол, ацетилфуран, мальтол, циклотен, ванилин, масляная и метилмасляная кислоты, фенилэтанол и фенилэтилацетат
обычный. около 6% уксусной кислоты	более уксусный и кислый, менее сладкий и карамельный	больше кислот и спиртов, меньше фуранов
китайские уксусы: Чжэньцзян (рис)	растворитель, хлебный, цветочный, сырный, какао и пот, экстракт миндаля, ореховый	этанол, этилацетат, фурфурол, фенилэтанол, фенилацетальдегид, метилмасляная кислота, метилбутаналь, бензальдегид, тетраметилпипразин
Шаньси, выдержанный (сорго или пшено, гречиха, пшеница)	вареный картофель, ваниль, масляный, ореховый, сырный, кокос, дымный, серный, мед	метиональ, ванилин, диацетил, пипразины, метилмасляная кислота, гамма-ноналоктон, гваякол, диметилтрисульфид, фенилацетальдегид
комбуча	растворитель, свежий, зеленое яблоко	этанол, ацетальдегид

ферментационные контейнеры оставляют открытыми воздуху, или же каша регулярно смешивается с зерновой шелухой, которая заключает пузырьки на поверхности. Соль порой добавляется, чтобы остановить ферментацию, и последний этап нагревания пастеризует жидкость и стимулирует еще более углубляющие аромат химические реакции.

Два контрастных примера китайских укусов: **уксус чжэнцзян**, или **цзиньцзян**, родом с юга и готовится из клейкого риса, как желтое вино, и у него винный аромат, богатый эфирами и спиртами, вместе с поджаренными фуруролом и пиразинами. **Уксус шаньси**, с севера, основан на сорго. После более чем месяца ферментации жидкость нагревается до 85°C в течение нескольких дней, затем оставляется выдерживаться и концентрироваться на улице на год в больших открытых керамических кувшинах, испаря больше воды летом, чем уксусной кислоты, и замораживая воду для легкого удаления холодной зимой. В результате получается вязкий, почти что черный уксус, ореховый, древесный и серный.

Также, судя по всему, появился в Китае укусный напиток, известный как **чайный гриб (комбуча)**. Основная версия — черный или зеленый чай, подслащенный на 5–10% столовым сахаром и ферментированный смешанной микробной закваской, включающей разнообразие дрожжей, молочно- и уксуснокислых бактерий. Эта полутвердая плавающая SCOBY, или симбиотическая культура бактерий и дрожжей (symbiotic culture of bacteria and yeasts), вырабатывает смесь уксусной и нескольких нелетучих кислот, вместе со спиртом, ацетальдегидом и газообразным оксидом углерода (IV), придающим жидкости свежую, щекочущую характеристику.

ДИСТИЛЛИРОВАННЫЕ СПИРТНЫЕ НАПИТКИ: БРЕНДИ, ВИСКИ, БАЙЦЗЮ, ТЕКИЛА, РОМ

Чтобы завершить эту главу, впечатляющее сотрудничество между мастерами Земли по био- и пироалхимии: ферментированные

дрожжами жидкости, сконцентрированные в их крайне опьяняющие и ароматные эссенции дистилляцией, контролируемые испарением и конденсацией спирта и его соединений летучих молекул (см. с. 361). Есть свидетельство того, что спирт был впервые дистиллирован из ферментированного винограда и сахарного тростника в Древней Индии, за много веков до spiritus vini, активного похожего на дыхание спирта вина, на средневековом Западе. (Центральноазиатские народы, возможно, первыми сконцентрировали спирты, просто оставив их на улице, чтобы часть воды замерзла, и отцедив обогащенный спиртом остаток.) С тех пор культуры по всей планете приложили значительные усилия не только для того, чтобы приготовить алкогольные спиртные напитки из любого поддающегося сбраживанию материала, но также для того, чтобы завернуть сильную, похожую на растворитель едкость спирта в другие летучие молекулы, делающие его более приятным для питья.

Есть много разновидностей спиртного опыта, которые исследователь запахов может разыскать и смаковать. Чтобы оценить их ароматы — практика, порой называемая обнюхиванием, — гурманы часто разбавляют спиртные напитки равным объемом воды. Поскольку они содержат так много двухуглеродных спиртных молекул, летучие молекулы углеродных цепочек имеют тенденцию гнездиться между ними и прятаться в жидкости. Добавление молекул воды, противостоящих углероду и неблагоприятных для летучих молекул, нарушает это гнездование и выдворяет больше углеродных цепочек в воздух, где мы можем их учуять.

В зависимости от того, какой из многих способов перегонки применяют дистилляторы, они обладают варьирующимися степенями контроля над тем, насколько сильно нагревается ферментационный материал и какие из летучих молекул, сопровождающих спирт в парах, окажутся пойманы и включены в продукт перегонки. Некоторые летучие молекулы берутся от первоначального рас-

Некоторые типичные компоненты спиртного букета

Пахучие характеристики	Молекулы
спирт, растворитель	этанол
растворитель, какао, цветочный	другие спирты: метилбутанолы, фенилэтанол
фруктовый, растворитель	эфирь: этилацетат, этилбутират, этилметилбутират...
цветочный, печеное яблоко	терпеноидный фрагмент: дамасценон
древесина, подгоревшая/обуглившаяся: ваниль, кокос, дымный, пряный, гвоздика	ванилин, лактон виски (дуба), гваякол и этилгваякол, эвгенол

Некоторые относительно простые дистиллированные спиртные напитки

Спиртной напиток	Характерные запахи	Летучие молекулы
водка (не ароматизированная)	спирт, растворитель	метилбутанолы, этилдеканат, метилбутилоктанат, лимонен, геранилацетон, стирол, толуол
джин (нейтральные спирты, можжевельник и другие ароматические вещества)	сосна, смолистый, цитрус, древесный	пинен, мирцен, лимонен, терпинен, терпинеол, геранилацетат, линалоол, кадинен, карифиллен, гумулен

тительного материала, большинство — от ферментационных дрожжей, а некоторые — от «готовки» в процессе дистилляции. Различные спирты и эфиры образуют базовый спиртной букет вместе со сладкими и дымными ароматическими молекулами, если спиртные напитки хранятся в бочках. С содержанием спирта от 20% до 40% или выше у многих продуктов перегонки иммунитет к микробной порче, поэтому их легко хранить десятилетиями, во время которых их странные комплекты химических веществ могут вступать в реакцию друг с другом, и их ароматы развиваются.

Парочка спиртных напитков появились как анонимные продукты перегонки, более 90% спирта и намеренно нейтральные по аромату. **Водка** (в переводе с русского «маленькая вода»*) готовится разбавлением нейтральных спиртов до раствора, в котором примерно 40% спирта и 60% воды, всего лишь со следами других летучих молекул, если только она не ароматизирована. **Джин** (от голландского

«можжевельник»*) — нейтральные спирты, заново дистиллированные или иным образом ароматизированные ягодами можжевельника и некой комбинацией семени кориандра, цитрусовых корок и других ароматических семян и корней.

Бренди (от немецкого «пережженное вино») обозначает спиртные напитки, дистиллированные из ферментированных плодов, наиболее распространено из винограда. Самые известные сорта бренди — это **коньяк** и **арманьяк** из Южной Франции, приготовленные из непримечательных сортов винограда и выдержанные в бочках, богато одаренные фруктовыми, цветочными дрожжевыми летучими молекулами и древесной сладостью. Коньяки, выдержанные десятилетиями, смягчаются по вкусу и текстуре и развивают ценную ароматическую характеристику, малообещающе известную как **рансьо**, с расщепленными эфирами, а также кислотами, окисленными до цветочно-сырных, грибных, жирных кетонов. Некоторые характер-

* Такое значение слова водка встречается в польском, но не русском языке.

Некоторые спиртные напитки, дистиллированные из плодов

Спиртной напиток	Характерные запахи	Молекулы
бренди виноградное: коньяк	сильно фруктовый, цветочный, какао, древесный	дамасценон, метилпропаналь, многие этиловые эфиры, диацетил, ванилин, винил- и этилгваякол;
выдержанный характер рансьо	грибной, голубой сыр, кремовый, восковой, кокос	гептанон, нонанон, ундеканон, пропилоктаноат
бренди виноградное: писко ароматико (итальянский виноград, мускат, торронтес...)	цветочный, парфюмерный, свежий, мед, карамель	линалоол, гексанол, фенилацетальдегид, фуранеол
бренди яблочное	печеное яблоко, потный, древесный	дамасценон, много -бутират- и бутил- и метилбутил-эфиров, метилмасляная кислота, этилфенол и -гваякол
бренди грушевое	груша, потный, жирный	этилдекадиеноаты, метилмасляная кислота, ноненаль

Некоторые спиртные напитки, дистиллированные из зерен

Спиртной напиток	Характерные запахи	Молекулы
виски солодовый (соложенный ячмень, другие зерна) прокаленный торфом солод	какао, потный, фруктовый, масляной +дымный, гвоздика, кожаный, смолистый, конские конюшни, прибрежно-медицинский	метилбутанали, метилбутанола, гексанол, бутанола, этиллаурат + гваякол, метил- и этилгваяколы, этилфенол, крезолы, бромфенолы
виски кукурузный или ржаной	печеное яблоко, ваниль, кокос, персик, гвоздика, дымный	дамасценон, ванилин, гамма-ноналактон, дубовый лактон, гамма-декалактон, эвгенол, гваякол, этилгваякол
авамори (рис)	грибной, серный	октенон, метилтиоацетат, диметилтрисульфид
сётю гречишный	сладкий, смолистый, восковой, лук, потный	метилацетиллактон, этилоктаноат, метионин, метилмасляная кислота

ные виды перуанского **писко** производятся с использованием цветочных виноградных разновидностей, терпеноиды которых сохраняются в дистиллированном бренди. Сходным образом **яблочное** и **грушевое бренди** сохраняют эфиры, характеризующие первоначальные плоды и их сидры и перри (грушевые

сидры), с добавочной поддержкой пахнущего печеным яблоком дамасценон, образующегося в процессе дистилляции.

Зерновые сорта пива и рисовые вина не такие эфирные, как фруктовые вина, и то же самое верно касательно продуктов их перегонки. **Виски**, от галльских слов для aqua vitae

(вода жизни), — это шотландская транскрипция для обозначения продукта перегонки ферментированных солода и ячменя, который концентрирует похожие на какао и пот разветленно-цепочечные спирты и альдегиды солода. Когда сложенные ячменные зерна высушиваются жаром работающих на торфе калильных печей, продукт перегонки сохраняет следы дымных, порой водорослевых пиролитических летучих молекул (см. с. 308, 323). Хотя большинство шотландских виски выдерживаются в использованных бочках, **американские виски**, приготовленные из кукурузы, ржи или их смеси, обычно выдерживаются в только что обожженных дубовых бочках, вносящих большую часть их сладких, ванильных и кокосовых ароматов.

Неоспоримо отличается от большинства других зерновых спиртных напитков парочка версий японского **сетю**, которыми наслаждаются без долгого выдерживания. Предшественником сетю был, судя по всему, **авамори**, изготавливаемый на острове Окинава с использованием длиннозерного риса, горшков для дистилляции, которые пришли посредством торговли с Таиландом, и необычного черного штамма коды *Aspergillus*, который вносит грибной и серный оттенки. Сваренные из риса сетю содержат обычный спиртной букет, но **гречишный сетю** выделяется смолисто-фруктовым бензеноидным эфиром.

Материковые азиатские зерновые спиртные напитки охватывают более широкий ряд ароматов, чем виски. Китайский **байцзю** — «чистый» или «белый» алкогольный напиток, обычно изготавливаемый из сорго, — действует сложные, порой рекурсивные производственные методы. Они включают обработку «в твердом состоянии», при которой приготовленные зерна смешиваются с порошком чу без погружения и разбавления их водой, затем накрываются и ферментируются в течение недель мокрой кучкой и, наконец, сгребаются в корзину и подвешиваются над парящей жидкостью, пар которой проникает сквозь массу и вытаскивает с собой пойманные спирт и другие летучие молекулы.

Из где-то десятка сортов байцзю вот образчики трех. Сорт с **соусным ароматом** (например, мутай или маотай, самый широкодоступный бренд байцзю) действует нагретую культуру чу (65°C) и трижды повторяющийся цикл горячей ферментации (50°C) и паровой перегонки. Конечный результат: летучие молекулы, типичные для поджаренных и жареных продуктов, с совокупным ароматом, напоминающим соевый соус. Сорт с **сильным ароматом** определяется высокими уровнями фруктового эфира этилгексаноата. Его основная ферментация происходит в подвальных камерах, застланных «ямочной грязью», смесью мокрой почвы и ферментационных остатков, кишащих бактериями, являющимися источником изобилующих гексановой и других кислот стартового набора, образующих фруктовые эфиры, но также сохраняющихся в качестве потных ноток. Основанный на рисе байцзю **чи сян** (аромат чи) или **жи сян** (жирный аромат) имеет жирную характеристику от альдегидов, развивающихся, когда спиртной напиток выдерживается в течение трех недель при контакте с большим куском приготовленной свинины!

Байцзю традиционно выдерживаются в глиняных кувшинах, не деревянных, порой только краткосрочно, и они огненные. Когда я чуть не задохнулся от своего первого глотка, шеф-повар из Чэнду Ю Бо объяснил, что многие жители Запада называют резкость китайского трофея «возбуждающей». С тех пор я сделал много глотков и тоже нахожу изобретательность процесса и разнообразие ароматов довольно-таки возбуждающими.

Последняя партия спиртных напитков: дистиллированные из других материалов, помимо плодов и зерен. Мексиканские **текила** и **мескаль** начинаются с массивных богатых фруктозой стеблей растений агавы, приготовленных на пару в течение многих часов для текилы, запеченных в работающих на древесине печах для мескаля. Они имеют общий смолистый терпинеол, и мескаль добавляет поджаренную и дымную нотки от печи.

Некоторые китайские спиртные напитки, дистиллированные из сорго и других зерен

Сорт байдзю	Характерные запахи	Молекулы
соусный аромат	жареный, какао, мясной, серный	пиразины, метилбутаналь, фурфурилтиол, метантиол, диметилтрисульфид
сильный аромат	фруктовый, потный, скотный двор	этилгексаноат и изобулирующие эфиры, гексановая кислота, крезол, скатол
жирный аромат (чи сян, также известный как жи сян)	фруктовый, жирный, цветочный, кокос, потный	этиловые эфиры, октеналь, ноненаль, фенилэтанола, гамма-ноналактон, масляная и гексановая кислоты

Некоторые спиртные напитки, дистиллированные из растительных корней и стеблей

Спиртной напиток	Характерные запахи	Молекулы
текила (приготовленная на пару <i>Agave tequilana</i>);	цветочный, смолистый, восковой, масляный, серный	дамасценон, линалоол, терпинеол, этилдеканат, диацетил, диметилдисульфид
мескаль (запеченная <i>A. angustifolia</i> и другие)	+ хлебный, карамель, горелый, медицинский, дымный, смолистый	+ метилфурфурол, фуранметанол, фенол, гваякол, крезолы
сельскохозяйственный ром, кашаса (сырой сок сахарного тростника, <i>Saccharum officinarum</i>)	фруктовый, печеное яблоко, цветочный, жирный, океанический воздух, овощной	этилметилбутират, дамасценон, фенилэтанола, наонадиеналь, диметилсульфид
ром (патока, вареный сок сахарного тростника)	ваниль, сладкий, фруктовый, какао, масляный, кокос, гвоздика, корица	ванилин, этилбутират и метилбутират, дамасценон, метилбутаналь, диацетил, дубовый лактон, аллилгваякол

Богатый сахарозой растительный сок сахарного тростника, в стародавние времена ферментированный и дистиллированный в Индии, сегодня дает нам основные коммерческие спиртные напитки Центральной и Южной Америки. **Сельскохозяйственные ромы** с французских Карибских островов и бразильские **кашасы** готовятся ферментацией сырого сока сахарного тростника, и у них общие жирный и овощной/океанический аспекты первоначального сока. Более типичные **ромы**, разработанные на ранних британских плантациях, готовятся из побочных продуктов очистки сахара, в основном пато-

ки (см. с. 415), которая придает часть своего собственного насыщенного аромата продукту перегонки. Ромы семнадцатого века были печально известны резкими из-за «хого», от французского выражения *haut goût* (сильный аромат); недавно термин был переопределен как сильный фруктовый аромат, достигаемый частично стимулированием протухло пахнущих бактериальных ферментаций в отходах очистки. Когда они дистиллируются вместе с ферментированной патокой, их неприятные короткоцепочечные кислоты соединяются со спиртом и образуют приятные эфиры: современная карибская версия китайской алхимии

ямочной грязи, придающей байдзю сильный аромат!

ПЬЯНЯЩАЯ СНОСКА К ФЕРМЕНТАЦИЯМ, ЦВЕТАМ И ПЛОДАМ

Многие ферментированные продукты, от вина до сыра, до соевого соуса и ромов хого, обязаны частью своей вкусноты эфирам, летучим молекулам, которые в основном определяют обобщенную характеристику плодовости. Следы кислотных и спиртовых ингредиентов, создающих эфиры, вырабатываются большинством живых организмов в ходе их базового метаболизма, но избыточное производство спиртов и эфиров — специализация дрожжей. В то время как спирты — эффективное оружие против микробного соперничества, биологическая функция эфиров остается загадкой. Они могут быть побочным продуктом метаболизма, или способом сделать как кислоты, так и спирты менее токсичными для клеток, вырабатывающих их, или запрограммированными сигналами для привлечения подвижных насекомых — любым или всем из вышеперечисленного.

В главе 14 я упомянул продемонстрированную роль дрожжевых спиртов и эфиров в привлечении плодовых мушек к спелым плодам, с ее подразумеванием, что насекомые частично ответственны за приятным образом усиленные фруктово-цветочные запахи вина и пива (см. с. 295). Сейчас есть свидетельство того, что дрожжи и их насекомые-переносчики, возможно, помогли создать прецедент для запахов, которые развили сами цветы и плоды.

В исследовании 2018 года шведский биолог Пол Бехер и его коллеги отметили, что одноклеточный дрожжевой клан отделился от образующего нити остатка Царства Грибов примерно 300 миллионов лет назад. Это было после того, как на Земле появились насекомые, но задолго до появления цветущих растений. Группа Бехера изучила летучие выбросы девяти крайне различных дрожжевых видов, некоторые из них — причина челове-

ческих грибковых инфекций, некоторые из них — с родословной, прослеженной до 150 миллионов лет назад. Все из них вырабатывали два спирта, цветочный фенилэтанол и похожий на какао метилбутанол, и большинство из них также вырабатывали этиловый спирт и растворительно-фруктовый эфир этилацетат. Более того, в лабораторных тестах все виды, даже человеческие болезнетворные дрожжи, привлекали плодовых мушек. Тот факт, что эти черты летучей выработки такие широко распространенные, предполагает, что они древние, уходящие корнями к общим предкам в начале возникновения дрожжевого клана — и задолго предшествовавшие эволюции цветов и плодов. Поэтому, заключают Бехер с соавторами, «сообщение между дрожжами и насекомыми, возможно, внесло вклад в эволюцию опыления посредством насекомых у растений». То есть цветы, возможно, испускают привлекающие насекомых спирты и эфиры, отчасти потому что дрожжи сделали так первыми.

Может, и так, но растения почти наверняка нацеливали летучие молекулы на насекомых задолго до того, как это сделали дрожжи, в основном, чтобы отпугнуть и запутать их, порой чтобы привлечь их для разнесения спор. В главе 7 я отметил открытие Флориана Шистля, что растения, вполне возможно, повлияли на поведение насекомых, кооптировав их химический язык, который достаточно разнообразен, чтобы успеть выработать лимонных муравьев, цветочных бабочек и тропическо-фруктовых клопов-белостом. Бензоильные кольца также важны в цветочных запахах, и насекомые, судя по всему, производили их до того, как это сделали цветущие растения. Возможно, привлечение насекомых дрожжами действительно подсказало растениям добавить спирты и эфиры в свой цветочный вокабуляр или придать им больше выраженности. Возможно, этот эфирный посыл каким-то образом перешел к плодам, развивающимся из цветочных тканей. И возможно, другие микробы приняли участие в этих развитах. Молочнокислые бактерии аромати-

зируют наши овощные и молочные ферментации спиртами и эфирами, и они — даже более древняя династия, чем царство грибов, некоторые из них тоже обитатели растительности, как дрожжи, и зависят от животных, чтобы те разносили их (см. с. 433).

Все еще есть множество интригующих вопросов для раздумий в эволюции дрожжевых, цветочных и плодовых запахов. То, что сегодня кажется наверняка точным, — это то,

что некоторые из величайших наслаждений осмокосма, нектары и амброзии Земли, — совместная стряпня микробов, насекомых, растений и наших братьев-млекопитающих. Ферментированные продукты и напитки — вклад человечества в эту древнюю и затейливую сеть — неосязаемый, неслышимый, в основном невидимый набор взаимоотношений, который мы способны ощутить и смаковать посредством нашего чутья на самую суть.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ: МОЯ ВТОРАЯ КУРОПАТКА

В 2006 году, спустя год после ошеломительного ланча, который я описал в прологе, я вернулся в Испанию и Англию, чтобы навести справки о гастрономическом авангарде. Снова я оказался в Лондоне во время куропаткового сезона, поэтому, разумеется, я вернулся в «Сент-Джон» ради еще одного ошеломления! На этот раз я обедал с подругой, японским нейроученым. Юки не изучает восприятие, но она знает и любит еду. Мы сделали заказ и поели с аппетитом, начав с костей, содержащих костный мозг, и ягнчьего языка. Вино было землистым кагором, предварительные блюда — лакомыми, а куропатка... мощной. Снова вкус был насыщенно мясным, почти что чересчур. Но в этот раз (к счастью!) я не лишился дара речи. Наша беседа была сумбурной и безостановочной.

Друг шеф-повар как-то указал мне касательно авангардных новшеств на то, что новое блюдо является новым лишь однажды. То же самое касается классического блюда, попробованного в новинку.

Сюрпризы привлекают наше внимание. Нейробиологи обнаружили, что мозг выполняет большую часть своей работы без нашего осознанного восприятия, используя прошлый опыт, чтобы предугадать, какие ощущения и восприятия принесет следующий момент. Когда какой-то аспект настоящего момента совпадает с предсказанием, мозг эффективно осведомлен о том, что происходит, и не заморачивается с тем, чтобы обращать на это особое внимание. Но, если реальность внезапно не соответствует предсказанию — когда есть что-то новое или неожиданное, — мозг фокусирует осознанное внимание на этом различии, чтобы оценить его и действовать соответственно.

Я полагаю, что, когда я попробовал первый кусок куропатки, мой мозг предсказал знакомый вкус домашней утки или молодого откормленного голубя. Но дикая птица была такой иной и такой сильной, что сюрприз на мгновение угнал мой разум прочь от беседы и всего остального. Стой! Не глотай! Ты уверен, что это не вредно? Затем, год спустя, первая куропатка была в моей экспериментальной базе данных, и мой мозг предвидел насыщенную вонь. Ожидание удовлетворено, разум не пострадал, беседа не прервалась.

Именно шок от моей первой куропатки и побудил меня посетить ее родину, изучить их жизнь и жизнь после смерти и в конце концов предпринять это исследование более обширного осмокосма. По ходу дела ничто больше не лишало меня языка, но годы умышленного внимания к запахам принесли более маленькие сюрпризы в изобилии, а вместе с ними почти каждый день какую-нибудь смесь свежего опыта, понимания и изумления. Опыты: сами многочисленные запахи, их нюансы и интригующие отголоски. Понимание: предыстории, тайные жизни, которые Пруст и Сартр интуитивно почувствовали в запахах, иным образом, невидимые взаимодействия и взаимоотношения между вещами. Изумление: плотной сетью взаимозависимостей, сплетенной принимающим различные образы Героем-Углеродом между его нуждающимися, но продуктивными аватарами, мгновение за мгновением, эпоха за эпохой — и тем фактом, что мы можем близко ощутить ее следы, всего лишь за мгновенную понюшку! А также изумление достижением человеческого разума в выяснении всех этих знаний и постоянном открытии новых.

Некоторые ингредиенты в ароматах колы и карри

Аромат	Составляющие пряности
кола	ваниль, цитрусовая цедра, корица, кориандр, мускатный орех, цветок апельсинового дерева
карри	кумин, кориандр, пажитник, корица, гвоздика, фенхель, кардамон, имбирь, черный перец, куркума

Я надеюсь, что эта коллекция описаний и историй побудит вас вынюхать действительные летучие молекулы в вашей собственной жизни и отважиться зайти за пределы знакомых удовольствий к запахам, которые обычно заставляют нас задержать дыхание. Многие из них оказываются признаками живых организмов, упорно старающихся остаться в живых, и они могут быть больше, чем просто отталкивающими. Когда кулинарный обозреватель и эксперт по Китаю Фуксия Данлоп попробовала болотные ферментированные специальные блюда Шаосина к юго-западу от Шанхая, она нашла стебли гнилого амаранта «одновременно гнилостными и дико возбуждающими». Годы назад я лицеизреел заботой молодого пасхального козлика, и я все еще ярко помню его внутренние органы, заполненные его последним травяным обедом и горячие и вонючие от жизни, вытщенные парящими на зимний воздух. Остолбнение от куропатковой воню, дикое возбуждение от гнилостности, наиважнейшая животность, незабываемым образом обнаженная: среди всех регулируемых запахов современного мира порой больше всего производит впечатление запахов реальностей жизни и смерти.

Какое же значение может быть в этих регулируемых и произведенных запахах? Верно то, что технология и коммерция дезодорировали большую часть современной жизни и заново ароматизировали ее синтетическими пахучими клише — цитрус для «свежести», сосна для «чистоты». Также верно то, что продукты в супермаркетах — это зачастую оборванные промышленные имитации оригинальных продуктов, когда-то приготовляемых из полчища других живых организмов.

Вместо того чтобы иметь вкус мира, создавшего и поддерживающего нас, многие произведенные продукты питания имеют вкус только того, что, как считают их создатели, они могут нам продать.

Все это верно, но есть другая грань, которую исследователь запахов может найти в коммодифицированных рядах осмоскома. У растений ушли эпохи заключения сделок с животными и микробами на то, чтобы придумать наши любимые летучие молекулы. Синтетические ароматы и душистые вещества появились, когда органические химики обнаружили, что они могли создать те же самые молекулы из сосновой коры и нефти за несколько часов. Это само по себе удивительно! Поэтому да, давайте попробуем природные ароматические вещества ради характеристик, первоначально вдохновивших имитацию, и ради их ролей в жизни растений. Но также оценим синтетические вещества за то, что они сделали редкие и дорогие ароматы куда более широкодоступными — и как впечатляющее совместное достижение Героя-Углерода и человеческих химиков, партнеров в опробовании возможностей материи.

В заключение несколько последних слов о вынюхивании по всему миру в этой книге и вне ее.

Таблицы в главах выше перечисляют составляющие запахи, которые надо «слушать», когда обнюхиваешь предметы активно, внимательно и выпытывающе. В отличие от вкусовых ноток вина, кофе и им подобных, которые предлагают субъективные восприятия индивидуальных людей, проводящих дегустацию, эти составляющие запахи — ощу-

щения, вызываемые молекулами, объективно присутствующими в заданном предмете, в соответствии с как минимум одним опубликованным химическим анализом и обычно несколькими.

Пусть даже и так, таблицы только указывают нотки, которые вы можете ощутить в совокупных запахах предметов. Это не предписания того, что вам следует ощутить. Ощущение запахов просто неощутимо по причинам, которые заполнили бы еще одну книгу. Вот кратко три: у нас у всех разные носы, мозги и экспериментальные базы данных; даже тренированным профессионалам сложно опознать летучие нотки в смесях; и порой летучие смеси вырабатывают новую характеристику, не являющуюся простой суммой их компонентов. Чтобы опробовать эти сложности из первоисточника, сядьте с друзьями, распейте бутылку колы и посмотрите, кто сможет различить ее поддюжины определяющих пряных экстрактов. Непросто! Пряные смеси для карри еще более напрягающие.

Поэтому порой мы улавливаем узнаваемый запахок летучих молекул, которые объективно присутствуют в предметах, а порой нет. Но настоящая награда активного обнюхивания — это не моментальное удовлетворение от опознавания ноток. Прежде всего есть само ощущение запахов! Наши чувства существуют для того, чтобы их стимулировали, наши способности восприятия — чтобы их тренировали, и это возбуждающее, даже приносящее глубокое удовлетворение занятие — взаимодействовать с ними и ощущать их осознанно. Когда мы сунем нос в интригующий цветок, или тычем пальцем лист, или де-

лаем глоточек колы и при этом тратим время на то, чтобы повторно обнюхать и выискивать составляющие запахи, мы ощущаем их характеристики более полно, чем когда мы нюхаем с мозгом на автопилоте. Даже если мы не находим эти запахи, мы замечаем, что мы действительно-таки нюхаем. Мы можем заметить, как запах изменяется от понюшки к понюшке, когда наш предвосхищающий мозг реагирует на его стойкость. Мы можем спросить себя, о чем напоминает нам запах, почему он нас интригует, вызывает ли он воспоминание или эмоцию. И спустя долгое время после того, как наши обонятельные рецепторы высвободили летучие молекулы, которые на мгновение были нашей физической частью, клубок ощущения, мысли и чувства остается частью диковинной внутренней сети, которая поможет оформить наши будущие столкновения.

У парфюмеров есть замечательный термин (французский, разумеется!) для запаха парфюма, когда он сохраняется в воздухе после того, как мимо пройдет набрызганный им человек: *sillage*, шлейф, след, оставленный движущимся телом. Он также используется для обозначения животных следов, следа на поверхности воды от лодки, инверсионного следа реактивного самолета. Движение относительно, поэтому вообразите летучие следы, крутящиеся вокруг нас, когда наши тела проходят через мир, где почти все высвобождает свои собственные молекулы. Когда мы заведем привычку прислушиваться к запахам, мы лучше замечаем эти невидимые эфемерные следы и то, к чему они могут привести, многочисленные летучие молекулы — данности и дары, наполняющие нашу жизнь.

БЛАГОДАРНОСТИ

На создание этой книги ушло более десятилетия, и приятно вспомнить и перечислить многих людей, которые помогли мне в процессе.

Для начала мои благодарности Фергусу Хендерсону и Тревору Гулливеру за тот изменивший мою жизнь ланч в 2005 году, и Бену Уэзероллу и его семье за ставшую откровением пару уик-эндов в стране куропаток, включая лондонских шеф-поваров не при исполнении служебных обязанностей, традиционные обеды и фейерверки на заднем дворе! Я также благодарен Хестону Блюменталю за организацию тура, который впервые привел меня в «Сент-Джон», и за наши многие другие разведывательные экспедиции и беседы о внутреннем ощущении от еды.

Нет лучше способа исследовать осмокосм, чем проделать кое-какое действительное обнюхивание с другими многомудрыми нюхачами, но это не всегда просто. За шанс узнать из первоисточника как скуку, так и панику газовой хроматографии-ольфактометрии я обязан Ариэлю Джонсону, а также Пэт Браун и Селесте Хольц-Шитингер. За опыт с почти что свежими клопами-белостомами я благодарю Пим Течауанвивит; с ароматическими тайскими свечами — Лилу Пуньяратабанду. За пошаговую оценку редких ароматических веществ и классических парфюмов моя благодарность Мэнди Афтель и Виктории Фроловой; оливковых масел — Дарреллу Корти, Александре Деваренн, Полу Воссену и Пабло Войцуку; виноградов и вин — Питеру Беллу и Эми Альберт; спиртных напитков — Одри Сондерс и Тони Конильяро.

За приглашение откопать свежие трюфели в Орегоне я благодарю Чарльза Лефевра и Лесли Скотт; погрузиться в продукты и благовоения Японии — Кумико Ниномию и Мио Куриваки; вкусить «вонючие» овощные фер-

ментации в Китае — Фуксию Данлоп; хотеть до обморока ветчины в Испании — Хорхе Руиса и Карлоса Тристанчо; отследить сырные ароматы в Англии — Рэндольфа Ходжсона, Джейми Монтгомери, Джо Шнайдера и Бронвен Персиваль, а в Конте — Жана-Луи Карбонье; проследить за приготовлением байцзю от ямочной грязи до чашки в Китае — Дерека Сэндхауса, Билла Ислера и Дона Ли.

Я также благодарен многим экспертам в обонятельных вопросах за то, что поделились своими знанием и догадками, от всеобъемлющих до очень конкретных. Было привилегией присоединиться к разговорам о пищевых запахах и человеческой эволюции с Ричардом Рэнгемом и Рейчел Кармоди и об ароматической химии и восприятии с Терри Экри, Гэри Бошаном, Надей Беренштейн, Полом Бреслином, Джаннин Делвич, Сьюзан Эбелер, Стюартом Файерштейном, Жаном-Ксавье Гинаром, Ариэль Джонсон, Марсией Пелчат, Гордоном Шепердом, Даной Смолл и Эндрю Тейлором. За ответы на мои вопросы о бобровых секретах мои благодарности Дитланду Мюллер-Шварце; о кориандре — Киту Кэдуолладеру; об оregonских трюфелях и китайских алкогольных напитках — Майклу Цянь; о китайских вонючих овощах — Лу-пингу Лю; о сырных клещах — Майклу Хитхоффу и Уолтеру Лилу; о винах — Дженсин Робинсон, Эндрю Уотерхаусу и Хильдегарде Хейманн; о sake — Изуми Мотаи и Крису Пирсу; а о древних авторах и этимологиях — Ричарду Томасу.

Я не могу переоценить важность для этого проекта моей принадлежности к членам Калифорнийского университета, в городе Дейвис, и доступа, который она мне дала к научным ресурсам, которые, иным образом, недоступны для большинства людей, включая налогоплательщиков, помогающих их субси-

дировать. Я обязан этим даром сменявшим друг друга деканам факультета Теоретических Основ и Технологий Пищевых Продуктов, Джеймсу Сейберу, Майклу Маккарти и Линде Гаррис. Ли Меддин помогла мне ориентироваться в дейвиской системе, а Клэр Хаслер-Льюис еще на ранней стадии сделала меня регулярным членом университета, задействовав мое сотрудничество с Институтом Роберта Мондави. Мои благодарности всем.

Еще один человек в Дейвисе, которому я особенно благодарен, — это Элис Фанг, химик и создательница молекул этой книги, быстро реагирующая и невозмутимая, неважно, сколько небольших изменений и вариаций я просил.

Я очень обязан многим людям, которые прочли и прокомментировали черновые версии этой книги. На первоначальных стадиях Ребекка Сейлтан помогла мне сориентироваться в открытом космосе. Виктория Фролова сделала важные предложения для главы о душистых веществах. Гэри Бошан, Шэрон Лонг и Люберт Страйер прочли несколько глав, а Джон Макги разметил многие. Ариэль Джонсон окинула своим острым взглядом ароматического химика почти что всю рукопись; она и Том Полд коллективно обсудили заголовки вместе со мной, и Том обучил меня книгоиздательской логистике. Мэнди Афтель и Фостер Карри прочитывали от начала до конца каждую главу, когда я заканчивал ее, и проводили часы вместе со мной, обсуждая дотошные аннотации Фостера.

Мэнди, мои благодарности тебе за годы нашей дружбы и писательскую взаимопомощь, за то, что ты поделилась со мной своей потрясающей коллекцией ароматических веществ, книг и артефактов, а также за наши совместные часы обнюхивания и обсуждения, обнюхивания и обсуждения.

Из сотрудников издательства Penguin Press я глубоко благодарен Энн Годофф за ее терпение с рукописью, одновременно сильно просроченной и отклоненной от того, что я изначально предложил, а также за крайне детальное планирование того, как сделать ее гораздо лучше. Мои благодарности также Аманде Дьюи за ее искусное слияние текста и рисунков, а также Кейзи Денису, Гэри Стаймингу и их коллегам за дотошное литературное редактирование и основное производство в сложных обстоятельствах.

Из сотрудников литературного агентства The Wylie Agency я благодарю Эндрю Уайли за его воодушевляющую поддержку и бесценные советы в течение прошедших лет, а также Трейси Бохан за то, что нашла хорошие издательства за рубежом.

За их интерес, поддержку и различные совместные обонятельные приключения благодарности моей сестре Джоан и брату Майклу, а также друзьям Дэйву Арнольду, Настасье Лопес, Деваки Бхайе и Артуру Гроссману, Бронвен и Фрэнсису Персивалю, Ширли Корригер, Юки Годе, Дэниэлу Паттерсону, Марку Альфенито и Саре Уолли. Вдобавок к тому, что они мирились с бесконечной болтовней о запахах, когда приходили в гости, я благодарен своему сыну Джону за то, что он помог мне нюхнуть несколько лабораторных реагентов, и моей дочери Флоренс за то, что принесла черные грецкие орехи и действительно пахнущие лошадьми конские каштаны с ее пребывания на ранчо по уик-эндам.

Наконец, за то, что организовала для меня возможность заварить чай в Удзи и узнать о дрожжах для sake и сортах говядины вагю в Сан-Франциско, за проявленные ей, как товарищем по перу, понимание и терпение касательно того, что я застрял за письменным столом, за ее жизнерадостный дух и за ее любовь, я благодарю свою партнершу Элли Сэкинэ. А за Элли, семью и друзей я благодарю свои счастливые звезды.

ИЗБРАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

Я подсел на исследование и писательство, будучи студентом в 1970-х годах, когда я пытался понять, как Джон Китс сумел стать великим поэтом до того, как он достиг моего возраста. Он умер от туберкулеза в возрасте двадцати пяти лет, в 1821 году. Я провел месяцы среди стеллажей главной библиотеки моего университета, знакомясь с ныне безвестными книгами, которые читал Китс, делая заметки ручкой на бумаге. Пожелтевшие страницы и хрупкие переплеты ароматизировали мой путь назад к способам видеть мир восемнадцатого века. Их запахи порой напоминали мне мои детские визиты в дряхлый особняк, в котором находилась наша городская библиотека, комнаты и коридоры, забитые книгами и тревожащими видениями людей, мест и времен, до которых мне было никак не добраться. Старые библиотеки и книги до сих пор напоминают мне о прошлом, но сейчас они также притягивают меня, чтобы вспомнить, как изготовители бумаги, издатели книг, воздух и время стряпают эту резкую, дымную сладость из остатков растений и деревьев.

Я больше не провожу много времени в библиотеках. Я проделал большую часть ра-

боты для этой книги дома, читая и печатая виртуальные страницы на мониторах и клавиатурах и лишь изредка замечая их летучее присутствие, едва уловимые запахи теплых смол печатных плат. Такой обыкновенный аккомпанемент к необычайному доступу, который эти электрические схемы открыли к размаху человеческой жизни и знания! В течение десяти лет погружения в осмокосм они принесли мне несколько тысяч научных отчетов и десятки книг, работу поколений исследователей во многих разных областях. Последующие страницы отдают должное лишь их малой доле, перевешивающей к недавним публикациям, предоставляющим обратные ссылки к их предшественникам. Я надеюсь, вы по крайней мере пробежитесь по ним глазами, просто чтобы осознать ширину и глубину знания, которое наш клан собрал о жизни в мире летающих молекул. Естественные истории древних, современные космохимия, геохимия, атмосферная химия, морская химия, телесная химия, пищевая и ароматическая химия, промышленная и профессионально ориентированная химия — дальше и дальше. Потрясающе!

Некоторые запахи старых книг

Составляющие запахи	Источники	Молекулы
уксус, резкий	целлюлоза (бумажное волокно)	уксусная, пропионовая, масляная кислоты
хлебный, сладкий	целлюлоза (бумажное волокно)	фурфурол
зеленый, жирный, прогорклый, восковой, цитрусовая цедра	липиды (бумажное волокно, переплеты, масла с пальцев)	гексаналь, гептаналь, октаналь, нонаналь, деканаль
экстракт миндаля	лигнин (древесная масса)	бензальдегид
ваниль	лигнин (древесная масса)	ванилин
дымный	лигнин (древесная масса)	гваякол

Для своих цитат из неанглоязычных текстов я перечислил доступные английские издания; переводы с французского и латыни — мои собственные. Чтобы процитировать как можно больше источников, я свободно сократил их. Полные названия журналов будет несложно расшифровать, например, «Ж. С/х Пищ. Хим.» — сокращенно от «Журнал Сельскохозяйственной и Пищевой Химии». Если вам будет интересно поближе взглянуть на конкретное исследование, все, что вам

нужно будет сделать, — это ввести пару фамилий авторов и слов заголовка в поисковик типа Google Scholar, и нужная ссылка должна выскочить на первой странице результатов. Полные тексты могут быть только по платной подписке, но краткие содержания почти всегда доступны, и они обычно включают ключевые результаты. Не позволяйте незнакомому жаргону вставать на пути у вашего любопытства: просто пролистайте, пока вы не найдете то, что вы ищете. Следуйте за своим носом.

SOME GENERAL BOOKS ABOUT SMELLS

- Classen, C., D. Howes, et al. (1994). *Aroma: The Cultural History of Smell*. Routledge.
- Drobnick, J., ed. (2006). *The Smell Culture Reader*. Berg.
- Gilbert, A. N. (2008). *What the Nose Knows: The Science of Scent in Everyday Life*. Crown.
- Kaiser, R. (2006). *Meaningful Scents around the World: Olfactory, Chemical, Biological, and Cultural Considerations*. Wiley.
- Büttner, A., ed. (2017). *Springer Handbook of Odor*. Springer.

PREFACE: MY FIRST GROUSE

- Proust, M. (1921–22). *Sodome et Gomorrhe*. In *À la recherche du temps perdu* (1954), vol. 2, 738. Gallimard. Trans. C. K. S. Moncrieff and T. Kilmartin (1981), *Remembrance of Things Past*, vol. 2, *Cities of the Plain*, 764. Random House.
- Dobson, A., and P. Hudson (1995). The interaction between the parasites and predators of red grouse *Lagopus lagopus scoticus*. *Ibis* 137:S87–S96.
- Högestedt, G. (2014). Prolonged aerial chase of willow grouse *Lagopus lagopus* by common raven *Corvus corax*. *Ornis Nor* 37:15.
- Martínez-Padilla, J., S. M. Redpath, et al. (2014). Insights into population ecology from long-term studies of red grouse... *J Anim Ecol* 83:85–98.
- Hudson, P. J., A. P. Dobson, et al. (2002). Parasitic worms and population cycles of red grouse. In *Population Cycles: The Case for Trophic Interactions*, ed.
- A. Berryman, 109–30. Oxford Univ. Press.
- MacDiarmid, H. (1948). “My heart always goes back to the North.” *Poetry* 72(4):175–79.

INTRODUCTION: A SENSE FOR THE ESSENTIAL

- Sartre, J.-P. (1947). *Baudelaire*. Trans. M. Turnell (1950), 174. *New Directions*.
- Atala, A. (2013). *D.O.M.: Rediscovering Brazilian Ingredients*. Phaidon.
- Shepherd, G. M. (2004). The human sense of

smell: Are we better than we think? *PLoS Biol* 2(5):e146.

- Shepherd, G. M. (2013). *Neurogastronomy*. Columbia Univ. Press.
- Gibson, J. J., and L. Carmichael (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Houghton Mifflin.
- Latour, B. (2004). How to talk about the body? The normative dimension of science studies. *Body & Soc* 10(2–3):205–29.
- Delon-Martin, C., J. Plailly, et al. (2013). Perfumers’ expertise induces structural reorganization in olfactory brain regions. *NeuroImage* 68:55–62.
- Gilbert, A. N. (2008). *What the Nose Knows: The Science of Scent in Everyday Life*. Crown.

CHAPTER 1. AMONG THE STARS

- Serres, M. (1985). *Les Cinq Sens*. Trans. M. Sankey and P. Cowley (2008), *The Five Senses*, 163. Continuum.
- Reeves, H. (1981). *Patience dans l’Azur*. Trans. R. A. Lewis and J. S. Lewis (1984), *Atoms of Silence*. MIT Press.
- McGuire, B. A. (2018). 2018 Census of interstellar, circumstellar, extragalactic, protoplanetary disk, and exoplanetary molecules. *Astrophys J Suppl Ser* 239:17.
- Ehrenfreund, P., and J. Cami (2010). Cosmic carbon chemistry: From the interstellar medium to the early earth. *Cold Spring Harbor Perspect Biol* 2:a002097.
- Aponte, J. C., J. P. Dworkin, et al. (2014). Assessing the origins of aliphatic amines in the Murchison meteorite... *Geochim Cosmochim Acta* 141: 331–45.
- Jenniskens, P., M. D. Fries, Q.-Z. Yin, and Sutter’s Mill Meteorite Consortium (2012). Radar-enabled recovery of the Sutter’s mill meteorite... *Science* 338:1583–87.
- Sandford, S. A., J. Alon, et al. (2006). Organics captured from comet 81P/Wild 2 by the Stardust spacecraft. *Science* 314(5806):1720–24.
- Pizzarello, S., and E. Shock (2010). The organic composition of carbonaceous meteorites... *Cold Spring Harbor Perspect Biol* 2:a002105.

CHAPTER 2. PLANET EARTH, EARLY LIFE, STINKING SULFU

- Lucretius (~50 BCE). *De Rerum Natura*. Trans. A. Esolen (1995), *On the Nature of Things*, book 6, lines 739– 49, 807– 12, 817– 18. Johns Hopkins Univ. Press.
- Serres, M. (1985). *Les Cinq Sens*. Trans. M. Sankey and P. Cowley (2008), *The Five Senses*, 164. Continuum.
- Arndt, N. T., and E. G. Nisbet (2012). Processes on the young earth and the habitats of early life. *Ann Rev Earth Planet Sci* 40:521– 49.
- Chirouze, F., G. Dupont- Nivet, et al. (2012). Magnetostratigraphy of the neogene Siwalik group in the far eastern Himalaya. . . *J Asian Earth Sci* 44:117– 35 [black salt].
- Dodd, M. S., D. Papineau, et al. (2017). Evidence for early life in Earth's oldest hydrothermal vent precipitates. *Nature* 543:60– 64.
- Jo, S.- H., K.- H. Kim, et al. (2013). Study of odor from boiled eggs over time using gas chromatography. *Microchem J* 110:517– 29.
- Sleep, N. H. (2010). The Hadean- Archaean environment. *Cold Spring Harbor Perspect Biol* 2:a002527.
- Sleep, N. H., and D. K. Bird (2008). Evolutionary ecology during the rise of dioxygen in the Earth's atmosphere. *Philos Trans Roy Soc B Biol Sci* 363: 2651– 64.
- Rothschild, L. J., and R. L. Mancinelli (2004). Life in extreme environments. *Nature* 409:1092– 1101.
- Canfield, D. E., M. T. Rosing, et al. (2006). Early anaerobic metabolisms. *Philos Trans Roy Soc B Biol Sci* 361:1819– 36.
- Ballard, R. D. (1977). Notes on a major oceanographic find. *Oceanus* 20:35– 44.
- Tobler, M., C. N. Passow, et al. (2016). The evolutionary ecology of animals inhabiting hydrogen sulfide-rich environments. *Ann Rev Ecol Evol Syst* 47: 239– 62.
- Roldan, A., N. Hollingsworth, et al. (2015). Bioinspired CO₂ conversion by iron sulfide catalysts. . . *Chem Commun* 51:7501– 4.
- Kump, L. R., A. Pavlov, and M. A. Arthur (2005). Massive release of hydrogen sulfide

to the surface ocean and atmosphere during intervals of oceanic anoxia. *Geology* 33:397.

CHAPTER 3. LIFE'S STARTER SET

- Reeves, H. (1981). *Patience dans l'Azur*. Trans. R. A. Lewis and J. S. Lewis (1984), *Atoms of Silence*, 64. MIT Press.
- Atkins, P. (2003). *Atkins' Molecules*. Cambridge Univ. Press.

CHAPTER 4. ANIMAL BODIES

- Problemata* (~200 BCE). Trans. E. S. Forster (1984), *Problems*, 13.4, in *The Complete Works of Aristotle*, ed. J. Barnes, 1410. Princeton Univ. Press.
- Serres, M. (1985). *Les Cinq Sens*. Trans. M. Sankey and P. Cowley (2008), *The Five Senses*, 164. Continuum.

ANIMAL LIFE

- Gould, S. J., ed. (1993). *The Book of Life*. Norton.
- Hillis, D. M., H. C. Heller, et al. (2020). *Life: The Science of Biology*. Macmillan.
- Brieger, L. (1885). *Weitere Untersuchungen über Ptomaine*. Berlin.
- Amoore, J. E., L. J. Forrester, et al. (1975). Specific anosmia to 1- pyrroline: The spermous primary odor. *J Chem Ecology* 1(3):299– 310.

ANIMAL DEATH AND DECOMPOSITION

- Rosier, E., S. Loix, et al. (2015). The search for a volatile human specific marker in the decomposition process. *PLoS One* 10:e0137341.
- Hussain, A., L. R. Saraiva, et al. (2013). High-affinity olfactory receptor for the death-associated odor cadaverine. *Proc Natl Acad Sci USA* 110:19579– 84.
- Liberles, S. D. (2015). Trace amine- associated receptors: Ligands, neural circuits, and behaviors. *Curr Opinion Neurobiology* 34:1– 7.
- Kalinov, B., H. Podskalsk, et al. (2009). Irresistible bouquet of death— how are

burying beetles . . . attracted by carcasses. *Naturwissenschaften* 96: 889– 99.

ANIMAL EXCREMENTS

Fossey, D. (1983). Gorillas in the Mist. Houghton Mifflin, 46.

Lowe, J., S. Kershaw, et al. (1997). The effect of *Yucca schidigera* extract on canine and feline faecal volatiles. . . *Res in Vet Sci* 63:67– 71.

Mansourian, S., J. Corcoran, et al. (2016). Fecal-derived phenol induces egg-laying aversion in *Drosophila*. *Curr Biol* 26:2762– 69.

Albuquerque, T. A. de (2012). Diversity and effect of the microbial community of aging horse manure on stable fly. . . PhD dissertation, Kansas State Univ.

Blanes-Vidal, V., M. N. Hansen, et al. (2009). Characterization of odor released during handling of swine slurry. *Atmos Environ* 43:2997– 3005.

Yasuhara, A. (1987). Identification of volatile compounds in poultry manure. . . *J Chromatogr A* 387:371– 78.

Shahack-Gross, R. (2011). Herbivorous livestock dung . . . archaeological significance. *J Archaeological Sci* 38:205– 18.

Bogaard, A., R. Fraser, et al. (2013). Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers. *Proc Natl Acad Sci USA* 110:12589– 94.

Wright, D. W., D. K. Eaton, et al. (2005). Multidimensional gas chromatography-olfactometry for . . . malodors from confined animal feeding operations. *J Ag Food Chem* 53:8663– 72.

Dalton, P., E. A. Caraway, et al. (2011). A multi-year field olfactometry study near a concentrated animal feeding operation. *J Air & Waste Management Assoc* 61:1398– 1408.

Cushman, G. T. (2013). Guano and the Opening of the Pacific World: A Global Ecological History. Cambridge Univ. Press.

WET DOG, PAWS

Doty, R. L., and I. Dunbar (1974). Attraction of beagles to conspecific urine, vaginal and anal

sac secretion odors. *Physiol Behav* 12:825– 33.

Hardham, J. M., K. W. King, et al. (2008). Transfer . . . description of *Odoribacter denticanis* sp. nov., isolated from the crevicular spaces of canine periodontitis patients. *Int J Systematic and Evol Microbiol* 58:103– 9.

Allaker, R. P. (2010). Investigations into the microecology of oral malodour in man and companion animals. *J Breath Res* 4:017103.

Carrier, C. A., J. L. Seeman, et al. (2011). Hyperhidrosis in naïve purpose-bred beagle dogs. *J Am Assoc for Lab Animal Sci* 50(3):396– 400.

Brouwer, E., and H. J. Nijkamp (1953). Occurrence of two valeric acids in the hair grease of the dog. *Biochemical J* 55(3):444– 47.

Young, L., P. Pollien, et al. (2002). Compounds responsible for the odor of dog hair coat. *World Small Animal Vet Assoc Congress Proceedings*.

CHAPTER 5. ANIMAL SIGNALS

Müller, F. (1878). *Blumen der Luft*. Kosmos 3, 187.

Müller-Schwarze, D. (2006). *Chemical Ecology of Vertebrates*. Cambridge Univ. Press.

Ferrero, D. M., J. K. Lemon, et al. (2011). Detection and avoidance of a carnivore odor by prey. *Proc Natl Acad Sci USA* 108:11235– 40.

Wernecke, K. E. A., D. Vincenz, et al. (2015). Fox urine exposure induces avoidance behavior in rats and activates the amygdalar olfactory cortex. *Behavioural Brain Res* 279:76– 81.

CATS, DOGS, SKUNKS, BEAVERS

Starkenmann, C., Y. Niclass, et al. (2015). Odorant volatile sulfur compounds in cat urine. . . *Flavour Fragr J* 30:91– 100.

Miyazaki, M., T. Miyazaki, et al. (2018). The chemical basis of species, sex, and individual recognition using feces in the domestic cat. *J Chem Ecology* 44:364– 73.

Doty, R. L., and I. Dunbar (1974). Attraction of beagles to conspecific urine, vaginal and anal

- sac secretion odors. *Physiol Behav* 12:825–33.
- Preti, G., E. L. Muetterties, et al. (1976). Volatile constituents of dog and coyote anal sacs. *J Chem Ecology* 2:177–86.
- Wood, W. F., B. G. Sollers, et al. (2002). Volatile components in defensive spray of the hooded skunk. . . *J Chem Ecology* 28(9):1865–70.
- Müller-Schwarze, D. (2011). *The Beaver: Its Life and Impact*. Comstock.
- GOAT CHEESE, LAMB MEAT, WOOL**
- Homily of Pope Francis for Chrism Mass, March 28, 2013. http://www.vatican.va/content/francesco/en/homilies/2013/document_s/papa-francesco_20130328_messa-crismale.html.
- Birch, E. J., T. W. Knight, et al. (1989). Separation of male goat pheromones responsible for stimulating ovulatory activity in ewes. *New Zealand J Agric Res* 32:337–41.
- Murata, K., S. Tamogami, et al. (2014). Identification of an olfactory signal molecule that activates the central regulator of reproduction in goats. *Curr Biol* 24:681–86.
- Walkden-Brown, S. W., B. J. Restall, et al. (1994). Effect of nutrition on seasonal patterns . . . on sebaceous gland volume and odour in Australian cashmere goats. *Reproduction* 102:351–60.
- Iwata, E., T. Kikusui, et al. (2003). Substances derived from 4-ethyl octanoic acid account for primer pheromone activity for the “male effect” in goats. *J Vet Medical Sci* 65:1019–21.
- Kaffarnik, S., Y. Kayademir, et al. (2014). Concentrations of volatile 4-alkyl-branched fatty acids in sheep and goat milk and dairy products. . . *J Food Sci* 79:C2209–14.
- Siefarth, C., and A. Büttner (2014). The aroma of goat milk. . . *J Agric Food Chem* 62:11805–17.
- Carunchiawhetstine, M. E., Y. Karagul-Yuceer, et al. (2003). Identification and quantification of character aroma components in fresh chevre-style goat cheese. *J Food Sci* 68:2441–47.
- Ha, J. K., and R. C. Lindsay (1991). Volatile alkylphenols and thiophenol in species-related characterizing flavors of red meats. *J Food Sci* 56: 1197–1202.
- Madrugá, M., I. Dantas, et al. (2013). Volatiles and water- and fat-soluble precursors of Saanen goat and cross Suffolk lamb flavour. *Molecules* 18:2150–65.
- Jover, E., M. Balos, et al. (2003). Volatile fatty acids as malodorous compounds in wool scouring water and lanolin. *Environ Technol* 24:1465–70.
- Lisovac, A., and D. Shooter (2003). Volatiles from sheep wool and the modification of wool odour. *Small Ruminant Res* 49:115–24.
- INSECTS**
- Attygalle, A. B., and E. D. Morgan (1984). Chemicals from the glands of ants. *Chem Soc Reviews* 13: 245–78.
- d’Ettorre, P. (2016). Genomic and brain expansion provide ants with refined sense of smell. *Proc Natl Acad Sci USA* 113:13947–49.
- Millar, J. G. (2004). Pheromones of true bugs. In *The Chemistry of Pheromones and Other Semiochemicals II*, ed. S. Schulz, 37–84. Springer.
- Eisner, T., M. Eisner, et al. (2005). *Secret Weapons: Defenses of Insects, Spiders, Scorpions, and Other Many-Legged Creatures*. Harvard Univ. Press.
- Kiatbenjakul, P., K.-O. Intarapichet, et al. (2015). Characterization of potent odorants in male giant water bug. . . *Food Chem* 168:639–47.
- CHAPTER 6. THE HUMAN ANIMAL**
- Problemata (~200 BCE). Trans. E. S. Forster (1984), Problems, 4.24, 13.8, 13.7, in *The Complete Works of Aristotle*, ed. J. Barnes, 1356, 1411–12. Princeton Univ. Press.
- Stoddart, D. M. (1990). *The Scented Ape: The Biology and Culture of Human Odour*. Cambridge Univ. Press.

HUMAN VOLATILES AND MICROBIOMES

- Pathak, A. K., P. K. Sinha, et al. (2013). Diabetes— a historical review. *J Drug Delivery Ther* 3:83– 84.
- Crofford, O. B., R. E. Mallard, et al. (1977). Acetone in breath and blood. *Trans Am Clinical and Climatological Assoc* 88:128.
- Costello, B. de Lacy, A. Amann, et al. (2014) A review of the volatiles from the healthy human body. *J Breath Res* 8:014001.
- Amann, A., B. de Lacy Costello, et al. (2014). The human volatilome: Volatile organic compounds (VOCs) in exhaled breath, skin emanations, urine, feces and saliva. *J Breath Res* 8:034001.
- Ding, T., and P. D. Schloss (2014). Dynamics and associations of microbial community types across the human body. *Nature* 509:357– 60.
- Gill, S. R., M. Pop, et al. (2006). Metagenomic analysis of the human distal gut microbiome. *Science* 312:1355– 59.

HUMAN EXCREMENT

- Jiang, T., F. L. Suarez, et al. (2001). Gas production by feces of infants. *J Pediatric Gastroenterol Nutr* 32:534– 41.
- Parrett, A. M., and C. A. Edwards (1997). In vitro fermentation of carbohydrate by breast fed and formula fed infants. *Archives of Disease in Childhood* 76:249– 53.
- Fukuda, S., H. Toh, et al. (2011). Bifidobacteria can protect from enteropathogenic infection through production of acetate. *Nature* 469:543– 47.
- Brouns, F., B. Kettlitz, et al. (2002). Resistant starch and “the butyrate revolution.” *Trends Food Sci Technol* 13:251– 61.
- Marquet, P., S. H. Duncan, et al. (2009). Lactate has the potential to promote hydrogen sulphide formation in the human colon. *FEMS Microbiol Letters* 299:128– 34.
- Moore, J. G., L. D. Jessop, et al. (1987). Gaschromatographic and mass- spectrometric analysis of the odor of human feces. *Gastroenterology* 93:1321– 29.
- Sato, H., H. Morimatsu, et al. (2002). Analysis

of malodorous substances of human feces. *J Health Science* 48:179– 85.

- Russell, W. R., L. Hoyles, et al. (2013). Colonic bacterial metabolites and human health. *Curr Opinion Microbiol* 16:246– 54.
- Garner, C. E., S. Smith, et al. (2007). Volatile organic compounds from feces and their potential for diagnosis of gastrointestinal disease. *FASEB J* 21:1675– 88.

GAS AND URINE

- Franklin, B. (~1780). To the Royal Academy. The Bagatelles from Passy. Text and facsimile. Eakins Press.
- Glowka, W. (1985). Franklin’s perfumed proposer. *Studies in American Humor* 4(4):229– 41.
- Magendie, F. (1816). Note sur les gaz intestinaux de l’homme sain. *Ann Chimie Physique* 2:292– 96.
- Suarez, F. L., J. Springfield, and M. D. Levitt (1998). Identification of gases responsible for the odour of human flatus and evaluation of a device [charcoal cushion] purported to reduce this odour. *Gut* 43:100– 104.
- Tangerman, A. (2009). Measurement and biological significance of the volatile sulfur compounds hydrogen sulfide, methanethiol and dimethyl sulfide. . . . *J Chromatog B* 877:3366– 77.
- Wahl, H. G., A. Hoffmann, et al. (1999). Analysis of volatile organic compounds in human urine. . . . *J Chromatog A* 847:117– 25.

BREATH AND MOUTH

- Mochalski, P., J. King, et al. (2013). Blood and breath levels of selected volatile organic compounds. . . . *Analyst* 138:2134.
- Corrao, S. (2011). Halitosis: New insight into a millennial old problem. *Internal and Emergency Medicine* 6:291– 92.
- van den Velde, S., M. Quirynen, et al. (2007). Halitosis associated volatiles in breath of healthy subjects. *J Chromatog B* 853:54– 61.
- Porter, S. R., and C. Scully (2006). Oral malodour (halitosis). *Brit Med J* 333:632– 35.
- Ross, B. M., S. Babay, et al. (2009). The use of

selected ion flow tube mass spectrometry to detect and quantify polyamines in headspace gas and oral air. *Rapid Comm Mass Spectrom* 23:3973–82.

Peynaud, E. (1987). *The Taste of Wine: The Art and Science of Wine Appreciation*, trans. M. Schuster, 56–57. Macdonald Orbis.

Starkenmann, C., B. Le Calv., et al. (2008). Olfactory perception of cysteine- S- conjugates from fruits and vegetables. *J Agric Food Chem* 56:9575–80.

Cerny, C., and R. Guntz- Dubini (2013). Formation of cysteine- S- conjugates in the Maillard reaction of cysteine and xylose. *Food Chem* 141:1078–86.

SKIN

Wood, A. P., and D. P. Kelly (2010). Skin microbiology, body odor, and methylotrophic bacteria. In *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiol*, ed. K. N. Timmis, 3203–13. Springer.

Mochalski, P., K. Unterkofler, et al. (2014). Monitoring of selected skin- borne volatile markers of entrapped humans. . . . *Analytical Chemistry* 86:3915–23.

Dormont, L., J.- M. Bessi.re, et al. (2013). Human skin volatiles: A review. *J Chem Ecology* 39:569–78.

Steeghs, M. M. L., B. W. M. Moeskops, et al. (2006). On- line monitoring of UV- induced lipid peroxidation products from human skin. . . . *Int J Mass Spectrometry* 253:58–64.

Haze, S., Y. Gozu, et al. (2001). 2- Nonenal newly found in human body odor tends to increase with aging. *J Investigative Dermatology* 116:520–24.

Gallagher, M., C. J. Wysocki, et al. (2008). Analyses of volatile organic compounds from human skin. *British J Dermatology* 159:780–91.

Hara, T., A. Kyuka, et al. (2015). Butane- 2,3- dione: The key contributor to axillary and foot odor. . . . *Chem & Biodiversity* 12:248–58.

Kimura, K., Y. Sekine, et al. (2016). Measurement of 2- nonenal and diacetyl emanating from

human skin surface. . . . *J Chromatogr B* 1028:181–85.

Mitro, S., A. R. Gordon, et al. (2012). The smell of age: Perception and discrimination of body odors of different ages. *PLoS One* 7:e38110.

HEAD AND FEET

Labows, J. N., K. J. McGinley, et al. (1979). Characteristic gamma- lactone odor production of the genus *Pityrosporum* [Malessezia]. *Appl and Environ Microbiol* 38:412–15.

Goetz, N., and D. Good (1988). Detection and identification of volatile compounds evolved from human hair and scalp. . . . *J Soc Cosmet Chem* 39(1):1–13.

Brouwer, E., and H. J. Nijkamp (1952). Volatile acids in the secretion products (hair grease) of the skin. *Biochemical J* 52:54–58.

Benn, C. D. (2002). *Daily Life in Traditional China: The Tang Dynasty*. Greenwood Press.

James, A. G., D. Cox, et al. (2013). Microbiological and biochemical origins of human foot malodour. *Flavour Fragr J* 28:231–37.

Knols, B. G. J., and R. De Jong (1996). Limburger cheese as an attractant for the malaria mosquito *Anopheles gambiae*. *Parasitol Today* 12(4):159–61.

VAGINA AND SEMEN

Huggins, G. R., and G. Preti (1976). Volatile constituents of human vaginal secretions. *Am J Obstet Gynecol* 126:129–36.

Stumpf, R. M., B. A. Wilson, et al. (2013). The primate vaginal microbiome: Comparative context and implications for human health and disease. *Am J Phys Anthropol* 152:119–34.

Butler, S. (2009). The scent of a woman. *Arethusa* 43:87–112 [Catullus].

Amoore, J. E., L. J. Forrester, et al. (1975). Specific anosmia to 1- pyrroline: The spermous primary odor. *J Chem Ecology* 1(3):299–310.

Ross, B. M., S. Babay, et al. (2009). The use of selected ion flow tube mass spectrometry to

- detect and quantify polyamines in headspace gas and oral air [and semen]. *Rapid Comm Mass Spectrom* 23:3973–82.
- Longo, V., A. Forleo, et al. (2018). HS- SPME- GC- MS metabolomics approach for sperm quality evaluation. . . . *Biomed Physics & Eng Express* 5(1): 015006.
- ARMPITS**
- Huysmans, J.- K. (1880). *Croquis Parisiens*. Vaton. James, A. G., C. J. Austin, et al. (2013). Microbiological and biochemical origins of human axillary odour. *FEMS Microbiol Ecology* 83:527– 40.
- Troccaz, M., N. Ga.a, et al. (2015). Mapping axillary microbiota responsible for body odours. . . . *Microbiome* 3:3.
- Minhas, G. S., D. Bawdon, et al. (2018). Structural basis of malodour precursor transport in the human axilla. *eLife* 7.
- Natsch, A., J. Schmid, et al. (2004). Identification of odoriferous sulfanylalkanols in human axilla secretions. . . . *Chem & Biodiversity* 1:1058– 72.
- ACKNOWLEDGING OUR EMANATIONS**
- McBurney, D. H., S. Streeter, and H. A. Euler (2012). Olfactory comfort in close relationships: You aren't the only one who does it. In *Olfactory Cognition: From Perception and Memory to Environmental Odours and Neuroscience*, ed. G. M. Zucco, R. S. Herz, B. Schaal, 59–72. John Benjamins.
- Hasegawa, Y., M. Yabuki, et al. (2004). Identification of new odoriferous compounds in human axillary sweat. *Chem & Biodiversity* 1:2042– 50.
- Lundstr.m, J. N. (2009). Neural processing of body odor. *Perfumer Flavorist* 34(4):49– 51.
- Dunlop, F. (2011). Global menu: Kicking up a stink. *Financial Times*, May 20.
- CHAPTER 7. SWEET SMELLS OF SUCCESS**
- Milton, J. (1674). *Paradise Lost*, Book 5, lines 291– 300.
- GREENING AND SCENTING OF EARTH**
- Zahnle, K., N. Arndt, et al. (2007). Emergence of a habitable planet. *Space Sci Revs* 129:35– 78.
- Nies, D. H. (2014). Systematics of life, its early evolution, and ecological diversity. In *Ecological Biochemistry*, ed. G.- J. Krauss and D. H. Nies, 49– 75. Wiley.
- Harholt, J., .. Moestrup, et al. (2016). Why plants were terrestrial from the beginning. *Trends Plant Sci* 21:96– 101.
- Kenrick, P., and P. R. Crane (1997). The origin and early evolution of plants on land. *Nature* 389:33– 39.
- Morris, J. L., M. N. Puttick, et al. (2018). The timescale of early land plant evolution. *Proc Natl Acad Sci USA* 115:E2274– 83.
- Wickett, N. J., S. Mirarab, et al. (2014). Phylotranscriptomic analysis of the origin and early diversification of land plants. *Proc Natl Acad Sci USA* 111: E4859– 68.
- Weng, J.- K., R. N. Philippe, et al. (2012). The rise of chemodiversity in plants. *Science* 336:1667– 70.
- PLANT INVENTIONS FOR SUPPORT AND SELF- DEFENSE**
- Novaes, E., M. Kirst, et al. (2010). Lignin and biomass: A negative correlation for wood formation and lignin content. . . . *Plant Physiol* 154:555– 61.
- Renault, H., D. Werck- Reichhart, et al. (2019). Harnessing lignin evolution for biotechnological applications. *Curr Opinion Biotechnol* 56:105– 11.
- Labandeira, C. C., and E. D. Currano (2013). The fossil record of plant- insect dynamics. *Ann Rev Earth and Planetary Sci* 41:287– 311.
- Labandeira, C. C. (2006). The four phases of plantarthropod associations in deep time. *Geologica Acta* 4(4):409– 38.
- Bar- On, Y. M., R. Phillips, et al. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proc Natl Acad Sci USA* 115:6506– 11.

PLANT INVENTIONS FOR SEX AND DISPERSAL

Pellmyr, O., and L. B. Thien (1986). Insect reproduction and floral fragrances: Keys to the evolution of

the angiosperms? *Taxon* 35:76– 85.

Dudareva, N., and E. Pichersky, eds. (2006). *Biology of Floral Scent*. CRC Press.

Lovisetto, A., F. Guzzo, et al. (2012). Molecular analyses of mads- box genes trace back to gymnosperms the invention of fleshy fruits. *Mol Biol Evol* 29:409– 19.

Rodriguez, A., B. Alquezar, et al. (2013). Fruit aromas in mature fleshy fruits as signals of readiness for predation and seed dispersal. *New Phytologist* 197:36– 48.

Guimaraes, P. R., M. Galetti, et al. (2008). Seed dispersal anachronisms: Rethinking the fruits extinct megafauna ate. *PLoS One* 3:e1745.

Nevo, O., D. Razafimandimby, et al. (2018). Fruit scent as an evolved signal to primate seed dispersal. *Sci Adv* 4:eaat4871.

Cronberg, N. (2012). Animal- mediated fertilization in bryophytes— parallel or precursor to insect pollination in angiosperms? *Lindbergia* 35:76– 85.

Schiestl, F. P., and S. Dötterl (2012). Evolution of floral scent and olfactory preferences in pollinators: Coevolution or pre- existing bias? *Evolution* 66:2042– 55.

“CHEMICAL” AND MEDICINAL PLANT MOLECULES

Sarret, M., P. Adam, et al. (2017). Organic substances from Egyptian jars of the Early Dynastic period (3100– 2700 BCE): Mode of preparation, alteration processes and botanical (re)assessment of “cedrium.” *J Archaeol Sci Reports* 14:420– 31.

Chen, W., I. Vermaak, et al. (2013). Camphor— a fumigant during the Black Death and a coveted fragrant wood in ancient Egypt and Babylon— a review. *Molecules* 18:5434– 54.

Earley, L. S. (2004). *Looking for Longleaf: The Fall and Rise of an American Forest*. Univ. North Carolina Press.

Vernon, L. F. (2018). From surgical suite to fresh breath: The history of Listerine.. *Int J Dentistry and Oral Health* 4(3):1– 7.

IRRITATING, SOOTHING, PLEASING PLANT MOLECULES

Cometto- Muiz, J. E., and C. Simons (2015). Trigeminal chemesthesis. In *Handbook of Olfaction and Gustation*, ed. R. L. Doty, 1089– 1112. Wiley.

Startek, J. B., T. Voetsm, et al. (2019). To flourish or perish: Evolutionary TRiPs into the sensory biology of plant- herbivore interactions. *Pflügers Archiv— Eur J Physiol* 471:213– 36.

Kerman, F., A. Chakirian, et al. (2011). Molecular complexity determines the number of olfactory notes and the pleasantness of smells. *Sci Rep* 1:206.

Khan, R. M., C.- H. Luk, et al. (2007). Predicting odor pleasantness from odorant structure: Pleasantness as a reflection of the physical world. *J Neuroscience* 27:10015– 23.

Keller, A., R. C. Gerkin, et al. (2017). Predicting human olfactory perception from chemical features of odor molecules. *Science* 355:820– 26.

CHAPTER 8. PLANT VOLATILE FAMILIES:

GREEN, FRUITY, FLOWERY, SPICY

Thoreau, H. D. (1862). Wild apples. *Atlantic Monthly* 10(61):513– 26.

GENERAL PLANT VOLATILE PRODUCTION

Weng, J.- K., R. N. Philippe, et al. (2012). The rise of chemodiversity in plants. *Science* 336:1667– 70.

Gang, D. R. (2005). Evolution of flavors and scents. *Ann Rev Plant Biol* 56:301– 25.

Pott, D. M., S. Osorio, et al. (2019). From central to specialized metabolism: An overview. . . . *Front Plant Sci* 10:835.

Schwab, W., R. Davidovich- Rikanati, et al. (2008). Biosynthesis of plant- derived flavor compounds. *Plant J* 54:712– 32.

- Dudareva, N., F. Negre, et al. (2006). Plant volatiles: Recent advances and future perspectives. *Crit Revs Plant Sci* 25:417–40.
- Kreis, W., and J. Munkert (2019). Exploiting enzyme promiscuity to shape plant specialized metabolism. *J Exp Bot* 70:1435–45.
- Chen, F., D. Tholl, et al. (2011). The family of terpene synthases in plants. . . . *Plant J* 66:212–29.
- Pichersky, E., and R. A. Raguso (2018). Why do plants produce so many terpenoid compounds? *New Phytologist* 220:692–702.

GREEN-LEAF VOLATILES

- Engelberth, J., H. T. Alborn, et al. (2004). Airborne signals prime plants against insect herbivore attack. *Proc Natl Acad Sci USA* 101:1781–85.
- Hatanaka, A. (1993). The biogenesis of green odour by green leaves. *Phytochemistry* 34:1201–18.
- Matsui, K. (2006). Green leaf volatiles: Hydroperoxide lyase pathway. . . . *Curr Opin Plant Biol* 9:274–80.

ESTERS, LACTONES, JASMONOIDS

- Duchesne, A. N. (1766). *Histoire Naturelle des Fraisières*. Paris.
- Li, G., H. Jia, et al. (2014). Emission of volatile esters . . . during ripening of “Pingxiangli” pear fruit. . . . *Scientia Horticulturae* 170:17–23.
- Beekwilder, J., M. Alvarez- Huerta, et al. (2004). Functional characterization of enzymes forming volatile esters from strawberry and banana. *Plant Physiol* 135:1865–78.
- Maga, J. A., and I. Katz (1976). Lactones in foods. *CRC Crit Revs Food Sci Nutr* 8:1–56.
- Heil, M., and J. Ton (2008). Long- distance signalling in plant defence. *Trends Plant Sci* 13:264–72.
- Wang, J., D. Wu, et al. (2019). Jasmonate action in plant defense against insects. *J Exp Bot* 70:3391–3400.
- Zhu, Z., and R. Napier (2017). Jasmonate— a blooming decade. *J Exp Bot* 68:1299–1302.

TERPENOIDS

- Lange, B. M. (2015). The evolution of plant secretory structures and emergence of terpenoid chemical diversity. *Ann Rev Plant Biol* 66:139–59.

FURANONES, PHENOLICS, BENZENOIDS

- Slaughter, J. C. (2007). The naturally occurring furanones: Formation and function from pheromone to food. *Biol Revs* 74:259–76.
- Tohge, T., M. Watanabe, et al. (2013). The evolution of phenylpropanoid metabolism in the green lineage. *Crit Revs Biochem Mol Biol* 48:123–52.
- Widhalm, J. R., and N. Dudareva (2015). A familiar ring to it: Biosynthesis of plant benzoic acids. *Molecular Plant* 8:83–97.

NITROGEN AND SULFUR VOLATILES

- Routray, W., and K. Rayaguru (2018). 2- Acetyl-1-pyrroline: A key aroma component of aromatic rice and other food products. *Food Reviews Int* 34: 539–65.
- Murray, K. E., and F. B. Whitfield (1975). The occurrence of 3- alkyl- 2- methoxypyrazines in raw vegetables. *J Sci Food Agric* 26:973–86.
- Iranshahi, M. (2012). A review of volatile sulfurcontaining compounds from terrestrial plants. . . . *J Ess Oil Res* 24:393–434.
- Block, E. (2010). *Garlic and Other Alliums: The Lore and the Science*. Royal Society of Chemistry.

CHAPTER 9. MOSSES, TREES, GRASSES, WEEDS

- Agatharchides (~150 BCE). On the Erythraean Sea, trans. S. M. Burstein. In A. Dalby (2000), *Dangerous Tastes: The Story of Spices*, 33. Univ. California Press.
- Keller, H. (1908). *The World I Live In*, 65. Century.

LIVERWORTS, MOSSES, HORSETAILS, FERNS

- Cronberg, N. (2012). Animal-mediated fertilization in bryophytes—parallel or precursor to insect pollination in angiosperms? *Lindbergia* 35:76–85.
- Asakawa, Y. (2004). Chemosystematics of the Hepaticae. *Phytochemistry* 65:623–69.
- Saritas, Y., M. M. Sonwa, et al. (2001). Volatile constituents in mosses (Musci). *Phytochemistry* 57: 443–57.
- Fons, F., D. Froissard, et al. (2013). Volatile composition of six horsetails. *Nat Product Comms* 8:509–12.
- Fons, F., D. Froissard, et al. (2010). Biodiversity of volatile organic compounds from five French ferns. *Nat Product Comms* 5:1655–58.
- Froissard, D., F. Fons, et al. (2011). Volatiles of French ferns and “foug.re” scent in perfumery. *Nat Product Comms* 6:1723–26.
- Kessler, M., E. Connor, and M. Lehnert (2015). Volatile organic compounds in the strongly fragrant fern genus *Melpomene*. . . *Plant Biol* 17:430–36.
- Jiao, J., Q.-Y. Gai, et al. (2013). Ionic liquid assisted microwave distillation coupled with headspace singledrop microextraction followed by GC-MS for the rapid analysis of essential oil in *Dryopteris fragrans*. *J Separation Sci* 36:3799–3806.

CEDAR, PINE, SPRUCE, REDWOOD

- Epic of Gilgamesh (~1200 BCE). F. N. Al-Rawi and A. R. George (2014). Back to the cedar forest: The beginning and end of Tablet V of the standard Babylonian Epic of Gilgameš. *J Cuneiform Studies* 66(1):69–90.
- Fleisher, A., and Z. Fleisher (2000). The volatiles of the leaves and wood of Lebanon cedar. . . *J Ess Oil Res* 12:763–65.
- Paoli, M., A.-M. Nam, et al. (2011). Chemical variability of the wood essential oil of *Cedrus atlantica* manetti from Corsica. *Chem & Biodiversity* 8:344–51.

- Adams, R. P. (1987). Investigation of *Juniperus* species of the U.S. for new sources of cedarwood oil. *Ec Bot* 41(1):48–54.
- Krauze-Baranowska, M., M. Mardarowicz, et al. (2002). Antifungal activity of the essential oils from some species of the genus *Pinus*. *Zeitschrift für Naturforschung C* 57:478–82.
- Kurose, K., D. Okamura, and M. Yatagai (2007). Composition of the essential oils from the leaves of nine *Pinus* species and the cones of three of *Pinus* species. *Flavour Fragr J* 22:10–20.
- Yu, E. J., T. H. Kim, et al. (2004). Aroma-active compounds of *Pinus densiflora* (red pine) needles. *Flavour Fragr J* 19:532–37.
- Andersen, N. H., and D. D. Syrdal (1970). Terpenes and sesquiterpenes of *Chamaecyparis nootkatensis* leaf oil. *Phytochemistry* 9:1325–40.
- von Rudloff, E. (1981). The leaf oil terpene composition of incense cedar and coast redwood. *Canadian J Chemistry* 59:285–87.
- von Rudloff, E., M. S. Lapp, et al. (1988). Chemosystematic study of *Thuja plicata*. . . *Biochem Systematics Ecol* 16:119–25.

FRANKINCENSE, MYRRH, BALSAMS

- Langenheim, J. H. (2003). *Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology, and Ethnobotany*. Timber Press.
- Ben-Yehoshua, S., C. Borowitz, et al. (2012). Frankincense, myrrh, and balm of Gilead. *Hort Reviews* 39:1–76.
- Cerutti-Delasalle, C., M. Mehiri, et al. (2016). The (+)-cis- and (+)-trans-olibanic acids: Key odorants of frankincense. *Angewandte Chemie* 128:13923–27.
- Niebler, J., and A. Büttner (2016). Frankincense revisited, Part I: Comparative analysis of volatiles in commercially relevant *Boswellia* species. *Chem & Biodiversity* 13:613–29.
- Niebler, J., and A. Büttner (2015). Identification of odorants in frankincense. *Phytochemistry* 109:66–75.
- Niebler, J., K. Zhuravlova, et al. (2016). Fragrant sesquiterpene ketones as trace constituents in

- frankincense volatile oil. . . J Natural Products 79:1160–64.
- Hanuš, L. O., T. Rezanka, et al. (2005). Myrrh—Commiphora chemistry. Biomed Papers 149:3–28.
- Burger, P., A. Casale, et al. (2016). New insights in the chemical composition of benzoin balsams. Food Chem 210:613–22.
- Custódio, D. L., and V. F. Veiga-Junior (2012). True and common balsams. Rev Brasil Farmacogn 22: 1372–83.
- COPALS, AMBER*
- Case, R. J., A. O. Tucker, et al. (2003). Chemistry and ethnobotany of commercial incense copals of North America. Economic Botany 57:189–202.
- Gramosa, N. V., and E. R. Silveira (2005). Volatile constituents of *Copaifera langsdorffii* from the Brazilian northeast. J Ess Oil Res 17:130–32.
- Feist, M., I. Lamprecht, et al. (2007). Thermal investigations of amber and copal. Thermochimica Acta 458:162–70.
- Santiago-Blay, J. A., and J. B. Lambert (2017). Plant exudates and amber: Their origin and uses. Arnoldia 75(1):2–13.
- CINNAMON, EUCALYPTS, BAY LAURELS, AVOCADO*
- Ravindran, P. N., K. Nirmal Babu, et al., eds. (2004). Cinnamon and Cassis: The Genus Cinnamomum. CRC Press.
- Woehrlin, F., H. Fry, et al. (2010). Quantification of flavoring constituents in cinnamon J Agric Food Chem 58:10568–75.
- Kim, L., I. E. Galbally, et al. (2011). BVOC emissions from mechanical wounding of leaves and branches of *Eucalyptus sideroxylon* (red ironbark). J Atmospheric Chemistry 68:265–79.
- Tabanca, N., C. Avonto, et al. (2013). Comparative investigation of *Umbellularia californica* and *Laurus nobilis* leaf essential oils J Agric Food Chem 61:12283–91.
- Niogret, J., N. D. Epsky, et al. (2013). Analysis of sesquiterpene distributions in the leaves, branches, and trunks of avocado. Am J Plant Sci 4:922–31.
- SANDALWOOD, AGARWOOD, PALO SANTO, OAK, CHERRY*
- Hasegawa, T., H. Izumi, et al. (2012). Structure-odor relationships of α -santalol derivatives with modified side chains. Molecules 17:2259–70.
- Chen, H., Y. Yang, et al. (2011). Comparison of compositions and antimicrobial activities of essential oils from chemically stimulated agarwood, wild agarwood and healthy *Aquilaria sinensis* trees. Molecules 16:4884–96.
- Ishihara, M., T. Tsuneya, et al. (1993). Components of the volatile concentrate of agarwood. J Ess Oil Res 5:283–89.
- Naef, R. (2011). The volatile and semi-volatile constituents of agarwood Flavour Fragr J 26:73–87.
- Yukawa, C., Y. Imayoshi, et al. (2006). Chemical composition of three extracts of *Bursera graveolens*. Flavour Fragr J 21:234–38.
- Fernández de Simón, B., E. Esteruelas, et al. (2009). Volatile compounds in acacia, chestnut, cherry, ash, and oak woods J Agric Food Chem 57:3217–27.
- Martínez, J., E. Cadahía, et al. (2008). Effect of the seasoning method on the chemical composition of oak heartwood to cooperage. J Agric Food Chem 56:3089–96.
- MUGWORT, SAGE, YARROW, STINKING GOOSEFOOT, CREOSOTE BUSH*
- Barney, J. N., A. G. Hay, et al. (2005). Isolation and characterization of allelopathic volatiles from mugwort. . . J Chem Ecology 31:247–65.
- Borek, T. T., J. M. Hochrien, et al. (2006). Composition of the essential oil of white sage, *Salvia apiana*. Flavour Fragr J 21:571–72.
- Amoore, J. E., and L. J. Forrester (1976). Specific anosmia to trimethylamine: The fishy primary odor. J Chem Ecology 2:49–56.
- Jardine, K., L. Abrell, et al. (2010). Volatile organic compound emissions from *Larrea*

- tridentata (creosote bush). *Atmos Chem Phys* 10:12191–206.
- Rhew, R. C., B. R. Miller, et al. (2008). Chloroform, carbon tetrachloride and methyl chloroform fluxes in southern California ecosystems. *Atmos Environ* 42:7135–40.
- Strobel, G., S. K. Singh, et al. (2011). An endophytic/pathogenic *Phoma* sp. from creosote bush . . . and its VOCs. *FEMS Microbiol Letters* 320:87–94.
- GRASSES, CLOVERS, SWEETGRASS**
- Brilli, F., L. H. rtnagy, et al. (2012). Qualitative and quantitative characterization of volatile organic compound emissions from cut grass. *Environ Sci Technol* 46:3859–65.
- Mayland, H. F., R. A. Flath, et al. (1997). Volatiles from fresh and air- dried vegetative tissues of tall fescue. . . *J Agric Food Chem* 45:2204–10.
- Ruuskanen, T. M., M. Müller, et al. (2011). Eddy covariance VOC emission and deposition fluxes above grassland using PTR- TOF. *Atmos Chem Phys* 11:611–25.
- Quijano- Celis, C. E., J. A. Pino, et al. (2010). Chemical composition of the leaves essential oil of *Melilotus officinalis* (L.) Pallas from Colombia. *J Ess Oil Bearing Plants* 13:313–15.
- Tava, A. (2001). Coumarin- containing grass: Volatiles from sweet vernalgrass. *J Ess Oil Res* 13(5): 367–70.
- ISOPRENE, FOREST EMISSIONS**
- Pollastri, S., T. Tsonev, et al. (2014). Isoprene improves photochemical efficiency and enhances heat dissipation in plants *J Exp Bot* 65:1565–70.
- Gershenson, J. (2008). Insects turn up their noses at sweating plants. *Proc Natl Acad Sci USA* 105:17211–12.
- Guenther, A., T. Karl, et al. (2006). Estimates of global terrestrial isoprene emissions *Atmos Chem Phys* 6(11):3181–3210.
- Guenther, A., P. Zimmerman, et al. (1994). Natural volatile organic compound emission rate estimates for U.S. woodland landscapes. *Atmos Environ* 28:1197–1210.
- Kidd, C., V. Perraud, et al. (2014). Integrating phase and composition of secondary organic aerosol from the ozonolysis of α -pinene. *Proc Natl Acad Sci USA* 111:7552–57.
- Jain, S., J. Zahardis, et al. (2014). Soft ionization chemical analysis of secondary organic aerosol from green leaf volatiles emitted by turf grass. *Environ Sci Technol* 48:4835–43.
- Kirstine, W., I. Galbally, et al. (2002). Air pollution and the smell of cut grass. In *Conference Proceedings: 16th International Clean Air Conference*, Christ- church, New Zealand.
- CHAPTER 10. FLOWERS**
- Aristotle (~325 BCE). *Sense and Sensibilia*, 5. Trans.
- J. I. Beare in *The Complete Works of Aristotle* (1984), ed. J. Barnes, 704–5. Princeton Univ. Press.
- Pliny (~75 CE). *Natural History*, book 21, ch. 1. Trans. J. Bostock and H. T. Riley in *Pliny the Elder: The Natural History* (1855), <https://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.02.0137>.
- Genders, R. (1994). *Scented Flora of the World*. Hale.
- Goody, J. (1993). *The Culture of Flowers*. Cambridge Univ. Press.
- FLOWER EVOLUTION, NOT-SO-FLOWERY THROWBACKS**
- Raguso, R. A. (2004). Flowers as sensory billboards. . . *Curr Opin Plant Biol* 7:434–40.
- Raguso, R. A. (2008). Wake up and smell the roses: The ecology and evolution of floral scent. *Ann Rev Ecol Evol Systematics* 39:549–69.
- Jürgens, A., S. Dötterl, et al. (2006). The chemical nature of fetid floral odours. . . *New Phytologist* 172:452–68.
- Zhang, X., K. Chingin, et al. (2018). Deciphering the chemical origin of the semen-like floral scents in three angiosperm plants. *Phytochemistry* 145:137–45.

MIXED FLORAL VOLATILES, SYNDROMES, SIGNALS

- Dudareva, N. A., and E. Pichersky. (2006). *Biology of Floral Scent*. CRC Press.
- Muhlemann, J. K., A. Klempien, et al. (2014). Floral volatiles: From biosynthesis to function. *Plant Cell Environ* 37:1936–49.
- Kessler, D., C. Diezel, et al. (2013). Petunia flowers solve the defence/apparency dilemma of pollinator attraction by deploying complex floral blends. *Ecol Lett* 16:299–306.
- Raguso, R. A. (2016). More lessons from linalool: Insights gained from a ubiquitous floral volatile. *Curr Opin Plant Biol* 32:31–36.
- Knudsen, J. T., R. Eriksson, et al. (2006). Diversity and distribution of floral scent. *Botan Rev* 72:1–120.
- Grabenhorst, F., E. T. Rolls, et al. (2007). How pleasant and unpleasant stimuli combine in different brain regions: Odor mixtures. *J Neurosci* 27:13532–40.
- Grabenhorst, F., E. T. Rolls, et al. (2011). A hedonically complex odor mixture produces an attentional capture effect in the brain. *NeuroImage* 55:832–43.

FLOWERS OF THE ANCIENTS

- Kaiser, R. (2006). *Meaningful Scents around the World: Olfactory, Chemical, Biological, and Cultural Considerations*, 114–21 [lilies, lotus]. Wiley.
- Moraga, A. R., J. L. Rambla, et al. (2009). Metabolite and target transcript analyses during *Crocus sativus* stigma development. *Phytochemistry* 70:1009–16.
- Li, H. L. (1951). *The Garden Flowers of China*. Ronald Press.
- Kaiser, R. (1993). *The Scent of Orchids: Olfactory and Chemical Investigations*. Elsevier.
- Li, S., L. Chen, et al. (2012). Identification of floral fragrances in tree peony... *Scientia Horticulturae* 142:158–65.
- Kaneko, S., J. Chen, et al. (2017). Potent odorants of characteristic floral/sweet odor in

Chinese chrysanthemum flower tea infusion. *J Agric Food Chem* 65:10058–63.

- Zheng, C. H., T. H. Kim, et al. (2004). Characterization of potent aroma compounds in *Chrysanthemum coronarium* L. (*Garland*) *Flavour Fragr J* 19:401–5.

EUROPEAN WILD AND GARDEN FLOWERS

- Hammami, I., N. Kamoun, et al. (2011). Biocontrol of *Botrytis cinerea* with essential oil and methanol extract of *Viola odorata* L. flowers. *Arch Appl Sci Res* 5:44–51.
- Surburg, H., M. Guentert, et al. (1993). Volatile compounds from flowers: Analytical and olfactory aspects. In *Bioactive Volatile Compounds from Plants*, ed. R. Teranishi, R. G. Buttery, et al., 168–86 [lily of the valley]. American Chemical Society.
- Rohrig, E., J. Sivinski, et al. (2008). A floral-derived compound attractive to the tephritid fruit fly parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata*. *J Chem Ecol* 34:549–57 [alysium].
- Dobson, H. E. M., J. Arroyo, et al. (1997). Interspecific variation in floral fragrances within the genus *Narcissus* (Amaryllidaceae). *Biochem Systematics Ecol* 25:685–706.
- Mookherjee, B. D., R. W. Trenkle, et al. (1989). Live vs. dead, Part II: A comparative analysis of the headspace volatiles... *J Ess Oil Res* 1:85–90 [narcissus].
- Chen, H.-C., H.-S. Chi, et al. (2013). Headspace solid-phase microextraction analysis of volatile components in *Narcissus tazetta* var. *chinensis* Roem. *Molecules* 18:13723–34.
- Brunke, E.-J., F.-J. Hammerschmidt, et al. (1993). Flower scent of some traditional medicinal plants. In *Bioactive Volatile Compounds from Plants*, ed. R. Teranishi, R. G. Buttery, et al., 282–96 [chamomile]. American Chemical Society.
- Omidbaigi, R., F. Sefidkon, et al. (2003). Roman chamomile oil: Comparison between hydro-distillation and supercritical fluid extraction. *J Ess Oil Bearing Plants* 6:191–94.

- An, M., T. Haig, et al. (2001). On-site field sampling and analysis of fragrance from living lavender (*La- vandula angustifolia* L.) flowers... *J Chromatogr A* 917:245–50.
- Lis-Balchin, M. T. (2012). Lavender. In *Handbook of Herbs and Spices*, ed. K. V. Peter, 329– 47. Elsevier.
- Clery, R. A., N. E. Owen, et al. (1999). An investiga- tion into the scent of carnations. *J Ess Oil Res* 11:355–59.
- Nimitkeatkai, H., Y. Ueda, et al. (2005). Emission of methylbutyric acid from *Gypsophila paniculata* L *Scientia Horticulturae* 106:370– 80 [baby's breath].
- EUROPEAN VINE, SHRUB, AND TREE FLOWERS*
- Porter, A. (1999). Floral volatiles of the sweet pea *Lathyrus odoratus*. *Phytochemistry* 51:211–14.
- Schlotzhauer, W. S., S. D. Pair, et al. (1996). Volatile constituents from the flowers of Japanese honeysuckle (*Lonicera japonica*). *J Agric Food Chem* 44: 206– 9 [includes European *Lonicera caprifolium*].
- Adumitresei, L., I. Gostin, et al. (2009). Chemical compounds identified in the leaf glands of *Rosa agrestis* savi and *Rosa rubiginosa* L. *Analele S, tiint, ifice ale Universita, tii "Al. I. Cuza" din Ias, i: Matematica~ (Romania)*, 55(1):39– 45.
- Antonelli, A., C. Fabbri, et al. (1997). Characterization of 24 old garden roses from their volatile compositions. *J Agric Food Chem* 45:4435–39.
- Kreck, M., S. Püschel, et al. (2003). Biogenetic studies in *Syringa vulgaris* L... lilac aldehydes and lilac alcohols. *J Agric Food Chem* 51:463– 69.
- Li, Z.-G., M.-R. Lee, et al. (2006). Analysis of volatile compounds emitted from fresh *Syringa oblata* flowers *Analytica Chimica Acta* 576:43– 49.
- Naef, R., A. Jaquier, et al. (2004). From the linden flower to linden honey—volatile constituents of linden nectar, the extract of bee-stomach and ripe honey. *Chem & Biodiversity* 1(12):1870–79.
- ASIAN FLOWERS*
- Johnson, T. S., M. L. Schwieterman, et al. (2016). *Lilium* floral fragrance... *Phytochemistry* 122:103–12.
- Kong, Y., M. Sun, et al. (2012). Composition and emission rhythm of floral scent volatiles from eight lily cut flowers. *J Am Soc for Hort Sci* 137:376– 82.
- McCulloch, M. (2015). Fragrance removal in *Lilium* L. subdivision *Orientalis* (Oriental lily). University of Minnesota Department of Horticultural Science.
- Bera, P., J. N. R. Kotamreddy, et al. (2015). Interspecific variation in headspace scent volatiles composition of four commercially cultivated jasmine flowers. *Natural Product Res* 29:1328–35.
- Christensen, L. P., H. B. Jakobsen, et al. (1997). Volatiles emitted from flowers of γ -radiated and nonradiated *Jasminum polyanthum* Franch. in situ. *J Agric Food Chem* 45:2199– 2203.
- Rout, P. K., S. N. Naik, et al. (2010). Composition of absolutes of *Jasminum sambac* L. flowers... *J Ess Oil Res* 22:398– 406.
- Ishikawa, M., T. Honda, et. al. (2004). "Aqua-space®," a new headspace method for isolation of natural floral aromas *Biosci Biotech Biochem* 68:454–57 [gardenia].
- Mookherjee, B. D., R. W. Trenkle, et al. (1989). Live vs. dead, Part II: A comparative analysis... *J Ess Oil Res* 1:85– 90 [osmanthus].
- Perriot, R., K. Breme, et al. (2010). Chemical composition of French mimosa absolute oil. *J Agric Food Chem* 58:1844– 49.
- Zhang, H., and W. N. Setzer (2013). The floral essential oil composition of *Albizia julibrissin* growing in northern Alabama. *Am. J Ess Oils Nat Prod* 1(2):41– 42.

AFRICAN AND AMERICAN FLOWERS

Azuma, H., L. B. Thien, et al. (1999). Floral scents, leaf volatiles and thermogenic flowers in Magnoliaceae. *Plant Species Biol* 14:121–27.

Barreto, A. S., G. D. Feliciano, et al. (2014). Volatile composition of three floral varieties of *Plumeria rubra*. *Int J Curr Microbiol Appl Sci* 3(8):598–607.

Ao, M., B. Liu, et al. (2013). Volatile compound in cut and un-cut flowers of tetraploid *Freesia hybrida*. *Natural Product Res* 27:37–40.

Fu, Y., X. Gao, et al. (2007). Volatile compounds in the flowers of *freesia* parental species and hybrids. *J Integrative Plant Biol* 49:1714–18.

Ogunwande, I. A., and N. O. Olawore (2006). The essential oil from the leaves and flowers of “African marigold,” *Tagetes erecta* L. *J Ess Oil Res* 18:366–68. Tankeu, S. Y., I. Vermaak, et al. (2013). Essential oil variation of *Tagetes minuta* *Biochem Systematics Ecol* 51:320–27.

Reverchon, E., and G. Della Porta (1997). Tuberose concrete fractionation by supercritical carbon dioxide. *J Agric Food Chem* 45:1356–60.

Rodyoung, A., K. Sa-nuanpuag, et al. (2015). Volatile releasing patterns of tuberose flowers... *Acta Horticulturae* 307–11.

Kays, S. J., J. Hatch, et al. (2005). Volatile floral chemistry of *Heliotropium arborescens* L. “Marine.” *HortScience* 40:1237–38.

Raguso, R. A., C. Henzel, et al. (2003). Trumpet flowers of the Sonoran desert: Floral biology of *Peniocereus cacti* and sacred *Datura*. *Int J Plant Sci* 164:877–92.

Suzuki, S. (1995). Development of new fragrance products by headspace method. *J Japan Oil Chemists' Soc* 44(4):274–82 [cereus, freesia].

ROSES THROUGH HISTORY

Fougère-Danezan, M., S. Joly, et al. (2015). Phylogeny and biogeography of wild roses... *Annals of Botany* 115:275–91.

Adumitresei, L., I. Gostin, et al. (2009). Chemical compounds identified in the leaf glands of

Rosa agrestis savi and *Rosa rubiginosa* L. *Analele Științifice ale Universității “Al. I. Cuza” din Iași: Matematică* (Romania) 55(1):39–45.

Picone, J. M., A. Clery Robin, et al. (2004). Rhythmic emission of floral volatiles from *Rosa damascena semperflorens* cv. Quatre Saisons. *Planta* 219:468–78.

Rusanov, K., N. Kovacheva, et al. (2011). Traditional *Rosa damascena* flower harvesting practices evaluated through GC/MS *Food Chem* 129:1851–59.

Scalliet, G., F. Piola, et al. (2008). Scent evolution in Chinese roses. *Proc Natl Acad Sci USA* 105:5927–32. Mookherjee, B. D., R. W. Trenkle, et al. (1989). Live vs. dead, Part II: A comparative analysis... *J Ess Oil Res* 1:85–90 [hybrid tea rose].

Cherri-Martin, M., F. Jullien, et al. (2007). Fragrance heritability in hybrid tea roses. *Scientia Horticulturae* 113:177–81.

Caissard, J.-C., V. Bergougnoux, et al. (2006). Chemical and histochemical analysis of “Quatre Saisons Blanc Mousseux,” a moss rose of the *Rosa* × *dama-scena* group. *Ann Bot* 97:231–38.

CHAPTER 11. EDIBLE GREENS AND HERBS

Evelyn, J. (1699). *Acetaria: A Discourse of Sallets*. Fac-simile (1982). Prospect Books.

Hui, Y. H., ed. (2010). *Handbook of Fruit and Vegetable Flavors*. Wiley.

Peter, K. V., ed. (2012). *Handbook of Herbs and Spices*. Elsevier.

Kitchen greens

Charron, C. S., D. J. Cantliffe, et al. (1996). Photosynthetic photon flux, photoperiod, and temperature effects on emissions of (Z)-3-hexenal, (Z)-3-hexenol, and (Z)-3-hexenyl acetate from lettuce. *J Am Soc for Hort Sci* 121:488–94.

Goetz-Schmidt, E. M., and P. Schreier (1986). Neutral volatiles from blended endive (*Cichorium endivia*, L.). *J Agric Food Chem* 34:212–15.

- Flamini, G., P. L. Cioni, et al. (2003). Differences in the fragrances of pollen, leaves, and floral parts of garland (*Chrysanthemum coronarium*)... *J Agric Food Chem* 51:2267–71.
- Umano, K., Y. Hagi, et al. (2000). Volatile chemicals identified in extracts from leaves of Japanese mugwort... *J Agric Food Chem* 48:3463–69.
- Chin, H.-W., Q. Zeng, et al. (1996). Occurrence and flavor properties of sinigrin hydrolysis products in fresh cabbage. *J Food Sci* 61:101–4.
- Breme, K., P. Tournayre, et al. (2010). Characterization of volatile compounds of Indian cress absolute. ... *J Agric Food Chem* 58:473–80.
- Masanetz, C., H. Guth, et al. (1998). Fishy and hay-like off-flavours of dry spinach. *Zeitschrift für Lebens-mitteluntersuchung und -Forschung A* 206:108–13.
- Shim, J.-E., and H. Hee Baek (2012). Determination of trimethylamine in spinach, cabbage, and lettuce. ... *J Food Sci* 77:C1071–76.
- Dregus, M., and K.-H. Engel (2003). Volatile constituents of uncooked rhubarb (*Rheum rhabarbarum* L.) stalks. *J Agric Food Chem* 51:6530–36.
- Dregus, M., H.-G. Schmarr, et al. (2003). Enantioselective analysis of methyl-branched alcohols and acids in rhubarb stalks. *J Agric Food Chem* 51:7086–91.
- Götz-Schmidt, E. M., and P. Schreier (1988). Volatile constituents of *Valerianella locusta*. *Phytochemistry* 27(3):845–48.
- Delort, E., A. Jaquier, et al. (2012). Volatile composition of oyster leaf... *J Agric Food Chem* 60:11681–90.
- Mhamdi, B., W. A. Wannes, et al. (2009). Volatiles from leaves and flowers of borage... *J Ess Oil Res* 21:504–6.
- Herbs in the mint family
- Karousou, R., M. Balta, et al. (2007). “Mints,” smells and traditional uses in Thessaloniki (Greece) and other Mediterranean countries. *J Ethnopharmacol* 109:248–57.
- Kelley, L. E., and K. R. Cadwallader (2018). Identification and quantitation of potent odorants in spearmint oils. *J Agric Food Chem* 66:2414–21.
- Kokkini, S., and D. Vokou (1989). *Mentha spicata* (Lamiaceae) chemotypes growing wild in Greece. *Economic Botany* 43:192–202.
- Teixeira, M. A., and A. E. Rodrigues (2014). Coupled extraction and dynamic headspace techniques for the characterization of essential oil and aroma fingerprint of *Thymus* species. *Ind & Eng Chem Res* 53:9875–82.
- Figuéredo, G., P. Cabassu, et al. (2006). Studies of Mediterranean oregano populations... *Flavour Fragr J* 21:134–39.
- Baher, Z. F., M. Mirza, et al. (2002). The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. *Flavour Fragr J* 17:275–77.
- Karousou, R., C. Efstathiou, et al. (2012). Chemical diversity of wild growing *Origanum majorana* in Cyprus. *Chem & Biodiversity* 9:2210–17.
- Flamini, G., P. L. Cioni, et al. (2002). Main agronomic-productive characteristics of two ecotypes of *Rosmarinus officinalis* L. and chemical composition of their essential oils. *J Agric Food Chem* 50:3512–17.
- Stešević, D., M. Ristic, et al. (2014). Chemotype diversity of indigenous Dalmatian sage (*Salvia officinalis* L.) populations in Montenegro. *Chem & Biodiversity* 11:101–14.
- Nitta, M., H. Kobayashi, et al. (2006). Essential oil variation of cultivated and wild perilla analyzed by GC/MS. *Biochem Systematics Ecol* 34:25–37.
- Peer, W. A., and J. H. Langenheim (1998). Influence of phytochrome on leaf monoterpene variation in *Satureja douglasii*. *Biochem Systematics Ecol* 26:25–34.
- BASIL AND “PESTO ALLA GENOVESE”**
- Vieira, R. F., and J. E. Simon (2006). Chemical characterization of basil (*Ocimum* spp.) based on volatile oils. *Flavour Fragr J* 21:214–21.

- Bernhardt, B., L. Sipos, et al. (2015). Comparison of different *Ocimum basilicum* L. gene bank accessions Ind Crops Products 67:498–508.
- Elementi, S., R. Neri, et al. (2006). Biodiversity and selection of “European” basil (*Ocimum basilicum* L.) types. Acta Horticulturae 99–104.
- Amadei, G., and B. M. Ross (2012). Quantification of character-impacting compounds in *Ocimum basilicum* and “Pesto alla Genovese.” Rapid Commun in Mass Spectrom 26:219–25.
- Miele, M., R. Dondero, et al. (2001). Methyleugenol in *Ocimum basilicum* L. cv. Genovese Gigante. J Agric Food Chem 49:517–21.
- Fischer, R., N. Nitzan, et al. (2011). Variation in essential oil composition within individual leaves of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) is more affected by leaf position than by leaf age. J Agric Food Chem 59:4913–22.
- Herbs in the celery family
- Kurobayashi, Y., E. Kouno, et al. (2006). Potent odorants characterize the aroma quality of leaves and stalks in raw and boiled celery. Biosci Biotech Biochem 70:958–65.
- Bylaite, E., J. P. Roozen, et al. (2000). Dynamic headspace-gas chromatography-olfactometry analysis of different anatomical parts of lovage (*Levisticum officinale* Koch.) at eight growing stages. J Agric Food Chem 48:6183–90.
- Lisiewska, Z., W. Kmiecik, et al. (2007). Content of basic components and volatile oils in green dill. . . J Food Quality 30:281–99.
- Stefanini, M. B., L. C. Ming, et al. (2006). Essential oil constituents of different organs of fennel. . . Rev Bras Pl Med 8:193–98.
- Başer, K. H. C., N. Ermin, et al. (1998). The essential oil of *Anthriscus cerefolium* (L.) Hoffm. (chervil) growing wild in Turkey. J Ess Oil Res 10:463–64.
- Cadwallader, K. R., D. Benitez, et al. (2005). Characteristic aroma components of the cilantro mimics. In Natural Flavors and Fragrances, ed. C. Frey and R. Rouseff, 117–28. American Chemical Society.
- Masanetz, C., and W. Grosch (1998). Key odorants of parsley leaves. . . Flavour Fragr J 13(2):115–24.
- Ulrich, D., T. Bruchmüller, et al. (2011). Sensory characteristics and volatile profiles of parsley. . . J Agric Food Chem 59:10651–56.
- HERBS IN THE DAISY FAMILY*
- Obolskiy, D., I. Pischel, et al. (2011). *Artemisia acunculus* L. (Tarragon): A critical review. . . J Agric Food Chem 59:11367–84.
- Khalilov, L. M., E. A. Paramonov, et al. (2001). . . . Composition of vapor isolated from certain species of *Artemisia* plants. Chemistry of Natural Compounds 37(4):339–42 [wormwood].
- Mastelic, J., O. Politeo, et al. (2008). Contribution to the analysis of the essential oil of *Helichrysum italicum* Molecules 13:795–803 [curry plant].
- Meshkatsadat, M. H., J. Safaei-Ghomi, et al. (2010). Chemical characterization of volatile components of *Tagetes minuta* L. . . Digest J Nanomaterials and Biostructures 5(1):101–6 [huacatay].
- OTHER HERBS FROM THE AMERICAS*
- Calvo-Irabién, L. M., V. Parra-Tabla, et al. (2014). Phytochemical diversity of the essential oils of Mexican oregano. Chem & Biodiversity 11:1010–21.
- Shahhoseini, R., A. Estaji, et al. (2013). The effect of different drying methods on the content and chemical composition of essential oil of lemon verbena. . . J Ess Oil Bearing Plants 16(4):474–81.
- Blanckaert, I., M. Paredes-Flores, et al. (2012). Ethnobotanical, morphological, phytochemical and molecular evidence for the incipient domestication of epazote . . . in a semi-arid region of Mexico. Genetic Resources and Crop Evolution 59:557–73.
- McBurnett, B. G., A. A. Chavira, et al. (2006). Analysis of *Piper auritum*: A traditional Hispanic herb. In Hispanic Foods, ed. M. H. Tunick and E. González de Mejía, 67–76 [hoja santa]. American Chemical Society.

Buttery, R. G., L. C. Ling, et al. (1987). Tomato leaf volatile aroma components. *J Agric Food Chem* 35:1039–42.

HERBS FROM EAST ASIA

Avoseh, O., O. Oyediji, et al. (2015). *Cymbopogon* species...*Molecules* 20:7438–53 [lemongrass].

Agouillal, F., Z. M. Taher, et al. (2017). A review of . . . *Citrus hystrix* DC. *Biosciences, Biotechnol Res Asia* 14:285–305 [makrut lime].

Jiang, L., and K. Kubota (2001). Formation by mechanical stimulus of the flavor compounds in young leaves of Japanese pepper (*Xanthoxylum piperitum* DC). *J Agric Food Chem* 49:1353–57.

Starkenmann, C., L. Luca, et al. (2006). Comparison of volatile constituents of *Persicaria odorata* (Lour.). . . *J Agric Food Chem* 54:3067–71 [rau ram].

Steinhaus, M. (2015). Characterization of the major odor-active compounds in the leaves of the curry tree *Bergera koenigii* L. . . *J Agric Food Chem* 63:4060–67.

Wakte, K. V., R. J. Thengane, et al. (2010). Optimization of HS-SPME conditions for quantification of 2-acetyl-1-pyrroline and study of other volatiles in *Pandanus amaryllifolius* Roxb. *Food Chem* 121: 595–600.

COSMOPOLITAN HERBS

Mnayer, D., A.-S. Fabiano-Tixier, et al. (2014). Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of six essentials oils from the Alliaceae family. *Molecules* 19:20034–53.

Nikolić, M., T. Marković, et al. (2013). Chemical composition and biological activity of *Gaultheria procumbens* L. essential oil. *Ind Crops Prods* 49:561–67 [wintergreen].

Brendel, S., T. Hofmann, and M. Granvogel (2019). Characterization of key aroma compounds in pellets of different hop varieties...*J Agric Food Chem* 67:12044–53.

Andre, C. M., J.-F. Hausman, et al. (2016). *Cannabis sativa*: The plant of the thousand and one molecules. *Frontiers in Plant Sci* 7:19.

CHAPTER 12. EDIBLE ROOTS AND SEEDS: STAPLES AND SPICES

Pliny (~75 CE). *Natural History*, book 12, ch. 14. Trans.

J. Bostock and H. T. Riley in Pliny the Elder: *The Natural History* (1855), <https://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.02.0137>. Saul, H., M. Madella, et al. (2013). Phytoliths in pottery reveal the use of spice in European prehistoric cuisine. *PLoS One* 8:e70583.

Kraft, K. H., C. H. Brown, et al. (2014). Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annum*, in Mexico. *Proc Natl Acad Sci USA* 111:6165–70.

Hui, Y. H., ed. (2010). *Handbook of Fruit and Vegetable Flavors*. Wiley.

Peter, K. V., ed. (2012). *Handbook of Herbs and Spices*. Elsevier.

Parthasarathy, V. A., ed. (2008). *Chemistry of Spices*. Centre for Agriculture and Bioscience International.

UNDERGROUND

VEGETABLES

McKenzie, M., and V. Corrigan (2016). Potato flavor. In *Advances in Potato Chemistry and Technology*, ed. L. Kaur and J. Singh, 339–68. Elsevier.

Wang, Y., and S. J. Kays (2001). Effect of cooking method on the aroma constituents of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.). *J Food Quality* 24:67–78.

Bach, V., U. Kidmose, et al. (2012). Effects of harvest time and variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers. *Food Chem* 133:82–89.

Ulrich, D., T. Nothnagel, et al. (2015). Influence of cultivar and harvest year on the volatile profiles of leaves and roots of carrots. . . *J Agric Food Chem* 63:3348–56.

- Neffati, M., and B. Marzouk (2009). Roots volatiles and fatty acids of coriander. . . . *Acta Physiologiae Plantarum* 31:455– 61.
- Sharopov, F. (2015). Phytochemistry and bioactivities of selected plant species with volatile secondary metabolites. PhD dissertation, Ruperto- Carola Univ., Heidelberg, 45– 47 [parsnip].
- Maher, L., and I. L. Goldman (2018). Endogenous production of geosmin in table beet. *HortScience* 53:67– 72.
- PUNGENT AND AROMATIC ROOTS AND BULBS**
- Masuda, H., Y. Harada, et al. (1996). Characteristic odorants of wasabi (*Wasaba japonica* matum), Japanese horseradish, in comparison with those of horseradish (*Armoracia rusticana*). In *Biotechnology for Improved Foods and Flavors*, ed. G. R. Takeoka, R. Teranishi, et al., 67–78. American Chemical Society. Block, E. (2010). *Garlic and Other Alliums*. Royal Society of Chemistry.
- Pang, X., J. Cao, et al. (2017). Identification of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) volatiles and localization of aroma-active constituents by GC–Olfactometry. *J Agric Food Chem* 65:4140– 45.
- Singh, G., I. P. S. Kapoor, et al. (2010). Comparative study of chemical composition and antioxidant activity of fresh and dry rhizomes of turmeric. . . . *Food Chem Toxicol* 48:1026–31.
- Jirovetz, L., G. Buchbauer, et al. (2003). Analysis of the essential oils of the leaves, stems, rhizomes and roots of the medicinal plant *Alpinia galanga* from southern India. *Acta Pharm Zagreb* 53(2):73– 82.
- Wagner, J., M. Granvogl, et al. (2016). Characterization of the key aroma compounds in raw licorice. . . . *J Agric Food Chem* 64:8388– 96.
- Safaralie, A., S. Fatemi, et al. (2008). Essential oil composition of *Valeriana officinalis* L. roots cultivated in Iran. *J Chromatogr A* 1180:159– 64.
- GRAINS, BEANS, PEANUT**
- Maeda, T., J. H. Kim, et al. (2008). Analysis of volatile compounds in polished-graded wheat flours... *Eur Food Res Technol* 227:1233– 41.
- Nordlund, E., R.- L. Heini, et al. (2013). Flavour and stability of rye grain fractions in relation to their chemical composition. *Food Res Int* 54:48– 56, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.05.034>.
- Janeš, D., D. Kantar, et al. (2009) Identification of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) aroma compounds with GC– MS. *Food Chem* 112:120– 24.
- Janeš, D., H. Prosen, et al. (2012). Identification and quantification of aroma compounds of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) and some of its milling fractions. *Food Sci* 77:C746– 51.
- McGorin, R. J. (2019). Key aroma compounds in oats and oat cereals. *J Agric Food Chem* 67:13778– 89.
- Cramer, A.-C. J., D.S. Mattison, et al. (2005). Analysis of volatile compounds from various types of barley cultivars. *J Agric Food Chem* 53:7526–31.
- Bradbury, L. M. T., R. J. Henry, et al. (2016). Flavor development in rice. In *Biotechnology in Flavor Production*, ed. D. Havkin- Frenkel and N. Dudai, 221–42. Wiley.
- Yang, D. S., R. L. Shewfelt, et al. (2008). Comparison of odor- active compounds from six distinctly different rice flavor types. *J Agric Food Chem* 56:2780– 87.
- Asikin, Y., Kusumiyati, et al. (2018). Alterations in the morphological, sugar composition, and volatile flavor properties of petai (*Parkia speciosa* Hassk.) seed during ripening. *Food Res Int* 106:647– 53.
- Roland, W. S. U., L. Pouvreau, et al. (2017). Flavor aspects of pulse ingredients. *Cereal Chemistry* 94:58– 65.
- Oomah, B. D., L. S. Y. Liang, et al. (2007). Volatile compounds of dry beans. . . . *Plant Foods Hum Nutr* 62:177– 83.
- Chetschik, I., M. Granvogl, et al. (2008). Comparison of the key aroma compounds in

organically grown, raw West African peanuts (*Arachis hypogaea*) and in ground, pan-roasted meal produced thereof. *J Agric Food Chem* 56:10237–43.

NUTS

Cadwallader, K., and S. Puanggraphant (2008). Flavor and volatile compounds in tree nuts. In *Tree Nuts*, ed. F. Shahidi and C. Alasalvar, 109–25. CRC Press.

Kim, Y. K., K. N. Chung, et al. (1986). Volatile components of pinenut. *Korean J Food Sci Technol* 18(2):105–9.

Sonmezdag, A. S., H. Kelebek, et al. (2018). Pistachio oil (*Pistacia vera* L. cv. Uzun): Characterization of key odorants. . . . *Food Chem* 240:24–31.

Franklin, L. M., and A. E. Mitchell (2019). Review of the sensory and chemical characteristics of almond (*Prunus dulcis*) flavor. *J Agric Food Chem* 67:2743–53.

Burdack-Freitag, A., and P. Schieberle (2012). Characterization of the key odorants in raw Italian hazelnuts (*Corylus avellana* L. var. Tonda Romana) and roasted hazelnut paste. . . . *J Agric Food Chem* 60:5057–64.

Lee, J., L. V. zquez- Arajo, et al. (2011). Volatile compounds in light, medium, and dark black walnut and their influence on the sensory aromatic profile. *J Food Sci* 76:C199–204.

Gong, Y., A. L. Kerrihard, et al. (2018). Characterization of the volatile compounds in raw and roasted Georgia pecans by HS-SPME- GC- MS. *J Food Sci* 83:2753–60.

Wang, W., H. Chen, et al. (2019). Effect of sterilization and storage on volatile compounds, sensory properties and physicochemical properties of coconut milk. *Microchemical J* 153:104532.

CELERY FAMILY SPICES

Sowbhagya, H. B., P. Srinivas, et al. (2010). Effect of enzymes on extraction of volatiles from celery seeds. *Food Chem* 120:230–34.

Bailer, J., T. Aichinger, et al. (2001). Essential oil content and composition in commercially

available dill cultivars in comparison to caraway. *Ind Crops Prods* 14:229–39.

Besharati- Seidani, A., A. Jabbari, et al. (2005). Headspace solvent microextraction: A very rapid method for identification . . . of Iranian Pimpinella anisum seed. *Analytica Chimica Acta* 530:155–61.

Hammouda, F., M. Saleh, et al. (2014). Evaluation of the essential oil of *Foeniculum vulgare* Mill (fennel). . . . *African J Tradit Compl Altern Meds* 11:277.

Sriti, J., T. Talou, et al. (2009). Essential oil, fatty acid and sterol composition of Tunisian coriander fruit different parts. *J Sci Food Agric* 89:1659–64.

Hashemi, P., M. Shamizadeh, et al. (2009). Study of the essential oil composition of cumin seeds. . . . *Chromatographia* 70:1147–51.

Azizi, M., G. Davareenejad, et al. (2009). Essential oil content and constituents of black zira (*Bunium persicum* [Boiss.] B. Fedtsch.) from Iran during field cultivation (domestication). *J Ess Oil Res* 21:78–82.

Singh, G., P. Marimuthu, et al. (2004). Chemical, antioxidant and antifungal activities of volatile oil of black pepper [ajwain] and its acetone extract. *J Sci Food Agric* 84:1878–84.

Degenhardt, A., M. Liebig, et al. (2012). Novel insights into flavor chemistry of asafetida. In *Recent Advances in the Analysis of Food and Flavors*, ed. S. Toth and C. Mussinan, 167–75. American Chemical Society.

OTHER EURASIAN SPICES

Mebazaa, R., A. Mahmoudi, et al. (2009). Characterisation of volatile compounds in Tunisian fenugreek seeds. *Food Chem* 115:1326–36.

Zawirska-Wojtasiak, R., S. Mildner-Szkudlarz, et al. (2010). Gas chromatography, sensory analysis and electronic nose in the evaluation of black cumin (*Nigella sativa* L.) aroma quality. *Gas Chromatography* 56:11

Ozturk, I., S. Karaman, et al. (2014). Aroma, sugar and anthocyanin profile of fruit and

- seed of mahlab (*Prunus mahaleb* L.) Food Analytical Methods 7: 761–73.
- Macchia, M., L. Ceccarini, et al. (2013). Studies on saffron (*Crocus sativus* L.) from Tuscan Maremma (Italy). *Int J Food Sci Technol* 48(11):2370–75.
- PUNGENT SPICES: MUSTARDS AND PEPPERS**
- Dai, R., and L.-T. Lim (2014). Release of allyl isothio- cyanate from mustard seed meal powder... *J Food Sci* 79:E47–53.
- Liu, L., G. Song, et al. (2007). GC–MS Analysis of the essential oils of *Piper nigrum* L. and *Piper longum* L. *Chromatographia* 66:785–90.
- Jagella, T., and W. Grosch (1999). Flavour and offflavour compounds of black and white pepper (*Piper nigrum* L.), I–III, *Eur Food Res Technol* 209(1): 16– 31.
- Ma, Y., Y. Wang, et al. (2019). Sensory characteristics and antioxidant activity of *Zanthoxylum bungeanum* pericarps. *Chem & Biodiversity* 16:e1800238 [Sichuan pepper].
- Jiang, L., and K. Kubota (2004). Differences in the volatile components and their odor characteristics of green and ripe fruits and dried pericarp of Japanese pepper. . . . *J Agric Food Chem* 52:4197– 4203.
- Martin, A., A. Hernandez, et al. (2017). Impact of volatile composition on the sensorial attributes of dried paprikas. *Food Res Int* 100:691– 97.
- Lawrence, B. M. (2016). Pink pepper fruit and leaf oils. *Perfumer & Flavorist* 41:5, 56– 60.
- ASIAN AROMATICS: CINNAMON, CLOVE, CARDAMOM**
- Ravindran, P. N., K. Nirmal Babu, et al., eds. (2004). *Cinnamon and Cassia: The Genus Cinnamomum*. CRC Press.
- Chaieb, K., H. Hajlaoui, et al. (2007). The chemical composition and biological activity of clove essential oil. . . . *Phytotherapy Res* 21:501– 6.
- Howes, M.- J. R., G. C. Kite, et al. (2009). Distinguishing Chinese star anise from Japanese star anise. . . . *J Agric Food Chem* 57:5783– 89.
- Gochev, V., T. Girova, et al. (2012). Low temperature extraction . . . seeds from cardamom (*Elettaria cardamomum* [L.] Maton). *J BioScience & Biotechnol* 1(2):135– 39.
- AROMATICS FROM THE AMERICAS: ALLSPICE, ANNATTO, TONKA, VANILLA**
- Garcia- Fajardo, J., M. Martinez- Sosa, et al. (1997). Comparative study of the oil and supercritical CO₂ extract of Mexican pimento. . . . *J Ess Oil Res* 9: 181– 85.
- Galindo- Cuspinera, V., M. B. Lubran, et al. (2002). Comparison of volatile compounds in water- and oil- soluble annatto (*Bixa orellana* L.) extracts. *J Agric Food Chem* 50:2010– 15.
- Bajer, T., S. Surmov, et al. (2018). Use of simultaneous distillation- extraction . . . for characterization of the volatile profile of *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. *Industrial Crops and Products* 119:313– 21.
- Brunschwig, C., S. Rochard, et al. (2016). Volatile composition and sensory properties of *Vanilla Å~ tahitensis* bring new insights for vanilla quality control. *J Sci Food Agric* 96:848– 58.
- Belanger, F. C., and D. Havkin- Frenkel, eds. (2018). *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Wiley.
- CHAPTER 13. FRUITS**
- Bartram, W. (1791). *Travels through North and South Carolina*. . . .
- Wallace, A. R. (1869). *The Malay Archipelago: The Land of the Orang- utan and the Bird of Paradise: A Narrative of Travel, with Studies of Man and Nature*, vol. 1, 74– 75. Macmillan.
- Bunyard, E. A. (1929). *The Anatomy of Dessert*. Reprint (2006), 4. Modern Library.
- Corner, E. J. H. (1964). *The Life of Plants*, 218. World Publishing.
- Hui, Y. H., ed. (2010). *Handbook of Fruit and Vegetable Flavors*. Wiley.

FRUIT VOLATILES

- Nevo, O., and Ayasse, M. (2019). Fruit scent: Biochemistry, ecological function, and evolution. In *Co-Evolution of Secondary Metabolites*, ed. J.- M. Merillon and K. G. Ramawat, 1– 23. Springer.
- Guth, H. (1996). Determination of the configuration of wine lactone. *Helv Chim Acta* 79: 1559– 71.
- McGorin, R. J. (2011). The significance of volatile sulfur compounds in food flavors: An overview. In *Volatile Sulfur Compounds in Food*, ed. M. C. Qian, X. Fan, et al., 3– 31. American Chemical Society.

TIAN SHAN AND POME FRUITS

- Browning, F. (1998). Apples. North Point Press.
- Dzhangaliev, A. D. (2003). The wild apple tree of Kazakhstan. *Hort Revs* 29:63– 303.
- Dzhangaliev, A. D., T. N. Salova, et al. (2003). The wild fruit and nut plants of Kazakhstan. *Hort Revs* 29:305– 71.
- Mabberley, D. J., and B. E. Juniper (2009). *The Story of the Apple*. Timber Press.
- Spengler, R. N. (2019). Origins of the apple: The role of megafaunal mutualism in the domestication of *Malus* and rosaceous trees. *Frontiers Plant Sci* 10:617.
- Apra, E., M. L. Corollaro, et al. (2012). Sensory and instrumental profiling of 18 apple cultivars. . . . *Food Res Int* 49:677– 86.
- Brown, S. K. (2016). Breeding and biotechnology for flavor development in apple. . . . In *Biotechnology in Flavor Production*, ed. D. Havkin- Frenkel and N. Dudai, 264– 80. Wiley.
- Sugimoto, N., P. Forsline, et al. (2015). Volatile profiles of members of the USDA Geneva *Malus* core collection. . . . *J Agric Food Chem* 63:2106– 16.
- Donno, D., G. L. Beccaro, et al. (2012). Application of sensory, nutraceutical and genetic techniques to create a quality profile of ancient apple cultivars. *J Food Quality* 35:169– 81.
- Suwanagul, A., and D. G. Richardson 1997). Identification of headspace volatile

compounds from different pear (*Pyrus communis* L. varieties. *Acta Horticulturae* 475:605-24

- Li, G., H. Jia, et al. (2012). Characterization of aromatic volatile constituents in 11 Asian pear cultivars. . . . *African J Agric Res* 7(34):4761– 70.
- Tateo, F., and M. Bononi (2010). Headspace-SPME analysis of volatiles from quince whole fruits. *J Ess Oil Res* 22:416-18

STONE FRUITS FIGS, PERSIMMONS

- Petersen, M.B., and L. Poll (1999). The influence of storage on aroma, soluble solids, acid and colour of sour cherries. . . . *Eur Food Res Technol* 209:251– 56.
- Lozano, M., M. C. Vidal- Aragn, et al. (2009). Physicochemical and nutritional properties and volatile constituents of six Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) cultivars. *Eur Food Res Technol* 228:403– 10.
- Sabarez, H. T., W. E. Price, et al. (2000). Volatile changes during dehydration of d'Agen prunes. *J Agric Food Chem* 48:1838– 42.
- Wang, Y., F. Chen, et al. (2010). Effects of germplasm origin and fruit character on volatile composition of peaches and nectarines. In *Flavor and Health Benefits of Small Fruits*, ed. M. C. Qian and A. M. Rimando, 95– 117. American Chemical Society.
- Greger, V., and P. Schieberle (2007). Characterization of the key aroma compounds in apricots. . . . *J Agric Food Chem* 55:5221– 28.
- King, E. S., H. Hopfer, et al. (2012). Describing the appearance and flavor profiles of fresh fig (*Ficus carica* L.) cultivars. *J Food Sci* 77:S419– 29.
- Mujic, I., M. Bavcon Kralj, et al. (2012). Changes in aromatic profile of fresh and dried fig. . . . *Int J Food Sci Technol* 47:2282– 88.
- Beaulieu, J. C., and R. E. Stein- Chisholm (2016). HSGC–MS volatile compounds recovered in freshly pressed “Wonderful” cultivar and commercial pomegranate juices. *Food Chem* 190:643– 56.

- Mayuoni- Kirshinbaum, L., and R. Porat (2014). The flavor of pomegranate fruit: A review. *J Sci Food Agric* 94:21– 27.
- Wang, Y., D. Hossain, et al. (2012). Characterization of volatile and aroma-impact compounds in persimmon. . . . *Flavour Fragr J* 27:141– 48.
- BERRIES, KIWIFRUIT, GRAPES*
- Hummer, K. E., N. Bassil, et al. (2011). *Fragaria*. In *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*, ed. C. Kole, 17– 44. Springer.
- Schwieterman, M. L., T. A. Colquhoun, et al. (2014). Strawberry flavor: Diverse chemical compositions, a seasonal influence, and effects on sensory perception. *PLoS One* 9:e88446.
- Ulrich, D., D. Komes, et al. (2007). Diversity of aroma patterns in wild and cultivated *Fragaria* accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54:1185– 96.
- Ulrich, D., and K. Olbricht (2014). Diversity of metabolite patterns and sensory characters in wild and cultivated strawberries. *J Berry Res* 4:11– 17.
- Du, X., and M. Qian (2010). Flavor chemistry of small fruits: Blackberry, raspberry, and blueberry. In *Flavor and Health Benefits of Small Fruits*, ed. M. C. Qian and A. M. Rimando, 27– 43. American Chemical Society.
- Zhu, J., F. Chen, et al. (2016). Characterization of the key aroma volatile compounds in cranberry. . . . *J Agric Food Chem* 64:4990– 99.
- Jung, K., O. Fastowski, et al. (2017). Analysis and sensory evaluation of volatile constituents of fresh blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) fruits. *J Agric Food Chem* 65:9475– 87.
- Mouhib, H., and W. Stahl (2014). From cats and blackcurrants: Structure and dynamics of the sulfurcontaining cassis odorant cat ketone. *Chem & Biodiversity* 11:1554– 66.
- Hempfling, K., O. Fastowski, et al. (2013). Analysis and sensory evaluation of gooseberry (*Ribes uva crispa* L.) volatiles. *J Agric Food Chem* 61:6240– 49.
- Garcia, C. V., S.- Y. Quek, et al. (2012). Kiwifruit flavour: A review. *Trends Food Sci Technol* 24:82– 91.
- Nieuwenhuizen, N. J., A. C. Allan, et al. (2016). The genetics of kiwifruit flavor and fragrance. In *The Kiwifruit Genome*, ed. R. Testolin, H.- W. Huang, et al., 135– 47. Springer.
- Sun, Q., M. J. Gates, et al. (2011). Comparison of odor- active compounds in grapes and wines from *Vitis vinifera* and non- foxy American grape species. *J Agric Food Chem* 59:10657– 64.
- Yang, C., Y. Wang, et al. (2011). Volatile compounds evolution of three table grapes. . . . *Food Chem* 128:823– 30.
- CUCUMBERS AND MELONS*
- Schieberle, P., S. Ofner, et al. (1990). Evaluation of potent odorants in cucumbers (*Cucumis sativus*) and muskmelons (*Cucumis melo*). . . . *J Food Sci* 55:193– 95.
- Gonda, I., Y. Burger, et al. (2016). Biosynthesis and perception of melon aroma. In *Biotechnology in Flavor Production*, ed. D. Havkin- Frenkel and N. Dudai, 281– 305. Wiley.
- Aubert, C., and M. Pitrat (2006). Volatile compounds in the skin and pulp of Queen Anne's pocket melon. *J Agric Food Chem* 54:8177– 82.
- Liu, Y., C. He, et al. (2018). Comparison of fresh watermelon juice aroma characteristics of five varieties. . . . *Food Res Int* 107:119– 29.
- Vergauwen, D., and I. De Smet (2019). Watermelons versus melons: A matter of taste. *Trends Plant Sci* 24:973– 76.
- TOMATOES, CHILIS, AND RELATIVES*
- Davidovich- Rikanati, R., Y. Sitrit, et al. (2016). Tomato aroma: Biochemistry and biotechnology. In *Biotechnology in Flavor Production*, ed. D. Havkin- Frenkel and N. Dudai, 243– 63. Wiley.
- Mayer, F., G. Takeoka, et al. (2002). Aroma of fresh field tomatoes. In *Freshness and Shelf Life of Foods*, ed. K. R. Cardwallader and

- H. Weenen, 144– 61. American Chemical Society.
- Kreissl, J., and P. , Schieberle (2017). Characterization of aroma- active compounds in Italian tomatoes. . . J Agric Food Chem 65:5198– 5208.
- Xu, Y., And S. Barringer (2010). Comparison of tomatillo and tomato volatile compounds. . . J Food Sci 75(3): C268-73
- Berger, R. G., F. Drawert, et al. (1989). The flavour of cape gooseberry. . . Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und - Forschung 188:122– 26.
- Yilmaztekin, M. (2014). Characterization of potent aroma compounds of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits. . . Int J Food Properties 17:469– 80.
- Forero, M. D., C. E. Quijano, et al. (2009). Volatile compounds of chile pepper (*Capsicum annum* L. var. *glabrusculum*) at two ripening stages. *Flavour Fragr J* 24:25– 30.
- Luning, P. A., T. de Rijk, et al. (1994). Gas chromatography, mass spectrometry, and sniffing port analyses of volatile compounds of fresh bell peppers. . . J Agric Food Chem 42:977– 83.
- Naef, R., A. Velluz, et al. (2008). New volatile sulfurcontaining constituents in . . . red bell peppers. . . J Agric Food Chem 56:517– 27.
- Starkenmann, C., and Y. Niclass (2011). New cysteine- Sconjugate precursors of volatile sulfur compounds in bell peppers. . . J Agric Food Chem 59:3358– 65.
- Pino, J., E. Sauri- Duch, et al. (2006). Changes in volatile compounds of habanero chile pepper (*Capsicum chinense* Jack. cv. *Habanero*) at two ripening stages. *Food Chem* 94:394– 98.
- CITRUS FRUITS**
- Mabberley, D. J. (2004). Citrus (Rutaceae): A review of recent advances in etymology, systematics and medical applications. *Blumea* 49:481– 98.
- Wu, G. A., J. Terol, et al. (2018). Genomics of the origin and evolution of Citrus. *Nature* 554:311– 16.
- Dugo, G. (2010). Citrus Oils: Composition, Advanced Analytical Techniques, Contaminants, and Biological Activity. CRC Press.
- Porat, R., S. Deterre, et al. (2016). The flavor of citrus fruit. In *Biotechnology in Flavor Production*, ed. D. Havkin- Frenkel and N. Dudai, 1– 31. Wiley.
- Lota, M.- L., D. de Rocca Serra, et al. (2002). Volatile components of peel and leaf oils of lemon and lime species. *J Agric Food Chem* 50:796– 805 [terpenoid percentages in peel oils].
- Verzera, A., A. Trozzi, et al. (2005). Essential oil composition of Citrus meyerii Y. Tan. and Citrus medica L. cv. Diamante and their lemon hybrids. *J Agric Food Chem* 53:4890– 94 [terpenoid percentages in peel oils].
- Arena, E., N. Guarrera, et al. (2006). Comparison of odour active compounds . . . between handsqueezed juices from different orange varieties. *Food Chem* 98:59– 63.
- Selli, S., and H. Kelebek (2011). Aromatic profile and odour- activity value of blood orange juices obtained from Moro and Sanguinello. . . Industrial Crops and Products 33:727– 33.
- Tomiyama, K., H. Aoki, et al. (2012). Characteristic volatile components of Japanese sour citrus fruits: yuzu, sudachi and kabosu. *Flavour Fragr J* 27:341– 55.
- Agouillal, F., Z. Taher, et al. (2017). A review of . . . Citrus hystrix DC. Biosci, Biotechnol Res Asia 14: 285– 305 [makrut lime].
- Dugo, G., and I. Bonaccorsi, eds. (2013). Citrus Bergamia: Bergamot and Its Derivatives. CRC Press.
- SUBTROPICAL AND TROPICAL FRUITS**
- Amira, E. A., F. Guido, et al. (2011). Chemical and aroma volatile compositions of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits at three maturation stages. *Food Chem* 127:1744– 54.
- El Atem, A., E. B. Saafi, et al. (2012). Volatile and nonvolatile chemical composition of some date fruits (*Phoenix dactylifera* L.) harvested at different stages of maturity. *Int J Food Sci Technol* 47:549– 55.

- Aurore, G., C. Ginies, et al. (2011). Comparative study of free and glycoconjugated volatile compounds of three banana cultivars from French West Indies: Cavendish, Frayssinette and Plantain. *Food Chem* 129:28–34.
- Bugaud, C., E. Deverge, et al. (2011). Sensory characterization enabled the first classification of dessert bananas. *J Sci Food Agric* 91:992–1000.
- Munafo, J. P., J. Didzbalis, et al. (2014). Characterization of the major aroma- active compounds in mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. . . . *J Agric Food Chem* 62:4544–4551.
- Sung, J., J. H. Suh, et al. (2019). Relationship between sensory attributes and chemical composition of different mango cultivars. *J Agric Food Chem* 67:5177–88.
- Mahattanatawee, K., P. R. Prez- Cacho, et al. (2007). Comparison of three lychee cultivar odor profiles. . . . *J Agric Food Chem* 55:1939–44.
- Obenland, D., S. Collin, et al. (2012). Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in “Hass” avocado. *Postharvest Biol Technol* 71:41–50.
- Fuggate, P., C. Wongs- Aree, et al. (2010). Quality and volatile attributes of attached and detached “Pluk Mai Lie” papaya during fruit ripening. *Scientia Horticulturae* 126:120–29.
- Ulrich, D., and Wijaya, C. H. (2010). Volatile patterns of different papaya (*Carica papaya* L.) varieties. *J Appl Bot Food Qual* 83:128–32.
- Porto- Figueira, P., A. Freitas, et al. (2015). Profiling of passion fruit volatiles. . . *Food Res Int* 77:408–18.
- Shaw, G. J., P. J. Ellingham, et al. (1983). Volatile constituents of feijoa. . . . *J Sci Food Agric* 34:743–47.
- Steinhaus, M., D. Sinuco, et al. (2009). Characterization of the key aroma compounds in pink guava. . . . *J Agric Food Chem* 57:2882–88.
- Wijayaa, C., I. Silamba, et al. (2014). Correlation between flavor profile and sensory acceptance of two pineapple cultivars and their new genotype. In *Flavour Science*, ed. V. Ferreira and R. Lopez, 325–29. Elsevier.
- Tokitomo, Y., M. Steinhaus, et al. (2005). Odor- active constituents in fresh pineapple. . . . *Biosci Biotechnol Biochem* 69(7):1323–30.
- GINKGO, VANILLA, DURIAN*
- Del Tredici, P. (2007). The phenology of sexual reproduction in *Ginkgo biloba*: Ecological and evolutionary implications. *Botanical Review* 73:267–78.
- Parliment, T. H. (1995). Characterization of the putrid aroma compounds of *Ginkgo biloba* fruits. In *Fruit Flavors*, ed. R. L. Rouseff and M. M. Leahy, 276–79. American Chemical Society.
- Householder, E., J. Janovec, et al. (2010). Diversity, natural history, and conservation of vanilla (*Orchidaceae*) in Amazonian wetlands of Madre de Dios, Peru. *J Botanical Res Institute of Texas* 4:227–43.
- Lubinsky, P., M. Van Dam, et al. (2006). Pollination of vanilla and evolution in *Orchidaceae*. *Lindleyana* 75(12):926–29.
- Gigant, R., S. Bory, et al. (2016). Biodiversity and evolution in the *Vanilla* genus. In *The Dynamical Processes of Biodiversity: Case Studies of Evolution and Spatial Distribution*, ed. O. Grillo and G. Venora, 1–26. InTech.
- Li, J.- X., P. Schieberle, et al. (2017). Insights into the key compounds of durian (*Durio zibethinus* L. “Monthong”) pulp odor. . . . *J Agric Food Chem* 65:639–47.
- Nakashima, Y., P. Lagan, et al. (2008). A study of fruitfrugivore interactions in two species of durian (*Durio, Bombacaceae*) in Sabah, Malaysia: Short Communications. *Biotropica* 40:255–58.
- CHAPTER 14. THE LAND: SOIL, FUNGI, STONE**
- Pliny (~75 CE). *Natural History*, book 17, ch. 3. Trans. J. Bostock and H. T. Riley in *Pliny the Elder: The Natural History* (1855), <https://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.02.0137>.

Bear, I. J., and R. G. Thomas (1964). Nature of argillaceous odour. *Nature* 201(4923):993–95.

Bear, I. J., and R. G. Thomas (1966). Genesis of petrichor. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 30(9): 869–79.

FUNGI AND STREPTOMYCETES

Naranjo- Ortiz, M. A., and T. Gabald.n (2019). Fungal evolution: Major ecological adaptations and evolutionary transitions. *Biological Reviews* 94(4): 1443–76.

Brundrett, M. C. (2002). Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist* 154: 275–304.

Seipke, R. F., M. Kaltenpoth, et al. (2012). *Streptomyces* as symbionts: An emerging and widespread theme? *FEMS Microbiol Reviews* 36:862–76.

LEAF DROP, LITTER, COMPOST

Purahong, W., T. Wubet, et al. (2016). Life in leaf litter: Novel insights into community dynamics of bacteria and fungi during litter decomposition. *Mol Ecol* 25:4059–74.

Ramirez, K. S., C. L. Lauber, et al. (2010). Microbial consumption and production of volatile organic compounds at the soil- litter interface. *Biogeochem* 99:97–107.

Isidorov, V., Z. Tyszkiewicz, et al. (2016). Fungal succession in relation to volatile organic compounds emissions from Scots pine and Norway spruce leaf litter- decomposing fungi. *Atmos Environ* 131:301–6.

Leff, J. W., and N. Fierer (2008). Volatile organic compound (VOC) emissions from soil and litter samples. *Soil Biol Biochem* 40:1629–36.

Franich, R. A. (1992). Macrocyclic lactones in radiata pine forest floor litter. *Phytochemistry* 31:2532–33.

Tiefel, P., and R. G. Berger (1993). Seasonal variation of the concentrations of maltol and maltol glucoside in leaves of *Cercidiphyllum japonicum*. *J Sci Food Agric* 63:59–61.

Kutzner, H. J. (2000). Microbiology of composting. In *Biotechnology*, ed. H. J. Rhem and G. Reed, 2nd ed., vol. 11c, 35–100. Wiley.

Goldstein, N. (2008). Getting to know the odor compounds [in composting]. *BioCycle* 43(7):51–53.

Zhang, H., G. Li, et al. (2016). Influence of aeration on volatile sulfur compounds (VSCs) and NH₃ emissions during aerobic composting of kitchen waste. *Waste Management* 58:369–75.

SOIL AND GEOSMIN

Crowther, T. W., J. van den Hoogen, et al. (2019). The global soil community and its influence on biogeochemistry. *Science* 365:eaav0550.

Paul, E. A. (2016). The nature and dynamics of soil organic matter. . . . *Soil Biol Biochem* 98:109–26.

Bennett, J. W., R. Hung, et al. (2012). Fungal and bacterial volatile organic compounds: An overview and their role as ecological signaling agents. In *Fungal Associations*, ed. B. Hock, 373–93. Springer.

Peuelas, J., D. Asensio, et al. (2014). Biogenic volatile emissions from the soil. *Plant Cell Environ* 37: 1866–91.

Thaysen, A. C. (1936). The origin of an earthy or muddy taint in fish. *Annals Appl Biol* 23:99–104.

Gerber, N., and H. A. Lechevalier (1965). Geosmin, an earthy- smelling substance isolated from actinomycetes. *Appl Environ Microbiol* 13(6):935–38.

Gerber, N. N. (1977). Three highly odorous metabolites from an actinomycete: 2- isopropyl- 3 - methoxy - pyrazine, methylisoborneol, and geosmin. *J Chem Ecology* 3:475-82.

Buttery, R. G., and J. A. Garibaldi (1976). Geosmin and methylisoborneol in garden soil. *J Agric Food Chem* 24:1246-47.

Watson, S. B. (2003). Cyanobacterial and eukaryotic algal odour compounds: Signals or by- products? *Phycologia* 42:332–50.

MOLD AND MUSHROOM VOLATILES

Dickschat, J. S. (2017). Fungal volatiles— a survey from edible mushrooms to moulds. *Nat Prod Rep* 34:310–28.

- Tribe, H. T., E. Thines, et al. (2006). Moulds that should be better known: The wine cellar mould, *Racodium cellare* Persoon. *Mycologist* 20:171–75.
- Fraatz, M. A., and H. Zorn (2011). Fungal flavours. In *The Mycota*, ed. M. Hofrichter, vol. 10, 249–68. Springer.
- Pudil, F., R. Uvira, et al. (2014). Volatile compounds in stinkhorn. . . . *Eur Scientific J* 10(9):163–71.
- Jung, M. Y., D. E. Lee, et al. (2019). Characterization of volatile profiles of six popular edible mushrooms. . . . *J Food Sci* 84:421–29.
- Misharina, T. A., S. M. Muhutdinova, et al. (2010). Formation of flavor of dry champignons. . . . *Appl Biochemistry and Microbiol* 46:108–13.
- Chen, C.- C., and S.- E. Liu, et al. (1986). Enzymic formation of volatile compounds in shiitake mushroom (*Lentinus edodes* Sing.). In *Biogeneration of Aromas*, ed. T. H. Parliment and R. Croteau, 176–83. American Chemical Society.
- Wu, C.- M., and Z. Wang (2000). Volatile compounds in fresh and processed shiitake mushrooms. . . . *Food Sci Technol Res* 6:166–70.
- de Pinho, P. G., B. Ribeiro, et al. (2008). Correlation between the pattern volatiles and the overall aroma of wild edible mushrooms. *J Agric Food Chem* 56: 1704–12.
- Fons, F., S. Rapior, et al. (2003). Volatile compounds in the *Cantharellus*, *Craterellus* and *Hydnum* genera. *Cryptogamie Mycologie* 24(4):367–76 [chanterelle, black trumpet].
- Cho, I. H., S. M. Lee, et al. (2007). Differentiation of aroma characteristics of pine- mushrooms (*Tricholoma matsutake* Sing.) of different grades. . . . *J Agric Food Chem* 55:2323–28.
- Tas.kin, H. (2013). Detection of volatile aroma compounds of *Morchella*. . . . *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj- Napoca* 41:122.
- Tietel, Z., and S. Masaphy (2018). Aroma-volatile profile of black morel (*Morchella importuna*) grown in Israel. *J Sci Food Agric* 98:346–53.
- TRUFFLES*
- Zambonelli, A., ed. (2016). True Truffle (*Tuber* spp.) in the World: Soil Ecology, Systematics and Biochemistry. Springer.
- Buzzini, P., C. Gasparetti, et al. (2005). Production of volatile organic compounds (VOCs) by yeasts isolated from the ascocarps of black (*Tuber melanosporum* Vitt.) and white (*Tuber magnatum* Pico) truffles. *Archives of Microbiol* 184:187–93.
- Splivallo, R., and S. E. Ebeler (2015). Sulfur volatiles of microbial origin are key contributors to humansensed truffle aroma. *Appl Microbiol and Biotechnol* 99:2583–92.
- Vahdatzadeh, M., A. Deveau, et al. (2015). The role of the microbiome of truffles in aroma formation. . . . *Appl and Environ Microbiol* 81:6946–52.
- Talou, T., M. Doumenc- Faure, et al. (2001). Flavor profiling of 12 edible European truffles. In *Food Flavors and Chemistry*, ed. A. M. Spanier, F. Shahidi, et al., 274–80. Royal Society of Chemistry.
- YEASTS*
- Piter, G., M. Takashima, et al. (2017). Yeast habitats: Different but global. In *Yeasts in Natural Ecosystems: Ecology*, ed. P. Buzzini, M.- A. Lachance, et al., 39–71. Springer.
- Becher, P. G., G. Flick, et al. (2012). Yeast, not fruit volatiles, mediate *Drosophila melanogaster* attraction, oviposition and development. *Functional Ecology* 26:822–28.
- Saerens, S. M. G., F. R. Delvaux, et al. (2010). Production and biological function of volatile esters in *Saccharomyces cerevisiae*. *Microbial Biotechnol* 3: 165–77.
- Christiaens, J. F., L. M. Franco, et al. (2014). The fungal aroma gene *ATF1* promotes dispersal of yeast cells through insect vectors. *Cell Reports* 9:425–32.
- Dweck, H. K. M., S. A. M. Ebrahim, et al. (2015). Olfactory proxy detection of dietary antioxidants in *Drosophila*. *Curr Biol* 25:455–66.

Smith, B. D., and B. Divol (2016). *Brettanomyces bruxellensis*, a survivalist prepared for the wine apocalypse and other beverages. *Food Microbiol* 59:161–75.

Steensels, J., L. Daenen, et al. (2015). *Brettanomyces* yeasts— from spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentations. *Int J Food Microbiol* 206:24–38.

WET SOIL AND STONE,

GUNFLINT, SWAMPS

Placella, S. A., E. L. Brodie, et al. (2012). Rainfall-induced carbon dioxide pulses result from sequential resuscitation of phylogenetically clustered microbial groups. *Proc Natl Acad Sci USA* 109:10931–36.

Starkenmann, C., C. J.- F. Chappuis, et al. (2016). Identification of hydrogen disulfanes and hydrogen trisulfanes in H₂S bottle, in flint, and in dry mineral white wine. *J Agric Food Chem* 64:9033–40.

Tominaga, T., G. Guimbertau, et al. (2003). Contribution of benzenemethanethiol to smoky aroma of certain *Vitis vinifera* L. wines. *J Agric Food Chem* 51:1373–76.

Kreitman, G. Y., J. C. Danilewicz, et al. (2017). Copper(II)- mediated hydrogen sulfide and thiol oxidation to disulfides and organic polysulfanes and their reductive cleavage in wine. . . . *J Agric Food Chem* 65:2564–71.

Brown, K. A. (1985). Sulphur distribution and metabolism in waterlogged peat. *Soil Biol Biochem* 17:39–45.

Wajon, J. E., B. V. Kavanagh, et al. (1988). Controlling swampy odors in drinking water. *J Am Water Works Assoc* 80:77–83.

Westermann, P. (1994). The effect of incubation temperature on steady- state concentrations of hydrogen and volatile fatty acids during anaerobic degradation in slurries from wetland sediments. *FEMS Microbiol Ecol* 13:295–302.

CHAPTER 15. THE WATERS:

PLANKTON,

SEAWEEDS, SHELLFISH, FISH

Steinbeck, J. (1962). *Travels with Charley: In Search of America*. Viking Press.

Clark, E. (1964). *The Oysters of Locmariaquer*. Pantheon.

LIFE IN THE WATERS

Swenson, H. (1983). *Why Is the Ocean Salty?* U.S. Geological Survey.

Brodie, J., C. X. Chan, et al. (2017). The algal revolution. *Trends Plant Sci* 22:726–38.

OPEN- OCEAN SULFUROUSNESS

Yancey, P. H. (2005). Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses. *J Exp Biol* 208:2819–30.

Giordano, M., and Prioretti, L. (2016). Sulphur and algae: Metabolism, ecology and evolution. In *The Physiology of Microalgae*, ed. M. A. Borowitzka, J. Beardall, et al., 185–209. Springer.

Haas, P. (1935). The liberation of methyl sulphide by seaweed. *Biochemical J* 29(6):1297–99.

Johnston, A. W., R. T. Green, et al. (2016). Enzymatic breakage of dimethylsulfoniopropionate— a signature molecule for life at sea. *Curr Opin Chemical Biol* 31:58–65.

Seymour, J. R., R. Simo, et al. (2010). Chemoattraction to dimethylsulfoniopropionate throughout the marine microbial food web. *Science* 329:342–45.

Savoca, M. S., M. E. Wohlfeil, et al. (2016). Marine plastic debris emits a keystone infochemical for olfactory foraging seabirds. *Sci Advances* 2:e1600395.

SEASHORE HALOGENS: CHLORINE,

BROMINE, IODINE VOLATILES

Paul, C., and G. Pohnert (2011). Production and role of volatile halogenated compounds from marine algae. *Nat Prod Rep* 28:186–95.

- Küpper, F. C., L. J. Carpenter, et al. (2013). In vivo speciation studies and antioxidant properties of bromine in *Laminaria digitata* reinforce the significance of iodine accumulation for kelps. *J Exp Bot* 64:2653–64.
- Chung, H. Y., W. C. Joyce Ma, et al. (2003). Seasonal distribution of bromophenols in selected Hong Kong seafood. *J Agric Food Chem* 51:6752–60.
- Fuller, S. C., D. C. Frank, et al. (2008). Improved approach for analyzing bromophenols in seafood. . . . *J Agric Food Chem* 56:8248–54.
- Liu, M., P. E. Hansen, et al. (2011). Bromophenols in marine algae and their bioactivities. *Marine Drugs* 9:1273–92.
- SEAFOOD AROMAS, FRESH AND STALE**
- Shahidi, F., and K. R. Cadwallader, eds. (1997). *Flavor and Lipid Chemistry of Seafoods*. American Chemical Society.
- Nollet, L. M. L., and F. Toldr, eds. (2009). *Handbook of Seafood and Seafood Products Analysis*. CRC Press.
- Haard, N. F., and B. K. Simpson, eds. (2000). *Seafood Enzymes: Utilization and Influence on Postharvest Seafood Quality*. CRC Press.
- Ma, J., I. M. Pazos, et al. (2014). Microscopic insights into the protein- stabilizing effect of trimethylamine N- oxide (TMAO). *Proc Natl Acad Sci USA* 111: 8476–81.
- Summers, G., R. D. Wibisono, et al. (2017). Trimethylamine oxide content and spoilage potential of New Zealand commercial fish species. *New Zealand J Marine and Freshwater Res* 51:393–405.
- FISH**
- Kawai, T., and M. Sakaguchi (1996). Fish flavor. *Crit Revs Food Sci and Nutrition* 36:257–98.
- lafsd.ttir, G., and R. J.nsd.ttir (2009). Volatile aroma compounds in fish. In *Handbook of Seafood and Seafood Products Analysis*, ed. L. M. L. Nollet and F. Toldr, 97–117. CRC Press.
- Benanou, D., F. Acobas, et al. (2003). Analysis of offflavors in the aquatic environment. . . . *Analyt Bioanalyt Chem* 376:69–77.
- Howgate, P. (2004). Tainting of farmed fish by geosmin and 2- methyl- iso- borneol. . . . *Aquaculture* 234:155–81.
- Liu, S., T. Liao, et al. (2017). Exploration of volatile compounds causing off- flavor in farm- raised channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillet. *Aquaculture Int* 25:413–22.
- SHELLFISH**
- Pennarun, A.- L., C. Prost, et al. (2002). Identification and origin of the character- impact compounds of raw oyster *Crassostrea gigas*. *J Sci Food Agric* 82:1652–60.
- Pennarun, A.- L., C. Prost, et al. (2003). Comparison of two microalgal diets. 2. Influence on odorant composition and organoleptic qualities of raw oysters. . . . *J Agric Food Chem* 51:2011–18.
- van Houcke, J., I. Medina, et al. (2016). Biochemical and volatile organic compound profile of European flat oyster (*Ostrea edulis*) and Pacific cupped oyster (*Crassostrea gigas*). . . . *Food Control* 68: 200–207.
- Kube, S., A. Gerber, et al. (2006). Patterns of organic osmolytes in two marine bivalves, *Macoma balthica* and *Mytilus* spp. . . . *Marine Biol* 149:1387–96 [mussels].
- Baek, H. H., and K. R. Cadwallader (1997). Characterimpact aroma compounds of crustaceans. In *Flavor and Lipid Chemistry of Seafoods*, ed. F. Shahidi and K. R. Cadwallader, 85–94. American Chemical Society.
- Whitfield, F. B., F. Helidoniotis, et al. (1995). Effect of Diet and Environment on the Volatile Flavour Components of Crustaceans. *CSIRO and Fisheries Res and Development Corporation*.
- Rodriguez- Bernaldo De Quir.s,A.,J.L.perez-Hern. ndez, et al. (2001). Comparison of volatile components in fresh and canned sea urchin (*Paracentrotus lividus*, Lamarck) gonads. . . . *Eur Food Res Technol* 212:643–47.
- SEAWEEDS AND SEA SALT**
- Laudan, R. (1996). *Food of Paradise: Exploring Hawaii's Culinary Heritage*. Univ. Hawai'i Press.

- Mouritsen, O. G., and J. D. Mouritsen (2013). Seaweeds: Edible, Available, and Sustainable. Univ. Chicago Press.
- Güven, K. C., E. Sezik et al. (2013). Volatile oils from marine macroalgae. In *Natural Products*, ed. K. G. Ramawat and J.- M. M.rillon, 2883–2912. Springer.
- Whitfield, F. B., F. Helidoniotis, et al. (1999). Distribution of bromophenols in species of marine algae from eastern Australia. *J Agric Food Chem* 47: 2367– 73.
- Balbas, J., N. Hamid, et al. (2015). Comparison of . . . volatile composition between commercial and New Zealand made wakame from *Undaria pinnatifida*. *Food Chem* 186:168– 75.
- Blouin, N. A., J. A. Brodie, et al. (2011). *Porphyra*: A marine crop shaped by stress. *Trends Plant Sci* 16:29– 37.
- Shu, N., and H. Shen (2012). Identification of odouractive compounds in dried and roasted nori (*Porphyra yezoensis*). . . . *Flavour Fragr J* 27:157– 64.
- Miyasaki, T., H. Ozawa, et al. (2014). Discrimination of excellent- grade “nori,” the dried laver *Porphyra* spp. . . . *Fisheries Sci* 80:827– 38.
- Burreson, B.J., R.E. Moore, et al. (1976). Volatile halogen compounds in the alga *Asparagopsis taxiformis* (Rhodophyta). *J Agric Food Chem* 24:856– 61.
- Le Pape, M.- A., J. Grua- Priol, et al. (2004). Optimization of dynamic headspace extraction of the edible red algae *Palmaria palmata* and identification of the volatile components. *J Agric Food Chem* 52:550– 56.
- Sanchez- Garc.a, F., A. Mirzayeva, et al. (2019). Evolution of volatile compounds and sensory characteristics of edible green seaweed (*Ulva rigida*). . . . *J Sci Food Agric* 99:5475– 82.
- Silva, I., M. A. Coimbra, et al. (2015). Can volatile organic compounds be markers of sea salt? *Food Chem* 169:102– 13.
- INFLUENCES OF OCEAN VOLATILES*
- Le Ch.ne, M. (2012). Algues vertes, terrain glissant. *Ethnologie fran.aise* 42:657 [toxic sea lettuce].
- Biester, H., D. Selimovic., et al. (2006). Halogens in pore water of peat bogs. . . . *Biogeosci* 3:53– 64.
- Bendig, P., K. Lehnert, et al. (2014). Quantification of bromophenols in Islay whiskies. *J Agric Food Chem* 62:2767– 71.
- CHAPTER 16. AFTER- LIFE: SMOKE, ASPHALT, INDUSTRY**
- Faraday, M. (1861). *The Chemical History of a Candle*. Reprint (1960), 13, 27. Viking.
- Robinson, V. (1937). Coal- tar contemplations. *Scientific Monthly* 45:354– 56.
- FIRE AND LIFE*
- Bowman, D. M. J. S., J. K. Balch, et al. (2009). Fire in the earth system. *Science* 324:481– 84.
- Pausas, J. G., and J. E. Keeley (2009). A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience* 59:593– 601.
- Lenton, T. M., T. W. Dahl, et al. (2016). Earliest land plants created modern levels of atmospheric oxygen. *Proc Natl Acad Sci USA* 113:9704– 9.
- Glasspool, I. J., D. Edwards, et al. (2004). Charcoal in the Silurian as evidence for the earliest wildfire. *Geology* 32:381.
- Bond, W.J., and A. C. Scott (2010). Fire and the spread of flowering plants in the Cretaceous. *New Phytologist* 188:1137– 50.
- He, T., J. G. Pausas, et al. (2012). Fire- adapted traits of *Pinus* arose in the fiery Cretaceous. *New Phytologist* 194:751– 59.
- Nelson, D. C., G. R. Flematti, et al. (2012). Regulation of seed germination and seedling growth by chemical signals from burning vegetation. *Annu Rev Plant Biol* 63:107– 30.
- Bowman, D. M. J. S., J. Balch, et al. (2011). The human dimension of fire regimes on Earth. *J Biogeography* 38:2223– 36.
- MacDonald, K. (2017). The use of fire and human distribution. *Temperature* 4:153– 65.

- Wrangham, R. (2009). *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*. Basic Books.
- PYROLYSIS**
- Ciccioli, P., M. Centritto, et al. (2014). Biogenic volatile organic compound emissions from vegetation fires. *Plant Cell Environ* 37:1810–25.
- Al.n, R., E. Kuoppala, et al. (1996). Formation of the main degradation compound groups from wood and its components during pyrolysis. *J Analyt Appl Pyrolysis* 36:137–48.
- Yokelson, R. J., R. Susott, et al. (1997). Emissions from smoldering combustion of biomass. . . . *J Geophys Res* 102:18865–77.
- Branca, C., P. Giudicianni, et al. (2003) GC/MS characterization of liquids generated from low temperature pyrolysis of wood. *Eng Chem Res* 42:3190–3202.
- Czerny, M., R. Brueckner, et al. (2011). . . . odor qualities and odor detection thresholds of volatile alkylated phenols. *Chemical Senses* 36:539–53.
- TAR, CHARCOAL, PITCH, TURPENTINE**
- Mazza, P. P. A., F. Martini, et al. (2006). A new Palaeolithic discovery: Tar- hafted stone tools in a European Mid- Pleistocene bone- bearing bed. *J Archaeol Sci* 33:1310–18.
- Science, T., and P. Groom (2018). The aceramic production of *Betula pubescens* (downy birch) bark tar using simple raised structures: A viable Neanderthal technique? *Archaeol Anthropol Sci* 10:19–29.
- Antal, M. J., and M. Gr.nli (2003). The art, science, and technology of charcoal production. *Ind Eng Chem Res* 42:1619–40.
- Pliny (~75 CE). *Natural History*, book 15, ch. 7. Trans. J. Bostock and H. T. Riley in *Pliny the Elder: The Natural History* (1855), <https://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.02.0137>.
- Koller, J., U. Baumer, et al. (2005). Herodotus' and Pliny's embalming materials identified on ancient Egyptian mummies. *Archaeometry* 47:609–28.
- Earley, L. S. (2004). *Looking for Longleaf: The Fall and Rise of an American Forest*. Univ. North Carolina Press.
- Hennius, A. (2018). Viking Age tar production and outland exploitation. *Antiquity* 92:1349–61.
- BITUMEN, PETROLEUM, COAL**
- Connan, J. (1999). Use and trade of bitumen in antiquity and prehistory: Molecular archaeology reveals secrets of past civilizations. *Phil Trans Roy Soc Lond B* 354:33–50.
- Carter, R. (2006). Boat remains and maritime trade I the Persian Gulf during the sixth and fifth millennia BC. *Antiquity* 80:52–63.
- Nissenbaum, A., and S. Buckley (2013). Dead Sea as-phalt in ancient Egyptian mummies—why? *Archaeometry* 55:563–68.
- Murali Krishnan, J., and K. Rajagopal (2003). Review of the uses and modeling of bitumen from ancient to modern times. *Appl Mechanics Reviews* 56:149–214.
- Hatcher, P. G., and D. J. Clifford (1997). The organic geochemistry of coal: From plant materials to coal. *Org Geochem* 27:251–74.
- Rasmussen, B. (2005). Evidence for pervasive petroleum generation and migration in 3.2 and 2.63 Ga shales. *Geology* 33:497.
- Vu, T. T. A., B. Horsfield, et al. (2013). The structural evolution of organic matter during maturation of coals and its impact on petroleum potential and feedstock for the deep biosphere. *Organic Geochem* 62:17–27.
- ILLUMINATING GAS, KEROSENE, COAL TAR, SINGLE VOLATILES**
- Pagel, W. (2002). *Joan Baptista Van Helmont: Reformer of Science and Medicine*. Cambridge Univ. Press.
- Matthews, W. (1827). *An Historical Sketch of the Origin, Progress, and Present State of Gas-lighting*. London.
- Smalley, E. V. (1883). Striking oil. *Century Magazine* 26(3):323–39.
- Faraday, M. (1815). On new compounds of carbon and hydrogen, and on certain other products obtained during the

- decomposition of oil by heat. *Proc Roy Soc London* 2:248– 49.
- Kaiser, R. (1968). “Bicarbutet of hydrogen”: Reappraisal of the discovery of benzene in 1825 with the analytical methods of 1968. *Angewandte Chem Int Ed, Engl* 7:345– 50.
- Sneader, W. (2005). *Drug Discovery: A History*. Wiley.
- Reichenbach, K. (1835). Das Kreosot in Chemischer, Physischer und Medicinischer Beziehung, 14.
- Runge, F. (1834). .ber einige Produkte der Steinkohlendestillation. *Annalen der Physik und Chemie*, 31:65– 78.
- von Hofmann, A. W. (1849). Introduction, xlv– lxiii. Reports of the Royal College of Chemistry and Research Conducted in the Laboratories in the Years 1845– 6– 7
- PLASTICS AND SOLVENTS**
- Powers, V. (1993). The Bakelizer: A National Historic Chemical Landmark. National Museum of American History, Smithsonian Institution, American Chemical Society.
- Bruno, P., M. Caselli, et al. (2008). Monitoring of volatile organic compounds in non-residential indoor environments. *Indoor Air* 18:250– 56.
- Burdack- Freitag, A., A. Heinlein, et al. (2017). Material odor emissions and indoor air quality. In *Springer Handbook of Odor*, ed. A. Büttner, 563– 84. Springer.
- Kataoka, H., Y. Ohashi, et al. (2012). Indoor air monitoring of volatile organic compounds . . . In *Advanced Gas Chromatography*, ed. M. A. Mohd, 161– 84. In-Tech.
- Chang, J. C. S., R. Fortmann, et al. (2002). Air toxics emissions from a vinyl shower curtain. In *Proceedings: Indoor Air 2002*, 542– 47.
- Curran, K., and M. Strlicˆ (2015). Polymers and volatiles: Using VOC analysis for the conservation of plastic and rubber objects. *Studies in Conservation* 60:1– 14.
- Coles, R., ed. (2003). *Food Packaging Technology*. Blackwell.
- Bravo, A., J. H. Hotchkiss, et al. (1992). Identification of odor- active compounds resulting from thermal oxidation of polyethylene. *J Agric Food Chem* 40: 1881– 85.
- Sanders, R. A., D. V. Zyzak, et al. (2005). Identification of 8- nonenal as an important contributor to “plastic” off- odor in polyethylene packaging. *J Agric Food Chem* 53:1713– 16.
- Delaunay- Bertoncini, N., F. W. M. van der Wielen, et al. (2004). Analysis of low- molar- mass materials in commercial rubber samples. . . . *J Pharmaceut Biomed Anal* 35:1059– 73.
- Faber, J., and K. Brodzik (2017). Air quality inside passenger cars. *AIMS Environ Sci* 4:112– 33.
- Van Lente, R., and S. J. Herman (2001). The smell of success— exploiting the leather aroma. *Soc. Automotive Eng. Technical Paper* 2001- 01- 0047.
- McDonald, B. C., J. A. de Gouw, et al. (2018). Volatile chemical products emerging as largest petrochemical source of urban organic emissions. *Science* 359: 760– 64.
- TAR- BARREL TOXINS, ETHEREALITY**
- Lowe, D. (2007). Wake up and smell the solvents, https://blogs.sciencemag.org/pipeline/archives/2007/02/18/wake_up_and_smell_the_solvents.
- Pott, P. (1775). *Chirurgical Observations Relative to the Cataract, the Polyplus of the Nose, the Cancer of the Scrotum, the Different Kinds of Ruptures, and the Mortification of the Toes and Feet*. London.
- Cook, J. W., C. L. Hewett, et al. (1933). The isolation of a cancer- producing hydrocarbon from coal tar. *J Chem Soc* 1933:395– 405.
- Lim, S. K., H. S. Shin, et al. (2014). Risk assessment of volatile organic compounds benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) in consumer products. *J Toxicology and Environ Health, Part A*, 77(22– 24):1502– 21.
- Hubbard, T. D., I. A. Murray, et al. (2016). Divergent Ah receptor ligand selectivity during hominin evolution. *Mol Biol Evol* 33:2648– 58.

- Johnston, F. H., S. Melody, et al. (2016). The pyrohealth transition: How combustion emissions have shaped health through human history. *Phil Trans Roy Soc B* 371:20150173.
- Frobenius, A. S. (1729). An account of a spiritus vini aethereus, together with several experiments tried therewith. *Phil Trans Roy Soc* 36:283–89.
- Priesner, C. (1986). Spiritus aethereus—Formation of ether and theories on etherification from Valerius Cordus to Alexander Williamson. *Ambix* 33(2):129–52.
- Naef, R. (2011). The volatile and semi-volatile constituents of agarwood. . . *Flavour Fragr J* 26:73–87.
- Ishihara, M., T. Tsuneya, et al. (1993). Components of the agarwood smoke on heating. *J Ess Oil Res* 5:419–23.
- Takeoka, G. R., C. Hobbs, et al. (2010). Volatile constituents of the aerial parts of *Salvia apiana* Jepson. *J Ess Oil Res* 22:241–44.
- Borek, T. T., J. M. Hochrien, et al. (2006). Composition of the essential oil of white sage, *Salvia apiana*. *Flavour Fragr J* 21:571–72.
- Cohen, R., K. G. Sexton, et al. (2013). Hazard assessment of United Arab Emirates (UAE) incense smoke. *Sci of the Total Environment* 458–60:176–86.
- Lin, T.-C., G. Krishnaswamy, et al. (2008). Incense smoke: Clinical, structural and molecular effects on airway disease. *Clin Mol Allergy* 6:3.

CHAPTER 17. FRAGRANCES

- Needham, J., and Lu Gwei-djen (1974). Science and Civilisation in China, vol. 5, Chemistry and Chemical Technology, part 2, Spagyric Discovery and Invention. Cambridge Univ. Press, 154.
- Dickinson, E. (1863). Essential Oils— are wrung. Emily Dickinson Archive, https://www.edickinson.org/editions/1/image_sets/236034.
- Pickenhagen, W. (2017). The history of odor and odorants. In *Springer Handbook of Odor*, ed. A. Büttner, 1–12. Springer.
- Trujillo, R. (2018). Tide: The history of the smell of clean in North America. *Perfumer Flavorist* 43(11): 28–32.

INCENSE AND SMUDGING

- Schafer, E. H. (1985). The Golden Peaches of Samarkand: A Study of Tang Exotics. Univ. California Press.
- Baum, J. M. (2013). From incense to idolatry: The reformation of olfaction in late medieval German ritual. *The Sixteenth Century J* 44(2):323–44.
- Kanafani-Zahar, A. (1983). Aesthetics and Ritual in the United Arab Emirates: The Anthropology of Food and Personal Adornment among Arabian Women. American Univ. Beirut.
- Niebler, J., and A. Büttner (2015). . . . A new approach to identify thermally generated odorants in frankincense. *J Analyt Appl Pyrolysis* 113:690–700.
- TOBACCO
- Proctor, R. N. (2012). The history of the discovery of the cigarette–lung cancer link: evidentiary traditions, corporate denial, global toll. *Tobacco Control* 21:87–91.
- Hahn, B. (2011). Making Tobacco Bright: Creating an American Commodity, 1617–1937. Johns Hopkins Univ. Press.
- Baker, R. R., and L. J. Bishop (2004). The pyrolysis of tobacco ingredients. *J Analyt Appl Pyrolysis* 71: 223–311.
- Perfetti, T., and A. Rodgman (2011). The complexity of tobacco and tobacco smoke. *Beiträge zur Tabakforschung Int / Contributions to Tobacco Res* 24: 215–32.
- Xiang, Z., K. Cai, et al. (2014). Analysis of volatile flavour components in flue-cured tobacco. . . *Anal Methods* 6:3300.
- Leffingwell, J. (1999). Basic chemical constituents of tobacco leaf and differences among tobacco types. In *Tobacco: Production, Chemistry, and Technology*, ed. D. L. Davis and M. T. Nielson. Blackwell.
- Leffingwell, J. C., E. D. Alford, et al. (2013). Identification of the volatile constituents

- of Cyprian Latakia tobacco. . . . Leffingwell Rep 5(2):1–29.
- Leffingwell, J., and E. Alford (2005). Volatile constituents of Perique tobacco. *J Environ Agric Food Chem* 4:1–6.
- Rustemeier, K., R. Stabbert, et al. (2002). Evaluation of the potential effects of ingredients added to cigarettes. Part 2: Chemical composition of mainstream smoke. *Food Chem Toxicol* 40:93–104.
- Taylor, H., D. Winter, et al. (1999). . . . odorous volatile organic compounds (VOCs) from concentrated aged sidestream smoke (SSS). *Beitr.ge zur TabakforschungInt / Contributions to Tobacco Res* 18:175–87 [residues on cloth].
- Bazemore, R., C. Harrison, et al. (2006). Identification of components responsible for the odor of cigar smoker's breath. *J Agric Food Chem* 54:497–501.
- Frauendorfer, F., M. Christlbauer, et al. (2014). Elucidation of ashtray odor. In *Flavour Science*, ed. V. Ferreira and R. Lopez, 47–51. Elsevier.
- CANNABIS, MOXA**
- ElSohly, M. A., ed. (2007). *Marijuana and the Cannabinoids*. Springer.
- Moir, D., W. S. Rickert, et al. (2008). A comparison of mainstream and sidestream marijuana and tobacco cigarette smoke produced under two machine smoking conditions. *Chem Res Toxicol* 21:494–502.
- Deng, H., and X. Shen (2013). The mechanism of moxibustion: Ancient theory and modern research. *Evidence- Based Compl Alt Med* 2013:1–7.
- Wheeler, J., B. Coppock, et al. (2009). Does the burning of moxa (*Artemisia vulgaris*) in traditional Chinese medicine constitute a health hazard? *Acupunct Med* 27:16–20.
- CAPTURING VOLATILES: DISTILLATION, ALCOHOL, SOLVENTS**
- Genders, R. (1972). *Perfume through the Ages*. Putnam.
- Morris, E. T. (1984). *Fragrance: The Story of Perfume from Cleopatra to Chanel*. Scribner.
- McHugh, J. (2012). *Sandalwood and Carrion: Smell in Indian Religion and Culture*. Oxford Univ. Press.
- Zohar, A., and E. Lev (2013). Trends in the use of perfumes and incense in the Near East after the Muslim conquests. *J Royal Asiatic Soc* 23:11–30.
- Kanafani- Zahar, A. (1983). *Aesthetics and Ritual in the United Arab Emirates: The Anthropology of Food and Personal Adornment among Arabian Women*. American Univ. Beirut.
- Forbes, R. J. (1956). *Studies in Ancient Technology*, vol. 3. Brill Archive.
- Levey, M. (1959). *Chemistry and Chemical Technology in Ancient Mesopotamia*. Elsevier.
- Belgiorno, M. R. (2016). *The Perfume of Cyprus: From Pyrgos to Francois Coty*. Ermes.
- Castel, C., X. Fernandez, et al. (2009). *Perfumes in Mediterranean antiquity*. *Flavour Fragr J* 24:326–34.
- Naves, Y. R., G. Mazuyer, et al. (1947). *Natural Perfume Materials: A Study of Concretes, Resinoids, Floral Oils and Pomades*. Reinhold.
- Başer, K. H. C., and G. Buchbauer, eds. (2015). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*. CRC Press.
- Başer, K. H. C., M. Kurkcuoglu, et al. (2003). Turkish rose oil research: Recent results. *Perfumer Flavorist* 28(2):34–43.
- Kurkcuoglu, M., and K. H. C. Başer (2003). Studies on Turkish rose concrete, absolute, and hydrosol. *Chem Nat Compounds* 39(5):457–64.
- PLANT FRAGRANCE MATERIALS**
- See Naves et al. and Başer and Buchbauer under “Capturing volatiles” (above); also see references for chapters 9–13.
- Arctander, S. (1960). *Perfume and Flavor Materials of Natural Origin*. Self-published.

- Swamy, M., and U. Sinniah (2015). A comprehensive review . . . of Pogostemon cablin Benth. *Molecules* 20:8521– 47 [patchouli].
- Joulain, D., and R. Tabacchi (2009). Lichen extracts as raw materials in perfumery: Oakmoss. *Flavour Fragr J* 24:49– 61.
- Froissard, D., F. Fons, et al. (2011). Volatiles of French ferns and “foug.re” scent in perfumery. *Nat Product Comms* 6(11):1723– 26.
- Weyerstahl, P., H. Marschall, et al. (1998). Constituents of commercial labdanum oil. *Flavour Fragr J* 13(5):295– 318.
- Miyazawa, N., A. Nakanishi, et al. (2009). Novel key aroma components of galbanum oil. *J Agric Food Chem* 57:1433– 39.
- Chauhan, R. S., M. C. Nautiyal, et al. (2017). Effect of post- harvest drying methods on the essential oil composition of *Nardostachys jatamansi* DC. *J Ess Oil Bearing Plants* 20:1090– 96.
- Liu, Z. L., Q. He, et al. (2012). Essential oil composition and larvicidal activity of *Saussurea lappa* roots. . . . *Parasitol Res* 110:2125– 30 [costus].
- Marongiu, B., A. Piras, et al. (2005). Chemical composition of the essential oil and supercritical CO₂ extract of *Commiphora myrrha* (Nees) Engl. and of *Acorus calamus* L. *J Agric Food Chem* 53:7939– 43.
- Belhassen, E., J.- J. Filippi, et al. (2015). Volatile constituents of vetiver: A review. *Flavour Fragr J* 30:26– 82.
- Del Giudice, L., D. R. Massardo, et al. (2008). The microbial community of vetiver root and its involvement into essential oil biogenesis. *Environ Microbiol* 10:2824– 41.
- Brenna, E., C. Fuganti, et al. (2003). . . . the ten isomers of irone. *Comptes Rendus Chimie* 6:529– 46 [orris].
- Mookherjee, B. D., and R. A. Wilson (1990). Tobacco constituents— their importance in flavor and fragrance chemistry. *Perfumer & Flavorist* 15(1):27– 49.
- ANIMAL FRAGRANCE MATERIALS, PLANT MUSKS*
- Levey, M. (1961). Ibn M.sawaih and his treatise on simple aromatic substances: Studies in the history of Arabic pharmacology. *J Hist Med Allied Sci* 16:394– 410.
- King, A. H. (2017). Scent from the Garden of Paradise. Musk and the Medieval Islamic World. Brill.
- Kraft, P. (2004). Aroma chemicals, IV: Musks. In *Chemistry and Technology of Flavors and Fragrances*, ed. D. J. Rowe, 143–68 Blackwell.
- Hayes, R. A., B. J. Richardson, et al. (2003). To fix or not to fix: The role of 2- phenoxyethanol in rabbit, *Oryctolagus cuniculus*, chin gland secretion. *J Chem Ecology* 29(5):1051– 64.
- Boyle, R. (1676). Experiments and observations about the mechanical production of odours. In *Works of the Honourable Robert Boyle* (London, 1772), vol. 4, 272.
- Clarke, R. (2006). The origin of ambergris. *Lat Am J Aquat Mamm* 5(1):7– 21.
- Rowland, S. J., and P. A. Sutton (2017). Chromatographic and spectral studies of jetsam and archived ambergris. *Natural Product Res* 31:1752– 57.
- Panten, J., H. Surburg, et al. (2014). Recent results in the search for new molecules with ambergris odor. *Chem & Biodiversity* 11:1639– 50.
- Dannenfeldt, K. H. (1985). Europe discovers civet cats and civet. *J History Biology* 18:403– 31.
- Tang, R., F. X. Webster, et al. (1993). Phenolic compounds from male castoreum of the North American beaver, *Castor canadensis*. *J Chem Ecology* 19: 1491– 1500.
- Prinsloo, L. C. (2007). Rock hyraces: A cause of San rock art deterioration? *J Raman Spectrosc* 38: 496–503.
- Ferber, C. E. M., and H. E. Nursten (1977). The aroma of beeswax. *J Sci Food Agric* 28:511– 18.
- Nongmaithem, B. D., P. Mouatt, et al. (2017). Volatile and bioactive compounds in opercula from Muricidae molluscs. . . . *Sci Rep* 7:17404.

Kaiser, R. (2006). *Meaningful Scents around the World: Olfactory, Chemical, Biological, and Cultural Considerations*, 143–51 [pine resin]. Wiley.

NEW AROMATICS FROM CHEMISTS

David, O. R. P. (2017). Artificial nitromusks, stories of chemists and businessmen. *Eur J Org Chem* 2017(1):4–13.

De Nicola, P. (2008). A smelling trip into the past: The influence of synthetic materials on the history of perfumery. *Chem & Biodiversity* 5(6):1137–46.

Gupta, C. (2015). A biotechnological approach to microbial based perfumes and flavours. *J Microbiol Exp* 2(1):11–18.

Kraft, P., J. A. Bajgrowicz, et al. (2000). Odds and trends: Recent developments in the chemistry of odorants. *Angewandte Chem Int Ed* 31.

Kraft, P., and W. Eichenberger (2003). Conception, characterization and correlation of new marine odorants. *Eur J Org Chem* 19:3735–43.

Arctander, S. (1969). *Perfume and Flavor Chemicals*, 2 vols. Self-published.

Rimkus, G. G., ed. (2004). *Synthetic Musk Fragrances in the Environment*. Springer.

PERFUMES

Aftel, M. (2001). *Essence and Alchemy: A Book of Perfume*. North Point Press.

Turin, L., and T. Sanchez (2008). *Perfumes: The Guide*. Viking.

Calkin, R. R., and J. S. Jellinek. (1994). *Perfumery: Practice and Principles*. Wiley.

Sell, C. (2008). *Understanding Fragrance Chemistry*. Allured.

Sell, C., ed. (2015). *The Chemistry of Fragrances: From Perfumer to Consumer*. Royal Society of Chemistry.

Ohloff, G., P. Kraft, et al. (2012). *Scent and Chemistry: The Molecular World of Odors*. Wiley.

Kapoor, B. (1991). Attars of India— a unique aroma. *Perfumer & Flavorist* 16(1):21–24.

LISTENING TO SMELLS

Aftel, M. (2014). *Fragrant: The Secret Life of Scent*. Riverhead.

Kaiser, R. (2006). *Meaningful Scents around the World: Olfactory, Chemical, Biological, and Cultural Considerations*, 59–64 [agarwood]. Wiley.

Dalby, L. (2009). *East Wind Melts the Ice: A Memoir through the Seasons*. Univ. California Press.

Dalby, L. (n.d.). Incense, http://www.lizadalby.com/LD/TofM_incense.html.

Morita, K. (2006). *The Book of Incense: Enjoying the Traditional Art of Japanese Scents*. Kodansha. Fujii, N., D. Abba, et al. (2007). Prefrontal activity during koh- do incense discrimination. *Neuroscience Res* 59:257–64.

CHAPTER 18. COOKED FOODS

Bachelard, G. (1938). *La Psychanalyse du Feu*. Gallimard.

Trans. A. C. M. Ross (1964), *The Psychoanalysis of Fire*. Beacon.

Wrangham, R. (2009). *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*. Basic Books.

KITCHEN ALCHEMY

Paravisini, L., K. Gourrat- Pernin, et al. (2012). Identification of compounds responsible for the odorant properties of aromatic caramel. *Flavour Fragr J* 27:424–32.

Paravisini, L., C. Septier, et al. (2014). Caramel odor: Contribution of volatile compounds according to their odor qualities to caramel typicality. *Food Res Int* 57:79–88.

Dunkel, A., M. Steinhaus, et al. (2014). Nature's chemical signatures in human olfaction: A foodborne perspective for future biotechnology. *Angewandte Chem Int Ed* 53:7124–7143 [key food odorants].

COOKED BOUQUETS, COOKING METHODS

Belitz, H., W. Grosch, et al. (2009). *Food Chemistry*. Springer.

- Bordiga, M., and L. M. L. Nollet, eds. (2019). *Food Aroma Evolution: During Food Processing, Cooking, and Aging*. CRC Press.
- Fickert, B., and P. Schieberle (1998). Identification of the key odorants in barley malt (caramalt) . . . *Food/ Nahrung* 42(6):371– 75.
- Rahman, M. M., and K.H. Kim (2012). Release of offensive odorants from the combustion of barbecue charcoals. *J Hazardous Materials* 215:233– 42.
- Sung, W.- C. (2013). Volatile constituents detected in smoke condensates from the combination of the smoking ingredients sucrose, black tea leaves, and bread flour. *J Food and Drug Analysis* 21:292– 300.
- Watcharananun, W., K. R. Cadwallader, et al. (2009). Identification of predominant odorants in Thai desserts flavored by smoking with “tian op” . . . *J Agric Food Chem* 57:996– 1005.
- Choe, E., and D. B. Min (2007). Chemistry of deep- fat frying oils. *J Food Sci* 72:R77– 86.
- Thürer, A., and M. Granvogl (2016). Generation of desired aroma- active as well as undesired toxicologically relevant compounds during deep- frying of potatoes. . . . *J Agric Food Chem* 64:9107– 15.
- Piyachaiseth, T., W. Jirapakkul, et al. (2011). Aroma compounds of flash- fried rice. *Kasetsart J Nat Sci* 45:717– 29.
- Liu, T., Z. Liu, et al. (2017). Emission of volatile organic compounds . . . from stir- frying spices. *Sci Total Environ* 599– 600:1614– 21.
- OILS AND FATS**
- Watanabe, K., and Y. Sato (1968). Aliphatic γ - and δ -lactones in meat fats. *Agric Biological Chem* 32: 1318– 24.
- Campestre, C., G. Angelini , et al. (2017). The compounds responsible for the sensory profile in monovarietal virgin olive oils. *Molecules* 22(1833):1– 28.
- Sambanthamurthi, R. (2000). Chemistry and biochemistry of palm oil. *Prog Lipid Res* 39:507– 58.
- Santos, J. E. R., B. J. Villarino, et al. (2011). Analysis of volatile organic compounds in virgin coconut oil. . . . *Philippine J Sci* 140(2):161– 71.
- Delort, E., A. Velluz, et al. (2011). . . . new volatile molecules found in extracts obtained from distinct parts of cooked chicken. *J Agric Food Chem* 59:11752– 63.
- Hwang, L. S., and C.- W. Chen (1994). Volatile compounds of lards from different treatments. In *Lipids in Food Flavors*, ed. C.- T. Ho and T. G. Hartman, 244– 55. American Chemical Society.
- Watanabe, A., Y. Ueda, et al. (2008). Analysis of volatile compounds in beef fat. . . . *J Food Sci* 73:C420– 25.
- Mallia, S., F. Escher, et al. (2008). Aroma- active compounds of butter: A review. *Eur Food Res Technol* 226:315– 25.
- Sarrazin, E., E. Frerot, et al. (2011). Discovery of new lactones in sweet cream butter oil. *J Agric Food Chem* 59:6657– 66.
- Wadodkar, U. R., J. S. Punjrath, et al. (2002). Evaluation of volatile compounds in different types of ghee . . . *J Dairy Res* 69:163– 71.
- MILK, CREAM, EGGS**
- Cadwallader, K. R., and T. K. Singh (2009). Flavours and off- flavours in milk and dairy products. In *Advanced Dairy Chemistry*, ed. P. McSweeney and P. F. Fox, 631– 90. Springer.
- Schütt, J., and P. Schieberle (2017). Quantitation of nine lactones in dairy cream. . . . *J Agric Food Chem* 65:10534– 41.
- Schwendel, B. H., T. J. Wester, et al. (2017). Pasture feeding conventional cows removes differences between organic and conventionally produced milk. *Food Chem* 229:805– 13.
- Kaffarnik, S., Y. Kayademir, et al. (2014). Concentrations of volatile 4- alkyl- branched fatty acids in sheep and goat milk and dairy products. *J Food Sci* 79:C2209– 14.
- Jo, S.- H., K.- H. Kim, et al. (2013). Study of odor from boiled eggs over time using gas chromatography. *Microchemical J* 110:517– 29.

Cerny, C., and R. Guntz (2004). Evaluation of potent odorants in heated egg yolk. . . Eur Food Res Technol 219:452– 54.

MEATS AND MEATINESS

Resconi, V., A. Escudero, et al. (2013). The development of aromas in ruminant meat. *Molecules* 18: 6748– 81.

Nollet, L. M. L., and F. Toldr, eds. (2010). *Sensory Analysis of Foods of Animal Origin*. CRC Press.

Takakura, Y., T. Sakamoto, et al. (2014). Characterization of the key aroma compounds in beef extract. . . *Meat Sci* 97:27– 31.

Mahadevan, K., and L. Farmer (2006). Key odor impact compounds in three yeast extract pastes. *J Agric Food Chem* 54:7242– 50.

Fraser, R., P. O. Brown, et al. (2014). Methods and compositions for affecting the flavor and aroma profile of consumables. WIPO Patent Appl WO20 14110532 A2 [heme].

Rochat, S., and A. Chaintreau (2005). Carbonyl odorants contributing to the in- oven roast beef top note. *J Agric Food Chem* 53:9578– 85.

Tang, W., D. Jiang, et al. (2013). Flavor chemistry of 2- methyl- 3- furanthiol, an intense meaty aroma compound. *J Sulfur Chemistry* 34:38– 47.

Snitkjr, P., M. B. Fr.st, et al. (2010). Flavour development during beef stock reduction. *Food Chem* 122:645– 55.

Zhao, J., M. Wang, et al. (2017). Volatile flavor constituents in the pork broth of black- pig. *Food Chem* 226:51– 60.

Frank, D., P. Watkins, et al. (2016). Impact of brassica and lucerne finishing feeds and intramuscular fat on lamb eating quality and flavor. *Agric Food Chem* 64:6856– 68.

Takakura, Y., M. Mizushima, et al. (2014). Characterization of the key aroma compounds in chicken soup stock . . . *Food Sci Technol Res* 20:109– 13.

Wu, C.- M., and S.- E. Liou (1992). Volatile components of water- boiled duck meat and Cantonese style roasted duck. *J Agric Food Chem* 40:838– 41.

Stra.er S., and P. Schieberle (2014). Characterization of the key aroma compounds in roasted duck liver. . . *Eur Food Res Technol* 238:307– 13.

Neethling, J., L. C. Hoffman, et al. (2016). Factors influencing the flavor of game meat: A review. *Meat Sci* 113:139– 53.

Tansawat, R., C. A. J. Maughan, et al. (2013). Chemical characterization of pasture- and grain- fed beef related to meat quality and flavour attributes. *Int J Food Sci Technol* 48:484– 95.

Fruet, A. P. B., F. Trombetta, et al. (2018). Effects of feeding legume- grass pasture and different concentrate levels on fatty acid profile, volatile compounds, and off- flavor. . . *Meat Sci* 140:112– 18.

Arshamian, A., M. Laska, et al. (2017). A mammalian blood odor component serves as an approach avoidance cue across phylum border— from flies to humans. *Sci Rep* 7:13635.

FISH AND SHELLFISH

Shahidi, F., and K. R. Cadwallader, eds. (1997). *Flavor and Lipid Chemistry of Seafoods*. American Chemical Society.

Nollet, L. M. L., and F. Toldr, eds. (2009). *Handbook of Seafood and Seafood Products Analysis*. CRC Press.

Tamura, T., K. Taniguchi, et al. (2009). Iron is an essential cause of fishy aftertaste formation in wine and seafood pairing. *J Agric Food Chem* 57:8550– 56.

Carrascon, V., A. Escudero, et al. (2014). Characterisation of the key odorants in a squid broth (*Illex argentinus*). *LWT— Food Sci Technol* 57:656– 62.

Selli, S., C. Rannou, et al. (2006). Characterization of aroma- active compounds in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eliciting an off- odor. *J Agric Food Chem* 54:9496– 9502.

Methven, L., M. Tsoukka, et al. (2007). Influence of sulfur amino acids on the volatile and nonvolatile components of cooked salmon. . . *J Agric Food Chem* 55:1427– 36.

VEGETABLES

- Hui, Y. H., ed. (2010). Handbook of Fruit and Vegetable Flavors. CRC Press.
- Zhu, Y., H. J. Klee, et al. (2018). Development and characterization of a high quality plum tomato essence. *Food Chem* 267:337–43.
- Koutidou, M., T. Grauwet, et al. (2017). Impact of processing on odour- active compounds of a mixed tomato- onion puree. *Food Chem* 228:14–25.
- Buttery, R. G., and G. R. Takeoka (2013). Cooked carrot volatiles . . . linden ether as an important aroma component. *J Agric Food Chem* 61:9063–66.
- Blank, I., and P. Schieberle (1993). Analysis of the seasoning- like flavour substances of a commercial lovage extract (*Levisticum officinale* Koch.). *Flavour Fragr J* 8(4):191–95.
- Granvogl, M., M. Christlbauer, et al. (2004). Quantitation of the intense aroma compound 3- mercapto- 2- methylpentan- 1- ol in raw and processed onions . . . *J Agric Food Chem* 52:2797–2802.
- Villi, A., S. Le Roy, et al. (2015). Evaluation of aroma profile differences between su-, sautéed, and pan-fried onions . . . *Flavour* 4:24.
- Yang, P., H. Song, et al. (2019). Characterization of key aroma- active compounds in black garlic . . . *J Agric Food Chem* 67:7926–34.
- Christlbauer, M., and P. Schieberle (2011). Evaluation of the key aroma compounds in beef and pork vegetable gravies . la chef. . . *J Agric Food Chem* 59:13122–30.
- Noe, F., J. Polster, et al. (2017). OR2M3: A highly specific and narrowly tuned human odorant receptor for the sensitive detection of onion key food odorant 3- mercapto- 2- methylpentan- 1- ol. *Chemical Senses* 42:195–210.
- Naef, R., and A. Velluz (2000). The volatile constituents of extracts of cooked spinach leaves. . . *Flavour Fragr J* 15(5):329–34.
- Simian, H., F. Robert, et al. (2004). Identification and synthesis of 2- heptanethiol, a new flavor compound found in bell peppers. *J Agric Food Chem* 52:306–10.
- Ulrich, D., E. Hoberg, et al. (2001). Contribution of volatile compounds to the flavor of cooked asparagus. *Eur Food Res Technol* 213:200–204.
- Starkenmann, C., Y. Niclass, et al. (2019). Occurrence of 2- acetyl- 1- pyrroline and its nonvolatile precursors in celtuce. . . *J Agric Food Chem* 67:11710–17.
- MacLeod, A. J., N. M. Pieris, et al. (1982). Aroma volatiles of *Cynara scolymus* and *Helianthus tuberosus*. *Phytochemistry* 21(7):1647–51.
- Singh, J., and L. Kaur, eds. (2016). *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Elsevier.
- Oruna- Concha, M. J., S. C. Duckham, et al. (2001). Comparison of volatile compounds isolated from the skin and flesh of four potato cultivars after baking. *J Agric Food Chem* 49:2414–21.
- Wang, Y., and S. J. Kays (2001). Effect of cooking method on the aroma constituents of sweet potatoes. . . *J Food Quality* 24:67–78.
- Chung, M.- J., S.- S. Cheng, et al. (2012). Profiling of volatile compounds of *Phyllostachys pubescens* shoots in Taiwan. *Food Chem* 134:1732–37 [bamboo].
- Grosshauser, S., and P. Schieberle (2013). Characterization of the key odorants in pan-fried white mushrooms . . . *J Agric Food Chem* 61:3804–13.
- Li, B., C. Liu, et al. (2019). Effect of boiling time on the contents of flavor and taste in *Lentinus edodes*. *Flavour Fragr J* 34:506–13.
- MacLeod, A. J., and N. G. de Troconis (1983). Aroma volatiles of aubergine. . . *Phytochemistry* 22:2077–79.
- Shu, N., and H. Shen (2012). Identification of odouractive compounds in dried and roasted nori. . . *Flavour Fragr J* 27:157–64.

NUTS, GRAINS, BEANS

- Siegmund, D., and M. Murkovic (2004). Changes in chemical composition of pumpkin seeds during the roasting process. *Food Chem* 84:367–74.
- Zhou, M.K., Robards, et al. (1999). Analysis of volatile compounds and their contribution to

- flavor in cereals. *Agric Food Chem* 47:3941–53.
- Cho, S., and S. J. Kays (2013). Aroma- active compounds of wild rice. . . . *Food Res Int* 54:1463– 70.
- Buttery, R. G., L. C. Ling, et al. (1997). Studies on popcorn aroma and flavor volatiles. *J Agric Food Chem* 45:837– 43.
- Karahadian, C., and K. A. Johnson (1993). Analysis of headspace volatiles and sensory characteristics of fresh corn tortillas made from fresh masa dough. . . . *J Agric Food Chem* 41: 791– 99.
- Buttery, R. G., and L. C. Ling (1998). Additional studies on flavor components of corn tortilla chips. *J Agric Food Chem* 46:2764– 69.
- Pozo- Bayn, M. A., E. Guichard, et al. (2006). Flavor control in baked cereal products. *Food Reviews Int* 22:335– 79.
- Kirchhoff, E., and P. Schieberle (2002). Quantitation of odor- active compounds in rye flour and rye sourdough. . . . *J Agric Food Chem* 50:5378– 85.
- Schoenauer, S., and P. Schieberle (2019). Characterization of the key aroma compounds in the crust of soft pretzels. . . . *J Agric Food Chem* 67:7110– 19.
- Kato, Y. (2005). Influence of butter and/or vegetable oil on flavors of roux prepared from wheat flour and fat/oil. *Food Sci Technol Res* 11:278– 87.
- Mishra, P. K., J. Tripathi, et al. (2019). GC- MS olfactometric characterization of odor active compounds in cooked red kidney beans. . . . *Heliyon* 5:e02459.
- Matsui, K., H. Takemoto, et al. (2018). 1- Octen- 3- ol is formed from its glycoside during processing of soybean seeds. *J Agric Food Chem* 66:7409– 16.
- Morisaki, A., N. Yamada, et al. (2014). Dimethyl sulfide as a source of the seaweed- like aroma in cooked soybeans . . . *J Agric Food Chem* 62:8289– 94.
- Murekatete, N., C. Zhang, et al. (2015). Soft tofu- type gels: Relationship between volatile compounds. . . . *Int J Food Engineering* 11:307– 21.
- FRUITS, SYRUPS, HONEYS*
- Sabarez, H. T., W. E. Price, et al. (2000). Volatile changes during dehydration of d'Agen prunes. *J Agric Food Chem* 48:1838– 42.
- Wang, D., C.- Q. Duan, et al. (2017). Free and glycosidically bound volatile compounds in sun- dried raisins made from different fragrance intensities grape varieties . . . *Food Chem* 228:125– 35.
- Nursten, H. E., and M. L. Woolfe (1972). An examination of the volatile compounds present in cooked Bramley's seedling apples. . . . *J Sci Food Agric* 23:803– 22.
- Lesschaeve, I., D. Langlois, et al. (1991). Volatile compounds in strawberry jam: Influence of cooking on volatiles. *J Food Sci* 56:1393– 98.
- Takei, Y. (1985). Comparison of the aroma of fresh peels or marmalades between several species of citrus fruits. *J Home Econ Japan* 36(10):754– 62.
- Urbanus, B. L., G. O. Cox, et al. (2014). Sensory differences between beet and cane sugar sources . . . *J Food Sci* 79:S1763– 68.
- Kabir, M. A., and Y. Lorjaroenphon (2014). Identification of aroma compounds in coconut sugar. In *Agric Sci. Proceedings of the 52nd Kasetsart Univ Annual Conference* 6:239– 46.
- Franitza, L., M. Granvogl, et al. (2016). Influence of the production process on the key aroma compounds of rum. . . . *J Agric Food Chem* 64:9041– 53.
- Asikin, Y., K. Wada, et al. (2018). Compositions, taste characteristics, volatile profiles, and antioxidant activities of sweet sorghum . . . and sugarcane . . . syrups. *Food Measure* 12:884– 91.
- Perkins, T. D., and A. K. van den Berg (2009). Maple syrup— production, composition, chemistry, and sensory characteristics. *Advances in Food and Nutrition Res* 56:101– 43.
- Zhou, Q., C. L. Wintersteen, et al. (2002). Identification and quantification of aroma- active components that contribute to the distinct malty flavor of buckwheat honey. *J Agric Food Chem* 50:2016– 21.

- Fearnley, L., D. R. Greenwood, et al. (2012). Compositional analysis of manuka honeys. . . Food Chem 132: 948– 53.
- Naef, R., A. Jaquier, et al. (2004). From the linden flower to linden honey . . . Chem & Biodiversity 1:1870– 79.
- Pita- Calvo, C., and M. Vázquez (2017). Differences between honeydew and blossom honeys. Trends Food Sci Technol 59:79– 87.
- PASTRIES, CAKES**
- Gassenmeier, K., and P. Schieberle (1994). Comparison of important odorants in puff-pastries prepared with butter or margarine. LWT— Food Sci Technol 27:282– 88, <https://doi.org/10.1006/fstl.1994.1056>.
- Cepeda- Vázquez, M., B. Rega, et al. (2018). How ingredients influence furan and aroma generation in sponge cake. Food Chem 245:1025– 33.
- Pozo- Bayn, M. A., A. Ruiz- Rodríguez, et al. (2007). Influence of eggs on the aroma composition of a sponge cake and on the aroma release in model studies. . . J Agric Food Chem 55:1418– 26.
- Rega, B., A. Guerard, et al. (2009). . . endogenous aroma compounds released during the baking of a model cake. Food Chem 112:9– 17.
- Ait Ameer, L., B. Rega, et al. (2008). The fate of furfurals and other volatile markers during the baking process of a model cookie. Food Chem 111:758– 63.
- Mohsen, S. M., H. H. M. Fadel, et al. (2009). Effect of substitution of soy protein isolate on aroma volatiles, chemical composition and sensory quality of wheat cookies. Int J Food Sci Technol 44:1705– 12.
- COFFEE, CHOCOLATE**
- Buffo, R. A., and C. Cardelli- Freire (2004). Coffee flavour: An overview. Flavour Fragr J 19:99– 104.
- Sunarharum, W. B., D. J. Williams, et al. (2014). Complexity of coffee flavor. Food Res Int 62:315– 25.
- Aprotosoie, A. C., S. V. Luca, et al. (2016). Flavor chemistry of cocoa and cocoa products— an overview. . . Comp Revs Food Sci Food Safety 15:73– 91.
- Beckett, S. T., M. Fowler, et al., eds. (2017). Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use. Wiley.
- Liu, J., M. Liu, et al. (2015). A comparative study of aroma- active compounds between dark and milk chocolate. . . J Sci Food Agric 95:1362– 72.
- Stewart, A., A. S. Grandison, et al. (2017). Impact of the skim milk powder manufacturing process on the flavor of model white chocolate. J Agric Food Chem 65:1186– 95.
- CHAPTER 19. CURED AND FERMENTED FOODS**
- Feynman, R. P., R. B. Leighton, et al. (1970). The Feynman Lectures on Physics, vol. 1, ch. 3. Addison-Wesley.
- Davidson, A. (1979). North Atlantic Seafood, 368. Macmillan.
- Speth, J. D. (2017). Putrid meat and fish in the Eurasian middle and upper Paleolithic: Are we missing a key part of Neanderthal and modern human diet? PaleoAnthropology 2017:44– 72.
- STALENESS AND RANCIDITY**
- Forss, D. A., E. G. Pont, et al. (1955). . . volatile compounds associated with oxidized flavour in skim milk. J Dairy Res 22:345– 48.
- Czerny, M., and A. Büttner (2009). Odor- active compounds in cardboard. J Agric Food Chem 57: 9979– 84.
- Warner, K., and T. Nelsen (1996). AOCS collaborative study on sensory and volatile compound analyses of vegetable oils. J Am Oil Chem Soc 73:157– 66.
- Shahidi, F., and J. A. John (2013). Oxidative rancidity in nuts. In Improving the Safety and Quality of Nuts, ed. L. J. Harris, 198– 229. Elsevier.
- Barrett, D. M., E. L. Garcia, et al. (2000). Blanch time and cultivar effects on quality of frozen

- and stored corn and broccoli. *J Food Sci* 65:534– 40.
- Asaduzzaman, M., M. Scampicchio, et al. (2020). Methanethiol formation during the photochemical oxidation of methionine-riboflavin system. *Flavour Fragr J* 35:34– 41 [milk].
- Baert, J. J., J. De Clippeleer, et al. (2012). On the origin of free and bound staling aldehydes in beer. *J Agric Food Chem* 60:11449– 72.
- Kerler, J., and W. Grosch (1996). Odorants contributing to warmed- over flavor (WOF) of refrigerated cooked beef. *J Food Sci* 61:1271– 75.
- CURED MEATS, FISH, EGGS*
- Garcia- Gonzalez, D. L., N. Tena, et al. (2008). Relationship between sensory attributes and volatile compounds qualifying dry- cured hams. *Meat Sci* 80:315– 25.
- Song, H., and K. R. Cadwallader (2007). Aroma components of American country ham. *J Food Sci* 73:C29– 35.
- Song, H., K. R. Cadwallader, et al. (2008). Odouractive compounds of Jinhua ham. *Flavour Fragr J* 23:1– 6.
- del Pulgar, J. S., C. Garcia, et al. (2013). Study of the volatile compounds and odor- active compounds of dry- cured Iberian ham extracted by SPME. *Food Sci Technol Int* 19:225– 33.
- Dehaut, A., C. Himber, et al. (2014). Evolution of volatile compounds and biogenic amines throughout the shelf life of marinated and salted anchovies. . . . *J Agric Food Chem* 62:8014– 22.
- Caprino, F., V. M. Moretti, et al. (2008). Fatty acid composition and volatile compounds of caviar from farmed white sturgeon. . . . *Analytica Chimica Acta* 617:139– 47.
- Ganasen, P., S. Benjakul, et al. (2013). Effect of different cations on pidan composition and flavor in comparison to the fresh duck egg. *Korean J for Food Sci of Animal Resources* 33:214– 20.
- TEA*
- Zeng, L., N. Watanabe, et al. (2019). Understanding the biosyntheses and stress response mechanisms of aroma compounds in tea. . . . *Crit Revs Food Sci and Nutrition* 59:2321– 34.
- Feng, Z., Y. Li, et al. (2019). Tea aroma formation from six model manufacturing processes. *Food Chem* 285:347– 54.
- Baba, R., Y. Amano, et al. (2017). Characterization of the potent odorants contributing to the characteristic aroma of matcha. . . . *J Agric Food Chem* 65:2984– 89.
- Yang, Z., E. Kobayashi, et al. (2012). Characterisation of volatile and non- volatile metabolites in etiolated leaves of tea (*Camellia sinensis*) plants in the dark. *Food Chem* 135:2268– 76.
- Kumazawa, K., K. Kubota, et al. (2005). Influence of manufacturing conditions and crop season on the formation of 4- mercapto- 4- methyl- 2- pentanone in Japanese green tea (Sen- cha). *J Agric Food Chem* 53:5390– 96.
- Schuh, C., and P. Schieberle (2006). Characterization of the key aroma compounds in the beverage prepared from Darjeeling black tea. . . . *J Agric Food Chem* 54:916– 24.
- Lu, H- P., Q- S. Zhong, et al. (2012). Aroma characterization of pu- erh tea using headspace- solid phase microextraction combined with GC/MS and GC- olfactometry. *Food Chem* 130:1074– 81.
- Li, Z., C. Feng, et al. (2018). Revealing the influence of microbiota on the quality of pu- erh tea during fermentation process. . . . *Food Microbiol* 76:405– 15.
- SOILED AND SPOILED*
- Sano, K- I., and A. Anraku (2018). Draft genome sequence of *Brevibacillus reuszeri* strain NIT02, isolated from a laundered rental cloth hot towel. *Genome Announc* 6:e01353- 17.
- Adams, R. I., D. S. Lymperopoulou, et al. (2017). Microbes and associated soluble and volatile chemicals on periodically wet household surfaces. *Microbiome* 5:128.

- Takeuchi, K., M. Yabuki, et al. (2013). Review of odorants in human axillary odour and laundry malodour. *Flavour Fragr J* 28:223–30.
- Sperber, W. H., and M. P. Doyle, eds. (2009). *Compendium of the Microbiological Spoilage of Foods and Beverages*. Springer.
- FERMENTATION MICROBES**
- Tamang, J. P., K. Watanabe, et al. (2016). Review: Diversity of microorganisms in global fermented foods and beverages. *Front Microbiol* 7.
- Boiocchi, F., D. Porcellato, et al. (2017). Insect frass in stored cereal products as a potential source of *Lactobacillus sanfranciscensis* for sourdough ecosystem. *J Appl Microbiol* 123:944–55.
- Hittinger, C. T., J. L. Steele, et al. (2018). Diverse yeasts for diverse fermented beverages and foods. *Curr Opin Biotechnol* 49:199–206.
- Bodinaku, I., J. Shaffer, et al. (2019). Rapid phenotypic and metabolomic domestication of wild *Penicillium* molds on cheese. *mBio* 10:e02445–19.
- Gibbons, J. G., L. Salichos, et al. (2012). The evolutionary imprint of domestication on genome variation and function of the filamentous fungus *Aspergillus oryzae*. *Curr Biol* 22:1403–9.
- FERMENTED VEGETABLES**
- Dunlop, F. (2011). Rotten vegetable stalks, stinking bean curd and other Shaoxing delicacies. In *Cured, Fermented and Smoked Foods: Proceedings of the Oxford Symposium on Food and Cookery 2010*, ed. H. Saberi, 84–96. Prospect Books.
- Liu, Y., Z. Miao, et al. (2011). Analysis of volatile flavor components in a simultaneous distillation-extraction extract of fermented amaranthus stem. *J Chinese Inst Food Sci Technol* 11(1):226–32.
- Cheung, H.-M. (2005). Identification of odorous compounds in commercial chaw tofu and evaluation of the quality of model broths during fermentation. MS thesis, Chinese Univ. Hong Kong.
- Paramithiotis, S., ed. (2017). *Lactic Acid Fermentation of Fruits and Vegetables*. CRC Press.
- Sonmezdag, A. S., H. Kelebek, et al. (2019). Characterization of aroma-active compounds, phenolics, and antioxidant properties in fresh and fermented capers. . . . *J Food Sci* 84:2449–57.
- FERMENTED SEED FOODS: BREADS AND BEANS**
- Pozo-Bayn, M. A., I. Andjar-Ortiz, et al. (2010). Application of supercritical CO₂ extraction for the elimination of odorant volatile compounds from winemaking inactive dry yeast preparation. *J Agric Food Chem* 58:3772–78.
- Kirchhoff, E., and P. Schieberle (2002). Quantitation of odor-active compounds in rye flour and rye sourdough. . . . *J Agric Food Chem* 50:5378–85.
- Hatzikamari, M., M. Yiangou, et al. (2007). Changes in numbers and kinds of bacteria during a chickpea submerged fermentation used as a leavening agent for bread production. *Int J Food Microbiol* 116:37–43.
- McGee, H. (2014). The disquieting delights of saltrising bread. *Lucky Peach* 11:16–19.
- Huang, J., Y. Liu, et al. (2018). Characterization of the potent odorants contributing to the characteristic aroma of Beijing douzhi. . . . *J Agric Food Chem* 66:689–94.
- Xie, C., H. Zeng, et al. (2018). Volatile flavour components, microbiota and their correlations in different sufu, a Chinese fermented soybean food. *J Appl Microbiol* 125:1761–73.
- Liu, Y., H. Su, and H.-L. Song (2018). Comparison of four extraction methods . . . for the analysis of flavor compounds in natto. . . . *Food Analysis Methods* 11:343–54.
- McGrath, C. (2018). Up in the air: The emerging science of dust and sandstorm microbes. *Genome Biol Evol* 10(8):2008–9.
- Jelen, H., M. Majcher, et al. (2013). Determination of compounds responsible for tempeh aroma. *Food Chem* 141:459–65.

FERMENTED SEED CONDIMENTS:SOY SAUCE, MISO, JIANG

- Perry, C. (1988). Medieval Near Eastern rotted condiments. In *Taste: Proceedings of the Oxford Symposium on Food and Cookery 1987*, ed. T. Jaine, 169– 77. Prospect Books.
- Huang, H. T. (2000). *Fermentations and Food Science. Science and Civilisation in China*, vol. 6, part 5. Cambridge Univ. Press.
- Feng, Y., G. Su, et al. (2015). Characterisation of aroma profiles of commercial soy sauce. . . . *Food Chem* 167:220– 28.
- Lee, S. M., B. C. Seo, et al. (2006). Volatile compounds in fermented and acid-hydrolyzed soy sauces. *J Food Sci* 71:C146– 56.
- Meng, Q., R. Kitagawa, et al. (2017). Contribution of 2- methyl- 3- furanthiol to the cooked- meat- like aroma of fermented soy sauce. *Biosci Biotech Biochem* 81:168– 72.
- Zhao, J., X. Dai, et al. (2011). Comparison of aroma compounds in naturally fermented and inoculated Chinese soybean pastes. *Food Control* 22: 1008– 13.
- Kumazawa, K., S. Kaneko, et al. (2013). Identification and characterization of volatile components causing the characteristic flavor in miso (Japanese fermented soybean paste) and heat- processed miso products. *J Agric Food Chem* 61:11968– 73.
- Ohata, M., T. Tominaga, et al. (2009). Quantification and odor contribution of 2- furanmethanethiol in different types of fermented soybean paste miso. *J Agric Food Chem* 57:2481– 85. Chen,
- Q- C., Y.- X. Xu, et al. (2011). Aroma impact compounds in Liuyang douchi, a Chinese traditional fermented soya bean product. *Int J Food Sci Technol* 46:1823– 29.
- Li, Z., L. Dong, et al. (2016). Bacterial communities and volatile compounds in doubanjiang. . . . *J Appl Microbiol* 120: 1585– 94.
- Huang, M., Y. Li, et al. (2017). Correlation of volatile compounds and sensory attributes of Chinese traditional sweet fermented flour pastes. . . . *J Chemistry* 2017:1– 8.
- Kang, K.- M., and H.- H. Baek (2014). Aroma quality assessment of Korean fermented red pepper paste (gochujang). . . . *Food Chem* 145:488– 95.

MEATS AND FISH

- Lapsongphon, N., J. Yongsawatdigul, et al. (2015). Identification and characterization of the aromaimpact components of Thai fish sauce. *J Agric Food Chem* 63:2628– 38.
- Giri, A., K. Osako, et al. (2010). Olfactometric characterization of aroma active compounds in fermented fish paste in comparison with fish sauce, fermented soy paste, and sauce products. *Food Res Int* 43: 1027– 40.
- Kleekayai, T., S. Pinitklang, et al. (2016). Volatile components and sensory characteristics of Thai traditional fermented shrimp pastes. . . . *J Food Sci Technol* 53:1399– 1410.
- Amitsuka, T., M. Okamura, et al. (2017). The contri bution of aromatic components in katsuo bushi to preference formation and reinforcement effect. *Biosci Biotech Biochem* 81:1561– 68.
- Ishiguro, K., H. Wakabayashi, et al. (2001). Changes in volatile compounds . . . and evaluation of major aroma constituents of dried bonito (katsuo- bushi). *J Jap Soc for Food Sci Technol* 48:570– 77.
- Skara, T., L. Axelsson, et al. (2015). Fermented and ripened fish products in the northern European countries. *J Ethnic Foods* 2:18– 24.
- Belleggia, L., L. Aquilanti, et al. (2020). Discovering microbiota and volatile compounds of surstr.mming, the traditional Swedish sour herring. *Food Microbiol* 91:103503.
- Blank, I., S. Devaud, et al. (2001). Odor- active compounds of dry- cured meat: Italian- type salami and Parma ham. In *Aroma Active Compounds in Foods*, ed. G. R. Takeoka, M. Güntert, et al., 9– 20. American Chemical Society.

MILK AND CREAM

- Cadwallader, K. R., and T. K. Singh (2009). Flavours and off- flavours in milk and dairy

- products. In *Advanced Dairy Chemistry*, ed. P. McSweeney and P. F. Fox, 631–90. Springer.
- Routray, W., and H. N. Mishra (2011). Scientific and technical aspects of yogurt aroma and taste. *Comp Revs in Food Sci and Food Safety* 10:208–20.
- Shepard, L., R. E. Miracle, et al. (2013). Relating sensory and chemical properties of sour cream to consumer acceptance. *J Dairy Sci* 96:5435–54.
- Mallia, S., F. Escher, et al. (2008). Aroma- active compounds of butter: A review. *Eur Food Res Technol* 226:315–25.
- Triqui, R., and H. Guth (2001). Potent odorants in “smen,” a traditional fermented butter product. *Eur Food Res Technol* 212:292–95.
- CHEESE**
- McSweeney, P. L. H., P. F. Fox, et al., eds. (2017). *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Elsevier.
- Tunick, M. H. (2014). *The Science of Cheese*. Oxford Univ. Press.
- Donnelly, C., ed. (2016). *The Oxford Companion to Cheese*. Oxford Univ. Press.
- Bertuzzi, A. S., P. L. H. McSweeney, et al. (2018). Detection of volatile compounds of cheese and their contribution to the flavor profile. . . . *Comp Revs Food Sci Food Safety* 17:371–90.
- Hannon, J. A., K. N. Kilcawley, et al. (2007). Flavour precursor development in Cheddar cheese due to lactococcal starters and the presence and lysis of *Lactobacillus helveticus*. *Int Dairy J* 17:316–27.
- Brückner, A., and M. Heethoff (2016). Scent of a mite: Origin and chemical characterization of the lemonlike flavor of mite- ripened cheeses. *Exp Appl Acarol* 69:249–61.
- Leal, W. S., Y. Kuwahara, et al. (1989). 2(E) . . . β -Acaridial: A new type of monoterpene from the mold mite *Tyrophagus putrescentiae*. . . . *Agric Biol Chem* 53(3):875–78.
- Waterhouse, A. L., D. W. Jeffery, et al. (2016). *Understanding Wine Chemistry*. Wiley.
- Bakker, J., and R. J. Clarke (2011). *Wine: Flavour Chemistry*. Wiley.
- Peynaud, E. (1987). *The Taste of Wine: The Art and Science of Wine Appreciation*, trans. M. Schuster. Macdonald Orbis.
- Ferreira, V., and R. Lopez (2019). The actual and potential aroma of winemaking grapes. *Biomolecules* 9:818.
- Ferreira, V., A. Escudero, et al. (2007). The chemical foundations of wine aroma— a role game aiming at wine quality, personality, and varietal expression. *Proc 13th Austral Wine Ind Tech Conf*, 1–9.
- Ferreira, V., M. P. Senz- Navajas, et al. (2016). Sensory interactions between six common aroma vectors. . . . *Food Chem* 199:447–56.
- Magyar, I., and J. So. s (2016). Botrytized wines— current perspectives. *Int J Wine Res* 8:29–39.
- Parker, M., D. L. Capone, et al. (2018). Aroma precursors in grapes and wine: Flavor release during wine production and consumption. *J Agric Food Chem* 66:2281–86.
- Becher, P. G., S. Lebreton, et al. (2018). The scent of the fly. *J Chem Ecology* 44:431–35.
- BEERS**
- Oliver, G., ed. (2012). *The Oxford Companion to Beer*. Oxford Univ. Press.
- Bamforth, C. (2009). *Beer: Tap into the Art and Science of Brewing*. Oxford Univ. Press.
- Gallone, B., S. Mertens, et al. (2018). Origins, evolution, domestication, and diversity of *Saccharomyces* beer yeasts. *Curr Opinion Biotechnol* 49:148–55.
- Gonzalez Viejo, C., S. Fuentes, et al. (2019). Chemical characterization of aromas in beer and their effect on consumers liking. *Food Chem* 293:479–85.
- Kishimoto, T., A. Wanikawa, et al. (2006). Comparison of the odor- active compounds in unhopped beer and beers hopped with different hop varieties. *J Agric Food Chem* 54:8855–61.

WINES

- Robinson, J., and J. Harding, eds. (2015). *The Oxford Companion to Wine*. Oxford Univ. Press.

- Olaniran, A. O., L. Hiralal, et al. (2017). Flavouractive volatile compounds in beer: Production, regulation and control. *J Inst Brewing* 123:13–23.
- Spitaels, F., A. D. Wieme, et al. (2015). The microbial diversity... reveals a core microbiota for lambic beer fermentation. *Food Microbiol* 49:23–32.

ASIAN GRAIN ALCOHOLS

- Liu, Y.-C., M.-J. Chen, et al. (2002). Studies on laochao culture filtrate. . . . *Asian Australas J Anim Sci* 15:602–9.
- Yu, H., T. Xie, et al. (2019). Characterization of key aroma compounds in Chinese rice wine. . . . *Food Chem* 293:8–14.
- Chen, S., C. Wang, et al. (2019). Characterization of the key aroma compounds in aged Chinese rice wine. . . . *J Agric Food Chem* 67:4876–84.
- Japan Sake and Shochu Makers Association (2011). *A Comprehensive Guide to Japanese Sake*.
- Mimura, N., A. Isogai, et al. (2014). Gas chromatography/ mass spectrometry– based component profiling and quality prediction for Japanese sake. *J Biosci Bioeng* 118:406–14.
- Isogai, A., H. Utsunomiya, et al. (2005). Changes in the aroma compounds of sake during aging. *J Agric Food Chem* 53:4118–23.

VINEGARS

- Solieri, L., and P. Giudici, eds. (2009). *Vinegars of the World*. Springer.
- Giudici, P., F. Lemmetti, et al. (2015). *Balsamic Vinegars: Tradition, Technology, Trade*. Springer.
- Aurand, L. W., J. A. Singleton, et al. (1966). Volatile components in the vapors of natural and distilled vinegars. *J Food Sci* 31:172–77.
- Corsini, L., R. Castro, et al. (2019). Characterization by gas chromatography-olfactometry of the most odour- active compounds in Italian balsamic vinegars. . . . *Food Chem* 272: 702–8.

- Liang, J., J. Xie, et al. (2016). Aroma constituents in Shanxi aged vinegar before and after aging. *J Agric Food Chem* 64:7597–7605.
- Zhou, Z., S. Liu, et al. (2017). Elucidation of the aroma compositions of Zhenjiang aromatic vinegar. . . . *J Chromatogr A* 1487:218–26.
- Villarreal- Soto, S. A., S. Beaufort, et al. (2018). Understanding kombucha tea fermentation: A review. *J Food Sci* 83:580–88.

DISTILLATES

- Forbes, R. J. (1948). *Short History of the Art of Distillation*. . . . Brill.
- Allchin, F. R. (1979). India: The ancient home of distillation? *Man* 4(1):55–63.
- Watts, V. A., and C. E. Butzke (2003). Analysis of microvolatiles in brandy: Relationship between methylketone concentration and Cognac age. *J Sci Food Agric* 83:1143–49.
- Russell, I., ed. (2003). *Whisky: Technology, Production and Marketing*. Elsevier.
- Poisson, L., and P. Schieberle (2008). Characterization of the most odor- active compounds in an American bourbon whisky. . . . *J Agric Food Chem* 56:5813–19.
- Sakaida, H., N. Nakahara, et al. (2003). Characteristic flavor of buckwheat shochu and comparison of volatile compounds from variety cereal shochu. *J Jap Soc for Food Sci Technol* 50(12):555–62.
- Fang, C., H. Du, et al. (2018). Compositional differences and similarities between typical Chinese baijiu and Western liquor. . . . *Metabolites* 9(2):1–18.
- Zou, W., G. Ye, et al. (2018). Diversity, function, and application of *Clostridium* in Chinese strong flavor baijiu ecosystem. . . . *J Food Sci* 83:1193–99.
- Gonzalez- Robles, I. W., and D. J. Cook (2016). The impact of maturation on concentrations of key odour active compounds which determine the aroma of tequila. *J Inst Brew* 122:369–80.
- Vera- Guzman, A., R. Guzm.n- Ger.nimo, et al. (2018). Volatile compound profiles in mezcal spirits as influenced by agave species. . . . *Beverages* 4:9.

Cardoso, D. R., L. G. Andrade Sobrinho, et al. (2004). A rapid and sensitive method for dimethylsulphide analysis in Brazilian sugar cane sugar spirits. . . . J Braz Chem Soc 15:277– 81.

de Souza, M. D. C. A., P. V. Siqueira, et al. (2006). Characterization of cachaça and rum aroma. J Agric Food Chem 54:485– 88.

Franitz, L., M. Granvogl, et al. (2016). Influence of the production process on the key aroma compounds of rum: From molasses to the spirit. J Agric Food Chem 64:9041– 53.

HEADY FOOTNOTE

Saerens, S. M. G., F. R. Delvaux, et al. (2010). Production and biological function of volatile esters in

Saccharomyces cerevisiae. Microbial Biotechnol 3:165– 77.

Becher, P. G., A. Hagman, et al. (2018). Chemical signaling and insect attraction is a conserved trait in yeasts. Ecol Evol 8:2962– 74.

CONCLUSION: MY SECOND GROUSE

Barwich, A.- S. (2018). Measuring the world: Olfaction as a process model of perception. In *Everything Flows: Towards a Processual Philosophy of Biology*, ed.

D. Nicholson and J. Dupré. Oxford Univ. Press.

Dunlop, F. (2011). Rotten vegetable stalks, stinking bean curd and other Shaoxing delicacies. In *Cured, Fermented and Smoked Foods: Proceedings of the Oxford Symposium on Food and Cookery 2010*, ed. H. Saberi, 92. Prospect Books.

Lorjaroenphon, Y., and K. R. Cadwallader (2015). Identification of character- impact odorants in a cola- flavored carbonated beverage. . . . J Agric Food Chem 63:776– 86.

Romagny, S., G. Coureaud, et al. (2018). Key odorants or key associations? Insights into elemental and configural odour processing. *Flavour Fragr J* 33:97– 105.

SELECTED REFERENCES

Clark, A. J., J. L. Calvillo, et al. (2011). Degradation product emission from historic and modern books. . . . *Analytical and Bioanalytical Chem* 399:3589– 3600.

Bembibre, C., and M. Strlic^{*} (2017). Smell of heritage: A framework for the identification, analysis, and archival of historic odours. *Herit Sci* 5:2, 1– 11.



АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

3D-печать, 429

А

ABCC11 ген, 123–124

aceto balsamico di Modena tradizionale, 583, 584

À la recherche du temps perdu (Proust),
«В поисках утраченного времени» (Пруст), 10

Angel (духи), 480, 480

Aquilaria род, 199–200

Artemisia, 203, 245, 259, 444, 449–450

Aspergillus, 344, 544, 551–552, 559–562, 580–581

В

«Blumen der Luft» (Müller), «Цветки воздуха» (Мюллер), 77

Boswellia, 193, 194

Brettanomyces дрожжи, 344, 365, 365, 572, 579

Brevibacterium, 115, 116, 550

BTEX, 435

С

Clostridium, 555–556

Corynebacterium, 120, 122

Е

Eau Sauvage (духи), 479, 480

Ф

Fäviken, 418

Firmenich, 80–81, 93, 108, 368, 474

Fougère Royal, 478, 479

Fragaria, 160, 308–309, 310, 331

Г

Geruchsprouben (образцы запаха), 92

Givaudan, 93, 121, 192

Н

hoja santa («священный лист»), 179, 261, 261

Homo erectus и sapiens, 407–408, 536

Ж

jamón ibérico de bellota, 540, 540

Jicky (духи), 478–479, 479

К

Kenzo pour Homme (духи), 480, 480

Л

Laugengebäcke (щелочная выпечка), 521

«Le Gousset» (Гюисман), 121–122

М

Maggi-pilz гриб, 356, 356

Р

palo santo («священная древесина»), 200, 446

Penicillium плесневые грибки, 344, 349, 551, 561–562, 566

perflavory.com база данных, 142, 147

Problemata, 55, 91, 92, 119

Propionibacterium, 120, 550

Pseudomonas aeruginosa, 75, 75, 547

Р

Rhizopus плесневые грибки, 344, 551, 557, 580

S

Saccharomyces дрожжи, 362–363, 364, 550, 570, 575, 577–579
 SCOBY (симбиотическая культура бактерий и дрожжей), 585
 Shalimar (духи), 480
 SSDS («синдром внезапной нюхательной смерти»), 434
 Staphylococcus бактерии, 115, 120
 Streptococcus бактерии, 112

T

TDN (триметилдигидронафталин), 420, 571
 Trésor (духи), 480, 480

U

Ulva (морской салат), 401
 Unilever, 93

V

Vitis vinifera, 570

W

White Linen (духи), 480, 480

A

абельмош мускусный, 375
 абельмош съедобный, 408
 абсент, 216
 авамори, 464
 авокадо, 150, 170, 269, 270
 агаровое дерево, 172, 173, 355, 356, 487, 514
 ажгон, 233, 234 и компост, 282; и оксиды азота, 282; экскременты, 72, 73, 74, 75, 81, 83, 94, 272, 434, 478
 аир, 369
 айва, 249, 251
 акация серебристая, 198
 аквакультура, 507
 акролеин, 36, 330, 358, 390, 426
 аланин, 154, 311
 аллилсульфиды, 155

аллицин (диаллилтиосульфат), 226 и винные ароматы, 423; и грибы, 104, 198, 284; и плоды, 121, 124, 126, 155, 160, 249, 271, 277, 367, 429, 466;
 альдегиды зеленой листвы, 250, 256. См. также летучие молекулы зеленой листвы (GLVs)
 амбринол, 373
 аминацетофенон, 78, 155, 159, 229, 257, 396, 399, 402, 411, 412, 413, 416, 446, 451, и моча, 74, 82, 83, 481; и растительный метаболизм, 152; и шоколад, 418; и ферментированные продукты, 8, 422
 ананас, 19, 89, 137, 140, 142, 152, 246, 247, 250, 254, 256, 261, 269, 269, 270, 271, 292, 386, 389, 449, 454, 456
 ананасовый кетон, 271 и животные внутренности, 71;
 андростенон, 97, 98, 109, 111, 373, 399
 анетол, 157, 158, 215, 227, 233, 235, 239
 анис, 137, 156, 158, 171, 189, 198, 210, 212, 213, 215, 216, 222, 227, 233, 234, 235, 239, 241, 250, 288, 378
 анисальдегид, 157, 158, 200, 239, 288, 378, 416
 анисол, 158, 250
 аннато, 240
 антисептики, 324, 332, 342
 анфлераж, 360, 363
 анчоусы, 426, 428
 аонори, 321
 апельсины: горький апельсин, 197, 198, 264, 365; красные апельсины, 264, 265; и эфирные масла, 363
 арабский жасмин, 196, 197
 арбузы, 250, 308
 аргинин, 69
 арманьяк, 462
 артишок, 407, 408
 асафетида, 160, 161, 233, 234
 аскаридол, 217
 астры, 192
 асфальт, 8, 12, 17, 88, 324, 336, 339, 508
 аттар, 360, 382
 ацетальдегид, 35, 36, 59, 105, 179, 281, 297, 330, 347, 358, 388, 392, 397, 410, 415, 419, 425, 426, 437, 446, 450, 452, 460
 ацетилпирролин, 159, 184, 218, 219, 229, 318, 319, 390, 396, 397, 402, 403, 407, 409, 410,

411, 412, 413, 416, 418, 427, 439, 444, 448
 ацетон, 36, 61, 100, 101, 104, 105, 109, 175,
 179, 280, 281, 292, 318, 344, 345, 346, 359,
 410, 415, 432, 436, 460
 ацетофенон, 155, 164, 189, 190, 191, 225, 256,
 345, 447
 ашиот, 240
 аэробы, 48

Б

бабочки, 80, 88, 127, 182, 183, 185, 186
 базилики, 212, 214
 байдзю, 465, 466
 бакелит, 343
 бальзам, 156, 158, 168, 169, 170, 459, 486
 бальзамический уксус, 459, 460
 бальзамы, 167, 169, 486, 487
 бананы, 138, 253, 267
 баранина, 86, 87, 398
 барбарис, 184
 белки: запахи расщепления белков, 67, 69;
 белостом (Lethocerus indicus), 89
 бензиловые кольца, 156
 бензиловые эфиры, 156, 365
 бензойные эфиры, 195
 бензойный спирт, 185
 бензойды/бензойные кольца: и ароматиче-
 ские корни, 495; и клевера, 155, 176, 191; и
 плоды, 121, 124, 126, 155, 160, 249, 271, 277,
 367, 429, 466; бензойны, 173, 177, 194, 195
 бензойная кислота, 156, 168, 176, 355,
 бензолметантиол, 452
 бензпирен (BaP), 348
 бергамот, 150, 263, 266, 267, 365, 366, 380,
 381
 благовония, 169, 172, 354, 356, 391
 бобры, 85, 373, 479
 бобы тонка, 157, 158, 240, 389
 болотистые местности, 299, 300
 бомбикол, 88
 борнеол, 147, 171, 175, 205, 209
 боровик, 279, 286, 288, 289
 боярышник, 184
 бренди, 36, 357, 461, 462, 463
 бром, 303, 306, 308, 319, 322, 323, 348, 506
 бромформ, 307, 321

бромфенолы, 307, 308, 318, 319, 323, 375,
 402, 463
 бульон, 285
 бурачник, 206
 бутан, 57, 59, 337, 339
 бутират, 142, 198, 248, 250, 252, 256, 257,
 259, 265, 270, 396, 432, 441, 444, 447, 457, 463
 бытовые микробы, 431

В

вайсбир, 455
 вакаме, 321
 валериана, 226, 227
 валерианелла колосковая (полевой салат),
 206
 ванилин: и зерна, 126, 203, 366;
 ваниль, 128, 136, 156, 158, 168, 172, 177, 191,
 198, 199, 221, 227, 229, 239, 240, 241, 242,
 252, 271, 272, 331, 355, 357, 366, 374, 378,
 386, 389, 391, 392, 396, 411, 412, 413, 415,
 416, 446, 452, 457, 460, 462, 463, 465, 470,
 474, 498, 502
 ваниль помпона, 240
 васоби, 136, 161, 225, 226, 495
 вермут, 216
 ветивер, 369, 381
 ветчина, 426, 427, 428, 429
 вина: винный лактон, 246, 247, 250, 260, 264,
 265, 266, 451; происхождение, 148, 216, 230,
 241, 244, 267, 276, 280, 428, 487, 499, 504,
 507, 513, 524; винилгваякол, 164, 227, 228,
 229, 295, 331, 407, 409, 411, 412, 413, 452,
 456, 457
 винограды: и винные ароматы, 423; и фрук-
 товые эфиры, 259. См. также вина
 виски, 20, 22, 55, 59, 142, 174, 223, 232, 240,
 292, 322, 323, 324, 375, 403, 415, 418, 450, 452,
 461, 462, 463, 464, 508, 525
 вишни, 156, 174, 231, 235, 487, 499
 вода, 20, 29, 32, 41, 42, 43, 44, 46, 61, 85, 122,
 125, 135, 137, 234, 277, 296, 301, 302, 304,
 305, 306, 313, 323, 335, 349, 359, 360, 361,
 362, 365, 370, 382, 390, 410, 462, 464
 водка, 36, 37, 54, 462
 водорода, 27, 29, 31, 35, 40, 96, 97, 329, 431,
 439

водоросли, 8, 61, 122, 164, 283, 301, 303, 304, 305, 308, 309, 310, 311, 318, 319, 320, 321, 367, 373, 388, 402, 430
водяной кресс, 206, 226
вонючая фасоль, 230
вонючий тофу, 437
вулканы, 41, 42, 43, 44
выпечка, 281, 417, 418

Г

газолин, 34, 56, 59, 60, 158, 292, 337, 339, 340, 342, 363, 448, 449
галогены, 302, 306, 316, 506
гальбан, 283, 367, 368, 375
гарденин, 144, 197, 370
гарум, 443
гваяколы, 99, 295, 331, 332, 335, 358, 369, 373, 391, 416, 444, 452, 453
гвоздика, 137, 151, 154, 156, 158, 171, 173, 193, 195, 200, 201, 210, 213, 214, 216, 217, 227, 229, 237, 238, 239, 240, 252, 259, 268, 295, 331, 391, 407, 409, 411, 412, 413, 416, 419, 439, 442, 452, 456, 457, 460, 462, 463, 465, 470, 498
гвоздика турецкая, 193
гвоздичное дерево, 331
гексан, 59, 337, 344, 345, 346, 347, 362, 363
гексаналь, 79, 138, 139, 173, 223, 230, 232, 250, 252, 256, 257, 259, 260, 264, 268, 270, 310, 311, 314, 318, 321, 345, 388, 392, 393, 394, 396, 405, 411, 413, 414, 425, 426, 427, 428, 430, 432, 454, 474
гексанола, 58, 59, 138, 139, 232, 252, 260, 318, 388, 406, 441, 463
гексеналь: и плоды, 120, 124, 126, 155, 160, 249, 270, 277, 367, 429, 466
гексенола, 138, 191, 192, 206, 225, 252, 256, 260, 289, 310, 314, 317, 318, 430, 437, 438, 454
гелий, 30
гелиотроп, 156, 199, 200, 207
гем, 397, 400
генетика, 113, 500
геосмин, 154, 224, 225, 282, 283, 284, 295, 314, 402, 407, 408, 409, 415, 453
гептанон, 256, 260, 264, 391, 396, 410, 420, 432, 447, 463

гераниаль, 149, 171, 212, 213, 217, 218, 227, 263, 266, 366
гераниацетон, 104, 105, 151, 152, 190, 225, 256, 259, 289, 462
гераниол, 148, 168, 191, 194, 198, 199, 201, 212, 218, 237, 257, 265, 266, 355, 365, 367, 368, 409, 430, 451, 454
герань, 58, 149, 150, 151, 155, 206, 264, 311, 367, 428
геяикор, 277, 297
гиацинты, 195
гидроксиметилгексановая кислота, 112
гидроксиметилфурфурол, 240, 281, 386, 394, 416, 456
гиндзе, 458
гинкго, 123, 125, 271, 272
глицин, 311
глициния, 187, 196
гниль и гниющие запахи: гнилой амарант, 437; запах тухлых яиц, 44; и метантиол 71, 72, 97, 272, 299; и хвойные деревья, 167. (См. также сульфид водорода)
говядина, 17, 72, 399, 400, 406, 426. См. также мясо и мясные запахи
голубые сыры, 447
горение, 28, 326, 327, 328, 329, 332, 347, 358
горец ароматный, 218, 494
гормоны, 81, 144, 181, 309
горох, 159, 230, 407
горчицы, 169, 222, 235, 236, 237, 497
горячие источники, 31, 41, 42, 43, 44, 388
готовка и запахи приготовленных продуктов: выпечка и пирожные, 417; и дым, 328, 462, 341, 353; кофе и шоколад, 418; методы готовки, 228, 390, 404, 515; мясо, 11, 22, 56, 61, 64, 69, 70, 75, 83, 86, 87, 111, 112, 113, 115, 116, 292, 334, 341, 388, 397, 398, 399, 400, 403, 419, 423, 426, 432, 433, 441, 442, 443, 444, 451, 452, 516, 520; овощи, 20, 3467, 73, 92, 94, 98, 99, 101, 116, 159, 160, 161, 174, 175, 204, 205, 206, 223, 226, 236, 247, 248, 259, 261, 279, 309, 367, 384, 387, 388, 397, 403, 407, 408, 409, 410, 411, 425, 426, 433, 436, 437, 438, 449, 495, 517, 522; шляпочные грибы, 278, 279, 280, 285, 286, 409
гречки орехи, 473
гречиха, 416, 460

грибы: и дрожжи, 65, 108, 291, 427, 433, 436, 444; трюфели 278, 279, 280, 285, 290, 291, 292, 293, 388, 504; и хвойные деревья, 167.
См. также шляпочные грибы
грушанка, 137, 154 193, 195, 200, 220, 229, 260, 270, 365, 409
груши, 89, 101, 249, 250, 251, 267
гуава, 89, 155, 156, 161, 248, 269, 270
гуано, 72, 74, 76, 77, 478
гумулен, 150, 151, 164, 175, 192, 219, 220, 240, 258, 454, 462
гумус, 287
гхи, 395

Д

даман, 372
дамаскон, 151, 358
дамасценон, 78, 358, 365, 392, 403, 404, 406, 407, 409, 410, 414, 416, 419, 430, 432, 448, 450, 452, 454, 456, 462, 463, 465
даси, 320, 443
дезинфицирующие средства, 295, 341
дезодоранты, 91, 113
декадиенали, 61, 388, 391, 392, 399, 401, 412, 428
декалактон, 106, 141, 198, 232, 246, 252, 254, 365, 386, 394, 396, 413, 417, 418, 430, 446, 447, 452, 463
декановая кислота, 60, 396
деревенская ветчина, 426
дерево хо, 368
деревья: 230, 232, 496, ; и лишайники, 283, 353, 367; и смолы, 334, 354, 356, 357; со зловонными цветами, 184;
джин, 462
диаллилдисульфид, 405, 437
диатомеи, 303
и винные ароматы, 423
дибром йодметан, 307, 321
дигидроактинидиолид, 151, 259, 289, 358, 430
диктиоптерены, 310, 321
диметиламин, 39, 68
диметилсульфид (DMS):
диметилсульфониопропионат (DMSP), 304
диметокситолоул, 192, 195, 196, 200, 201

динофлагелляты, 303
дистиляция: дистиллированные спиртные напитки, 294, 461, 462;
дитерпеноиды, 166, 357
дождь, 78, 165, 176, 208, 276, 277, 296, 297, 302, 322
доубаньцзян (ферментированная бобовая паста), 442
доучи (ферментированные черные бобы), 442, 523
древесины и древесные запахи; и дым, 328, 341, 353, 462;
древесный уголь, 327, 328, 340, 354, 391, 508.
См. также углерод
дрожжевой экстракт, 398
дрожжи: и винные ароматы, 423; и эфиры, 254, 355, 462, 466
дубовый мох, 367, 381
дульсе, 320, 321
дуриан, 160, 161, 244, 248, 270, 272, 388
душистые вещества: и благовония, 169; знаковые парфюмы, 380; освежители, 347, 353; синтетические летучие молекулы, 378; табак, каннабис, мокса, 356; душистые травы, 88, 124, 146, 147, 1479, 157, 175, 203, 204, 205, 207, 208, 210, 214, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 232, 236, 261, 320, 352, 366, 384, 391, 425, 426, 492, 493, 494. См. также зелень, съедобная
душистый горошек, 193, 194
душистый колосок обыкновенный, 177
дым: и благовония, 169; дымовое загрязнение, 453; копченые продукты, 423, 522, 526
дыни медовые, 315, 316
дыхание, 104–107
дьявольский язык, 215, 216

Е

ежевика, 246, 247, 255, 256, 500
ели, 36, 51, 100, 423

Ж

жасмин, 137, 144, 150, 156, 186, 187, 190, 192, 194, 196, 197, 198, 200, 360, 364, 365, 378, 381
жасмолактон, 144, 198, 365, 400

жасмоноиды, 144, 147, 190, 197, 485
железо, 44, 46, 398, 402, 426, 452
желтое вино, 457, 461
животные запахи: и внутренности, 309;
животные летучие молекулы, 66, 68, 187;
и животные репелленты, См. также запахи
скотного двора; моча; мясо и мясные запахи;
специфические животные жимолость, 151,
193, 194
жирные кислоты: и тропические плоды, 267,
427, 501
жонкилы, 191 жуки, 70, 88, 89, 125, 182, 183,
186

З

загрязнители, 501
запах попкорна, 219
запахи дыхания и рта: и ополаскиватели для
полости рта, 100; запахи скотного двора:
и крезол, 89, 183; и перцы, 235, 237, 497;
зеленые овощи, 159, 367, 407, 408. См. также
зелень, съедобная зеленые чай, 429
земляная груша, 223
зерна, 95, 125, 126, 150, 181, 203, 221, 227,
228, 229, 230, 236, 238, 295, 333, 366, 371,
372, 410, 411, 412, 416, 418, 438, 440, 445,
447, 449, 453, 454, 455, 458, 463, 464, 496,
зерновые спиртные напитки, 453, 456,
зизаэноны, 368, 369
зингиберен, 150, 151, 227, 237
златоглазка, 88
зоопланктон, 305
зубровка душистая, 158, 177, 178, 354, 355,
488

И

излучение, 105, 153
изоляты, 363
изопрен, 100, 150, 151, 178, 179, 281, 343, 488
изопропилметоксипиразин, 205, 230, 283,
367, 430
изотиоцианаты, 161, 206, 225, 236, 230, 407
изюм, 414
икра, 402, 428
имбирь, 22, 127, 145, 146, 147, 149, 151, 221,
222, 226, 227, 242, 470

иммунная система, 114
индейка, 399, 400
инжир, 249, 250, 251, 252, 253, 499
ионы: и морские водоросли, 304, 308; и
тропические плоды, 267, 427, 501;
ископаемые органические вещества, 336, 338.
См. также углеводороды

Й

йогурт, 35, 108, 386, 434, 444, 445, 446
йод, 303, 306, 307, 308, 319, 321, 322

К

кабачок, 200
кадаверин, 67, 69, 70, 78, 100, 101, 108, 437
кала намак (черная соль), 50
калган, 146, 226, 227
календула лекарственная, 192
калон, 379, 380, 381, 382
кальмар, 318, 372, 403
камфора: и ароматические корни, 495;
канталупа, 156, 247, 259
каперсы, 161, 436, 437
капсаицин, 130, 236 и серные летучие моле-
кулы, 94, 116, 158, 440, 485
каракатица, 318
карвакрол, 147, 209, 210, 212, 217, 227, 235
кардамон, 238, 239, 470, 498
карейшу (кожный запах), 105
кариофиллен, 150, 151, 168, 171, 190, 192,
193, 196, 201, 20, 210, 211, 217, 218, 220, 224,
237, 238, 240, 253, 260, 355, 365, 367, 407, 462
каротиноиды, 135
карри, 105, 106, 152, 175, 216, 217, 218, 219,
226, 289, 331, 470, 471, 473, 494,
кассия, 158, 162, 170, 171, 239, 487, 488
кастореум, 370, 373, 374
качим, 193
кашаса, 465
каштановый мед, 159, 411
квашеная капуста, 436, 437, 438
кедр ливанский, 151
кедровые орехи, 231, 425
кервель ажурный, 215
керосин, 217, 337, 338, 339, 340, 360, 451, 509
киви, 245, 256, 500

кимчхи, 436, 437, 438
кислый вкус, 457
кислый хлеб, 411, 434, 435, 438, 439
кишечный микробиом, 94
клевера, 166, 157, 176, 177, 191, 240, 488
кленовый лактон, 415, 416
кленовый сироп, 21, 98, 99, 152, 175, 234, 235, 247, 289, 415,
клубни, 22, 273
клубничный фуранон, 247, 271, 389
клюква, 155, 249, 255, 256
кодзи, 436, 440, 441, 458, 464
кожное сало, 103, 106
козы, 85, 86, 479. См. также козьи молоко и сыры
кокколитофорида, 303
кокосы, 221
кола, 470
колбасы, 426, 433, 434, 435, 436
кольцевые эфиры, 141
комбу, 307, 320, 321
комбуча, 434, 435, 458, 460, 461
кометы, 37, 42
компост, 12, 183, 278, 280, 281, 282, 503
конкреты, 363
коньяк, 184, 294, 463
копал, 355
корабельные запасы, 335
кориандр, 21, 22, 61, 139, 150, 215, 218, 224, 233, 235
корица, 137, 147, 148, 151, 154, 158, 171, 213, 233, 238, 239, 240, 242, 289, 414, 416, 465, 470, 487, 498
коричные кольца, 155
корни и семена: горчицы и перцы, 235, 237, 497; древесные орехи, 230, 232, 496; евроазиатские пряности, 234, 497; корнеплоды, 223, 224;
короткоцепочечные кислоты, 465
корюшки, 314
космополитичные душистые травы, 219, 220, 494
косточковые плоды, 245, 249, 251, 252, 260, 499
костус, 369
кофе, 18, 19, 23, 31, 83, 98, 99, 103, 319, 386, 392, 398, 399, 403, 411, 412, 418, 419, 439,

440, 441, 442, 451, 452, 470
кошачий кетон, 83, 175, 176, 256, 429
кошачья моча, 82, 83, 175, 220, 249, 251
краб, 402
красная фасоль, 413
красные водоросли, 308, 320
крахмалы, 387
креветки, 319, 402
креозот, 334, 339, 341, 509
креозотовый куст, 175, 176
крокусы, 189
кроличий табак, 175, 176
крыжовник, 255, 256, 260
ксантофиллы, 135
ксенобиотики, 92, 349
ксилон, 281, 332, 337, 345, 346, 432
кубенол, 320, 321
кукуруза, 221, 403, 409, 410, 411, 412, 427
кумадин, 177
кумарин, 157, 158, 164, 171, 177, 235, 239, 240, 268, 342, 354, 355, 378, 380, 381, 488
кумаровая кислота, 156
куминальдегид, 147, 148, 233
кунжутное масло, 392
куницы, 84
кураре, 124
курицы, 387, 390, 400
куркума, 151, 222, 226, 227, 470
куропатка, 2, 3, 10, 11, 12, 469, 471, 476
кустарники, 175, 184, 199, 207

Л

лабазник, 191
лабданум, 367, 368, 375, 378
лавр благородный, 146, 147, 148, 150, 170
ладан, 162, 167, 168, 169, 173, 355, 356, 383, 391, 486
лаймы, 262, 263
лакрица, 226
лактон виски, 462
лактоны: жасмолактон, 144, 198, 365, 430
ламбик, 435, 455, 456
ламинарии, 301, 307, 308, 322
ландыш, 191, 379
ланолин, 80, 87
лаозао, 457

левкой, 151, 158, 193,
лентионин, 288
лепешки, 417, 434
лесные запахи, 122
лигнин, 122, 123, 135, 153, 166, 173, 279, 280,
330, 333, 374
лизин, 69
ликвамен, 443
лилейники, 195
лилии, 180, 182, 185, 186, 189, 190, 194, 195,
196, 199, 202, 488, 490
либургский сыр, 483
лимонен, 149, 164, 167, 168, 185, 194, 210,
211, 215, 216, 217, 218, 220, 224, 225, 232,
233, 237, 262, 263, 264, 265, 266, 288, 289,
353, 355, 366, 414, 432, 462
лимонник, 22, 116, 144, 145, 149, 150, 151,
218, 266
лимончелло, 361
лимоны, 127, 262, 263, 378
лиму липоа, 320, 321
линалацетат, 150, 193, 198, 211, 212, 218,
239, 266, 365, 366, 367
липиды, 53, 66, 73, 79, 105, 106, 111, 134, 135,
373, 387, 403, 426, 474
липовое дерево, 194
липовый эфир, 194, 404, 416
лисички, 286, 288
лист киноме, 218
личи, 145, 148, 149, 248, 268, 269, 451, 502
лишайники, 283, 353, 366, 367
лосось, 314, 315, 402,
лотос, 180, 190, 196
лук (род), 17, 34, 83, 110, 112, 115, 116, 137,
160, 161, 219, 220, 225, 226, 233, 234, 248,
272, 272, 287, 288, 292, 299, 398, 399, 403,
404, 405, 406, 427, 437, 448, 452, 463, 484,
485, 495
львиный зев, 192, 193
любисток, 214, 215, 404
лярд, 394

М

магнолия, 199
мадера, 452
мази, 91, 130, 219
маисовая каша, 411
майоран, 146, 147, 151, 209, 210
макроциклические вещества, 370, 376
макроцистис, 321
малина, 151, 152, 158, 247, 248, 255, 256, 386,
456
малиновый кетон, 368, 419, 158, 256
маме мисо, 442
манго, 21, 83, 151, 152, 155, 231, 246, 247,
248, 251, 268, 269, 389, 502
мандарины, 263, 264
маракуйя, 161, 246, 248, 268, 269, 270, 451
марихуана, 146, 151, 357
марципан, 156
марь амброзиевидная, 217
марь вонючая, 159, 175, 176, 487
мастика, 146, 168, 169, 345
маття, 429, 430
махлаб, 234, 244
мацис, 158, 238, 239
мед, 154, 158, 171, 189, 191, 192, 194, 195,
198, 200, 205, 223, 225, 228, 229, 252, 253,
260, 267, 289, 294, 318, 325, 373, 386, 389,
392, 396, 397, 407, 409, 410, 411, 412, 413,
414, 416, 417, 419, 420, 427, 430, 439, 441,
442, 448, 451, 452, 460, 463
мед из мануки, 417
меджу, 436, 440, 442
мелки, 21, 250, 346,
ментатриен, 146, 147, 215
ментентиол, 248, 265
ментол, 100, 101, 128, 129, 130, 145, 147, 148,
208, 209, 210, 211, 353, 357
меркаптометилпентанол (ММП), 406
мертензия приморская, 206, 207, 309
мескаль, 464, 465
металлический запах, 13, 400
метан, 33, 57, 59, 67, 75, 84, 96, 97, 282, 299,
300, 329, 337, 339
метанол, 36, 37, 59, 170, 330, 394, 396, 465,
489
метиламин, 34, 68, 69,
метилантранилат, 154, 158, 159, 198, 200,
245, 246, 253, 254, 257, 258, 365, 378, 416
метилбутанол, 223, 252, 289, 292, 294, 406,
413, 436, 437, 446, 450, 456, 457, 460, 466
метилбутират, 246, 254, 256, 264, 265, 268,

- 427, 439, 465
метилжасмонат, 144, 430
метилизоборнеол (MIB), 283, 314, 315, 402, 432, 453
метилмасляная кислота, 38, 62, 87, 184, 229, 254, 257, 289, 399, 403, 413, 414, 415, 416, 427447, 456, 460, 463
метиловый спирт, 58, 140
метилсалицилат, 129, 130, 154, 193, 195, 200, 220, 260, 365
метилсульфиды, 67, 98, 99, 101, 299, 404, 413, 432
метилтиопентанон, 297
метилтридеканаль, 394, 399, 406, 448
метилфурантиол, 399, 401, 403, 418, 419, 427, 441, 446, 452
метилэвгенол, 157, 158, 171, 193, 213, 215, 216, 233, 240
метиональ, 98, 229, 253, 286, 288, 289, 292, 388, 396, 397, 399, 401, 402, 402, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 411, 413, 415, 418, 418, 426, 427, 428, 435, 436, 439, 441, 442, 444, 446, 448, 452, 456, 457, 460
метоксипиразины, 159, 227, 230, 235, 260, 407, 409, 451, 453
мидии, 311, 315, 318, 403, 507
мильбенкезе, 449
мимоза, 198
мимолет, 448
миндаль, 137, 156, 190, 205, 223, 225, 231, 232, 235, 241, 244, 249, 252, 253, 256, 259, 318, 321, 386, 394, 409, 410, 413, 416
миндаль горький, 156
мирра, 167, 168, 169, 170, 355, 486
миристицин, 158, 171, 215, 224, 239
мирцен, 146, 147, 167, 168, 169, 185, 192, 193, 195, 196, 198, 199, 201, 205, 209, 211, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 237, 253, 254, 262, 263, 264, 266, 268, 270, 335, 355, 358, 365, 366, 367, 404, 414, 420, 454, 462
мисо, 433, 436, 440, 441, 442
митти аттар, 382
мицелий, 279, 291
можжевельник, 150, 151, 166, 167, 381, 462
можжевельник виргинский, 167
мокса, 356, 358
молекулярные чувства, 15
моллюски, 8, 258, 301, 315, 318, 401, 402, 403, 505, 506
моллюски, ракообразные, иглокожие, 8, 301, 507
молния, 327
моноксид углерода, 329
морковь, 164, 403, 404, 406
морская петрушка, 321
морская соль, 319, 507
морские водоросли, 303, 304, 306, 308, 309, 310, 311, 318, 319, 321, 367, 373, 388, 402, 430
морские гребешки, 318, 402, 403
морские ежи, 319
морские птицы, 305
морской салат, 321, 322, 508
мотыльки, 185, 186
моховые розы, 202
моцарелла, 445, 446
мука, 228, 391, 412, 418, 425, 426, 442. См. также зерна
муравьиная кислота, 37, 58, 59, 88, 330, 426
мускатный орех, 150, 158, 171, 215, 224, 238, 239, 470
мускон, 84, 85, 373, 374, 377
мухи, 125, 182, 183, 186, 423
мхи, 123, 125, 127, 162, 164, 165, 283, 323, 485, 486
мягкие деревья с твердой древесиной, 173
мясистые плоды, 126, 243, 244, 271
мята болотная, 148, 211
мята колосистая, 148, 208, 233, 235
мята перечная, 148
мята полевая, 148
мята яблочная, 211
- ## Н
- навоз, 17, 21, 75, 76, 287, 445
нара, 368, 369
нарциссы ложные, 191
настурция, 161
натто, 431, 434, 439, 440
нафталин, 34, 88, 337, 344, 346, 347
нафталиновые шарики, 69, 94, 187
нафты, 339
неандертальцы, 334
нераль, 149, 171, 212, 213, 218, 227, 263, 266,

366, 448
нерол, 148, 149, 194, 201, 265, 365, 381
нероли, 364, 365, 378, 416
неролидол, 151, 171, 190, 191, 199, 250, 430, 437
никотин, 357
нитевидные грибы, 280
нитрофенолы, 297
ногохвостки, 127
ноненаль, 105, 164, 206, 258, 259, 264, 268, 310, 314, 321, 344, 392, 394, 404, 406, 407, 413, 414, 418, 425, 426, 427, 428, 444, 448, 456, 463, 465, 482
нори, 320, 321409, 410
нуткатон, 151, 264, 265, 366, 369
нюхательные соли, 31

О

обонятельные рецепторы, 471
овес, 229
овцы, 85, 86, 87
огонь 26, 27, 325, 326, 327, 328, 331, 335, 349, 352, 384, 385 . См. также дым
огурцы, 258, 308, 309, 433, 500
одеколон, 211, 362, 380, 381
одуванчики, 191
озон, 31, 32, 297, 379
октан, 57, 59, 321, 337, 345
октаналь, 59, 79, 105, 139, 206, 256, 257, 264, 265, 285, 288, 289, 318, 320, 366, 373, 386, 388, 391, 414, 419, 425, 426, 427, 474, октановая кислота, 47, 499
октанон, 168, 285, 287, 288, 292, 344, 446
октенон, 88, 289, 260, 284, 285, 288, 289, 310, 312, 314, 317, 344, 345, 388, 392, 394, 397, 398, 399, 401, 404, 407, 409, 410, 413, 415, 425, 427, 428, 430, 432, 439, 441, 444, 447, 448, 457
окуривание, 356, 383
олени, 81, 272
олибановые кислоты, 168, 355, 486
олибанум, 355
омар, 402
ониха, 373, 374, 375
онсенские яйца, 50
орегано, 146, 147, 207, 209, 210, 217, 226,

235, 493, 494
орхидеи, 199, 489
орхидея каттлея, 200
османтус, 198, 365, 378, 491
осьминог, 318
отвар из майса, 411
очищенные зерна, 410, 411

П

пажитник, 99, 137, 152, 175, 227, 229, 234, 235, 242, 247, 287, 288, 289, 389, 396, 403, 404, 406, 415, 427, 441, 448, 452, 457, 459, 460, 470
палисандр, 368, 380, 381
пальмовое масло, 392
«пальцевый сыр», 107, 139. См. также запахи ног
пандан, 159, 229
папайя, 149, 161, 246, 269, 270
папоротники, 125, 164, 165, 380
парафин, 339
паркия красивая, 230
парусник (бабочка и гусеница), 80
пассерование, 405
патока, 415, 465
пахучка котловникова, 209
пачули, 366, 367, 369, 381
пек, 233, 234, 508
пекан, 231, 232, 497
перегретый вкус (WOF), 426
перекись, 101, 108, 307
перец белый, 237
перец длинный, 237
перец розовый, 237
перец сычуаньский, 237
перец черный, 237
перикон, 216, 217
персики, 106, 251, 393
петигрен, 367
петрикор, 276, 277, 297
петрушка, 146, 158, 204, 215, 224, 321
петунья, 156, 199, 200
печеночники, 127, 164
пимента лекарственная, 269
пиперин, 236. См. также перцы и перечные зерна

пиридины, 357, 358, 376
пирролин, 69, 98, 101, 109, 159, 184, 219, 402, 417, 485
пихты, 17
планктон, 8, 301, 304, 319, 403, 505
плантаны, 268
пластмассы, 306, 342, 343, 344. См. также нефть и нефтехимические вещества
плесень, 65, 285, 435. См. также плесневые грибки
плесневые грибки, 278, 279, 280, 283, 285, 293, 427, 431, 435, 436
плюмерия, 199
подземные топлива, 335
подмаренник душистый, 157, 158
подмышки, 91, 110
полента, 411, 412
полимеры, 343
полициклические вещества, 370, 371, 375
полиэтиленовые бутылки для воды, 344
полынь, 146, 148, 175, 205, 216, 354, 358, 487
полынь калифорнийская, 175
помело, 161, 261, 262, 264, 265
помет выдры, 81
потоотделение, 91. См. также телесные запахи
почвы, 14, 55, 62, 65, 75, 76, 78, 122, 123, 125, 134, 164, 175, 176, 207, 224, 248, 274, 276, 278, 279, 280, 282, 283, 284, 286, 290, 296, 299, 300, 314, 325, 372, 408, 424, 464, 503
приливное дыхание, 179
природные ароматические вещества, 470
природный газ, 32, 57, 299, 329, 336, 337, 338
пробковое загрязнение, 452
пролин, 311
пропан, 57, 59, 337, 339
пропаналь, 35, 36, 59, 419, 425
пропеналь, 36, 39, 170, 392
пропионовая кислота, 54, 58, 67, 300, 330
простой эфир, 57, 157, 158
протухлые запахи, 393
прошутто, 427
птицы, 11, 40, 77, 244, 272, 305, 387, 388, 399, 400, 401, 422, 426
пулегон, 148, 172, 173, 209, 210, 211, 355
пурины, 94
путресцин, 67, 68, 70, 78, 94, 100, 108, 109

пшеница, 221, 228, 229, 234, 411, 460

Р

рагу, 14, 70, 171, 207, 284, 318, 320, 403, 405, 406, 408, 412, 426
радиккьо, 205
разложение, 18, 70, 236, 281, 322, 423, 433, 478
разнотравье, 178
ракообразные, 8, 301, 311, 318, 319, 401, 402, 507
рансьо, 462, 463
растворители краски, 166
растение карри, 216, 217
рвота, 59, 61, 73, 94, 101, 143, 272, 300, 434, 444
редис, 161, 225, 270
репелленты, 81, 84
репродуктивные стратегии, 126
рис, 98, 159, 218, 221, 229, 389, 407, 410, 411, 426, 440, 457, 458, 460, 463
рисовые вина, 456, 457, 463
рожь, 228, 229, 234, 388
розмарин, 147, 151, 207, 208, 209, 210
ромашка, 192, 198, 199
ромашка пахучая, 198, 199
ромы, 465
ротундон, 150, 151, 168, 201, 209, 236, 237, 355, 451
ру, 122, 174, 334, 412, 413
рукола, 158, 161, 206
руно, 85, 86, 87, 111, 116

С

саке, 456, 457, 458, 472, 473
сальные железы, 87, 103
салями, 31, 434, 443, 444
самшит вечнозеленый, 175
сандаловое дерево, 137, 151, 172, 173, 355, 367, 372, 380, 381, 391, 487
сансе, 218
сантаалолы, 150, 151, 172, 355, 367, 391
саншоолы, 237
сассифрас, 158, 171, 239
сафраналь, 151, 152, 196, 235, 407

сафрол, 157, 158, 166, 171, 217, 239
сахара, 27, 53, 94, 107, 111, 132, 134, 135, 136, 137, 152, 267, 268, 279, 280, 294, 320, 387, 388, 395, 409, 414, 415, 417, 418, 419, 420, 421, 436, 438, 439, 442, 449, 454, 457, 465
свинина, 398, 399, 406, 443
связноплодник вонючий, 184
секвойи, 123, 166, 171
сельдерей, 206, 214, 215, 224, 226, 233, 403, 404, 406
сельскохозяйственный ром, 465
семена 83, 105, 121, 125, 126, 140, 157, 163, 182, 207, 212, 221, 222, 223, 225, 227, 228, 229, 230, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 244, 249, 261, 271, 272, 274. 285, 327, 360, 361, 375, 393, 400, 410, 411, 413, 416, 418, 421, 495. См. корни и семена
семечковые плоды, 249, 499
сетю, 463, 464
симбиотические отношения, 115, 290
синеголовник пахучий, 215
синтетические мускусы, 377, 381
сирингол, 331, 333, 430
сисо, 210
скипидар, 129, 144, 146, 164, 166, 167, 175, 209, 210, 212, 217, 224, 227, 232, 233, 237, 263, 264, 333, 335, 337, 338, 340, 345, 366, 378, 508
сладкие запахи, 120, 125, 174, 202, 390, 483. См. также сахара
сладкий картофель, 221, 223
сливки, 386, 393, 395, 396, 432, 445, 446, сливы, 251, 414
слюна, 100, 102. См. также запахи дыхания и рта
смен, 445, 446
сметана, 44, 445, 446
смог, 173, 298, 326. См. также атмосферные характеристики
смолы, 129, 153, 155, 156, 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 261, 324, 325, 326, 333, 334, 335, 339, 340, 341, 347, 348, 349, 350, 354, 355, 356, 357, 367, 368, 372, 376, 486
снятое молоко, 446
соевые бобы, 230, 280, 413, 439, 441, 442, соевые соусы, 441
соленость, 26, 402, 403

сорго, 149, 150, 151, 415, 459, 460, 461, 464, 465
спаржа, 98, 159, 407, 408
спаржевый салат, 407, 408
сперма, 69, 101, 108, 109, 184
стирол, 168, 332, 337, 341, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 355, 462
столетние яйца, 428
стрептомицеты, 278, 280, 283, 296
субтропические и тропические плоды, 267
сульфаны, 298, 299, 452
сульфаты, 46
сульфид железа, 50
сульфинаты, 160, 161
суфу, 439, 440
сушеные душистые травы, 425, 426
суши, 121, 122, 123, 147, 153, 179, 210, 225, 276, 280, 301, 302, 304, 306, 320, 324, 409
сырные клещи, 449
сырое молоко, 433, 445
сыры с отмытой корочкой, 1107, 434
сэнтя, 429, 430
сюрстремминг, 422, 434, 443, 444

Т

табак, 34, 175, 176, 235, 259, 281, 356, 357, 359, 373, 375, 378, 393
тангор, 265
тархун, 148, 158, 178, 210, 212, 213, 215, 216, 217, 378
таурин, 311, 320
текила, 461, 464, 465
темпе, 279, 288, 333, 354, 388, 390, 405, 418, 436, 438, 439, 440
терпены, 145, 164, 169. См. также терпеноиды
тимьян, 128, 137, 146, 147, 207, 208, 212, 213, 216, 217, 227, 233, 263, 266
тинктуры, 363
тиоцианаты, 159, 160, 237. См. также изотиоцианаты
тмин, 147, 148, 212, 215, 222, 233
тминный карвон, 148, 212, 215, 233
толуол, 232, 237, 250, 281, 332, 337, 341, 344, 345, 346, 347, 348, 358, 392, 410, 432, 462
томатильо, 260

томаты, 17, 250, 259, 260
топинамбур, 223
топлива, 26, 28, 34, 36, 47, 57, 74, 323, 324, 328, 332, 335, 336, 337, 339, 354. См. также растворители и напоминающие растворители запахи
тофу, 413, 414, 437, 439
травы, 21, 47, 88, 121, 124, 125, 127, 136, 146, 147, 149, 157, 160, 162, 163, 175, 176, 177, 179, 203, 204, 207, 208, 209, 210, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 224, 228, 229, 230, 232, 234, 236, 261, 320, 324, 327, 352, 353, 355, 360, 363, 366, 369, 384, 391, 393, 409, 410, 425, 426, 485
треска, 312, 313, 402
триметиламин (ТМА), 68, 69, 70, 73, 78, 98, 99, 108, 109, 175, 183, 184, 312, 397, 428, 443, 444
триметоксибензол, 190, 196, 200, 201, 202
триптофан, 68, 411
трубочисты, 348
трупный цветок (аморфофаллус титанический), 183, 184
трюфели, 278, 279, 285, 290, 291, 292, 293, 388, 504
тубероза, 154, 159, 187, 199, 200, 365
туйон, 146, 167, 175, 205, 209, 216, 355
туя складчатая, 166, 167
тыквы, 199, 258, 409
тюльпаны, 195
тяньманыцзян (ферментированная пшеничная паста), 442

У

углеводороды, 33, 53, 56, 57, 59, 91, 106, 145, 342, 346. См. также ископаемые органические вещества
углеводы, 53, 66, 73, 93, 94, 100, 333
углеродные кольца, 73, 92, 153, 326, 343, 389
укроп, 146, 148, 158, 215, 215, 233
укропный эфир, 147, 148, 215, 416
уксуснокислые бактерии, 434, 456
ультрафиолетовое излучение, 153
умами, 320
умбеллулон, 147, 148, 171
устойчивый крахмал, 94

устрицы, 207, 301, 308, 315, 316, 317, 403
утиные яйца, 428

Ф

фарнезен, 151, 192, 194, 195, 197, 199, 200, 220, 250, 365
фейхоа, 269, 270
фенилаланин, 153, 154
фенилацетальдегид, 154, 155, 189, 192, 195, 198, 200, 205, 223, 228, 229, 252, 253, 259, 260, 268, 289, 318, 389, 392, 396, 407, 409, 410, 412, 413, 414, 417, 420, 427, 430, 439, 440, 441, 442, 446, 448, 452, 460, 463
фенилуксусная кислота, 38, 39, 154, 229, 289, 396, 416, 420, 427
фенилэтиламин, 159
фенхель, 146, 148, 158, 214, 215, 233, 234, 378, 470
фенхон, 147, 148, 193, 215, 233
фиалки, 136, 150, 191, 367, 369, 378, 379, 380
финики, 267
фисташки, 145, 231, 334
фитопланктон, 304, 308, 309, 315, 322
формальдегид, 35, 36, 59, 285, 330, 343, 344, 345, 347, 356, 358, 392
формиат, 142, 241
фрезия, 199
фталиды, 214, 215, 224, 233, 404
фуужеры, 380
фундук, 231, 232
фуранеол, 99, 152, 227, 229, 246, 247, 253, 254, 256, 257, 259, 260, 268, 269, 270, 292, 389, 394, 396, 399, 403, 404, 405, 406, 409, 413, 414, 415, 418, 419, 420, 427, 430, 447, 448, 452, 456, 463
фуранон соевого соуса, 441, 442, 452
фурфурол, 173, 174, 281, 330, 355, 358, 386, 389, 405, 40, 410, 413, 414, 415, 418, 441, 442, 460, 474

Х

хаукартль, 312, 443
хвойные деревья, 123, 125, 146, 165, 166, 167, 178, 261
хвощи, 124, 164, 165

хирацеум, 373, 374
хищники, 74
хлеба, 279, 411, 413, 438, 453,
хлор, 176, 302, 305, 306, 307, 348
хлорид натрия, 31, 50, 302. См. также соли
хлорофилл, 47, 357. См. также фотосинтез
хлороформ, 176, 307, 321, 344, 345
хмель, 83, 151, 161, 219, 220, 454, 455
хрен, 136, 161, 206, 225, 226, 291, 292
хуакатай, 216, 217

Ц

целлюлоза, 135, 430, 474
цельные зерна, 228, 411
церемониальные масла, 85
цианид, 49, 124, 156, 158, 231
цианид водорода, 178, 303
цибетон, 84, 85, 373, 377
циветы, 84, 85
цимен, 172, 192, 209, 212, 217, 233, 235, 263
цинеол, 128, 147, 148, 172, 192, 193
циннамальдегид, 155, 170, 171, 239, 378, 416
цитрон, 261, 262, 263, 264
цитронелла, 218, 227, 366, 367
цитронеллаль, 149, 218, 237, 265, 266, 268, 367
цитронеллол, 88, 147, 149, 190, 194, 201, 206, 218, 257, 363, 364, 367

Ч

чабер горный, 209, 210
чабер садовый, 147, 209, 210
чай, 19, 101, 124, 150, 157, 194, 196, 201, 217, 235, 256, 378, 391, 429, 430, 461, 473
черная соль, 19, 49, 50
чернобыльник, 175, 205, 358
чернослив, 414
чернушка, 235
черные чаи, 431
черный чеснок, 405
черствость, 424
чу, 15, 436, 437, 440, 454, 457, 459, 464

Ш

шалфей, 146, 148, 150, 175, 207, 209, 210, 216, 354, 355, 358, 366, 367, 381
шалфей мускатный, 366, 367, 381
шафран, 137, 151, 189, 221, 234, 235, 370, 392
швейцарский сыр, 54, 447
шиитаке, 279, 287, 288, 299
шиповник французский, 201
шипр, 367
шлейф, 471
шоколад, 330, 418, 419, 421
шпинат, 206, 283, 407

Э

эвгенол, 99, 101, 157, 158, 171, 173, 192, 193, 195, 197, 200, 201, 210, 213, 217, 227, 237, 238, 239, 240, 252, 259, 268, 331, 391, 407, 409, 416, 439, 452, 462, 463
эвкалипт, 128, 146, 148, 149, 150, 151, 171, 172, 175, 205, 209, 211, 212, 213, 217, 218, 225, 227, 237, 238, 239, 265, 269, 355, 366
эвригалинные рыбы, 314, 315
эглантирия, 202
экскременты, 64, 72, 73, 74, 75, 81, 83, 94, 272, 434, 478
экстремофилы, 44
эктокарпены, 310
эмменталь, 55, 59, 447, 448
эндивий, 205
эрингиум пахучий, 215
эрука, 206
эстрагол, 157, 158, 171, 210, 213, 215, 216, 227, 233, 250
этилацетат, 232, 246, 251, 252, 254, 256, 257, 259, 294, 344, 345, 346, 413, 414, 432, 436, 437, 444, 447, 457, 460, 462, 466
этилбутират, 246, 252, 254, 256, 259, 264, 268, 270, 292, 444, 448, 450, 456, 457, 462, 465
этилдекадиеноат, 140, 246, 257
этилметилбутират, 246, 251, 253, 256, 259, 264, 270, 272, 273, 289, 392, 427, 442, 450, 460, 462, 465
этилоктановая кислота, 112, 396, 399
этипиразины, 159, 289, 430
этилсульфанилэтанттиол, 248, 272
эфтазимо, 439

Ю

юдзу, 246, 247, 248, 262, 263, 266

Я

яблоки, 16, 101, 133, 138, 249, 250, 261, 286

яблочный уксус, 460

ягнятина, 85, 86, 87, 116, 398, 399

яйца, 19, 26, 31, 39, 49, 50, 51, 70, 183, 184,
295, 395, 397, 417, 418, 423, 426, 428

янтарный нафтофуран, 358, 367, 368, 373,
375, 377, 378

ячмень, 229, 453, 463

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Издание для досуга

ЛЕГЕНДАРНЫЕ КУЛИНАРНЫЕ КНИГИ

Магги Гарольд

О ЗАПАХАХ И АРОМАТАХ В КУЛИНАРИИ И НЕ ТОЛЬКО ОТКУДА ВОЗНИКАЮТ СТРАННЫЕ, ПЬЯНЯЩИЕ, УЖАСНЫЕ И ПРЕКРАСНЫЕ ЗАПАХИ

Ответственный редактор *Е. Левашева*
Научная редакция *С. Зейналовой*
Компьютерная верстка *Е. Комиссаровой*
Художественный редактор *М. Клава-Янат*

Страна происхождения: Российская Федерация
Шығарушы ел: Ресей Федерациясы

ООО «Издательство «Эксмо»

123308, Россия, г. Москва, ул. Зорге, д. 1, стр. 1, эт. 20, каб. 2013. Тел.: 8 (495) 411-68-86.

Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru

Өндіруші: «Издательство «Эксмо» ЖШҚ

123308, Ресей, Мәскеу қаласы, Зорге көшесі, 1-үй, 1-құрылыс, 20 қабат, 2013-каб.

Тел.: 8 (495) 411-68-86. Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru.

Tayyar belgici: «Эксмо»

Интернет-магазин: www.book24.ru

Интернет-магазин: www.book24.kz

Интернет-дуken: www.book24.kz

Импортёр в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».

Қазақстан Республикасына импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.

Дистрибьютор и представитель по приему претензий на продукцию
в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»

ТОО РДЦ Алматы, Алматы, ул. Домбровского, 3-а, литер Б, офис 1.

Дистрибьютор және Қазақстан Республикасында өнімге шағымдар
қабылдау жөніндегі өкіл: «РДЦ-Алматы» ЖШС.

Алматы қ., Домбровский көш., 3 «а», литер Б, офис 1.

Тел.: 8 (727) 251-59-90/91/92. E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ
о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо»:
www.eksmo.ru/certification

Техникалық реттеу туралы РФ заңнамасына сай басылымның сайкестігін растау
туралы мәліметтерді мына адрес бойынша алуға болады: <http://eksmo.ru/certification/>

Произведено в Российской Федерации

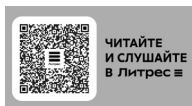
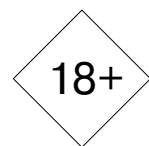
Ресей Федерациясында өндірілген

Сертификаттауға жатпайды

Дата изготовления / Подписано в печать 20.10.2025. Формат 70x100¹/₁₆.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 44,07.

Тираж экз. Заказ



ЧИТАЙТЕ
И СЛУШАЙТЕ
В Литрес



КНИГИ, КОТОРЫЕ ДЕЛАЮТ ЖИЗНЬ ВКУСНЕЕ

breadsalt.publisher

ISBN 978-5-04-195033-0



9 785041 950330 >



eksmo.ru

Официальный
интернет-магазин
издательства «Эксмо»



Хочешь стать
автором «Эксмо»?



ТЕРИТОРИЯ
КНИЖНЫЙ МАГАЗИН

Официальная франшиза
издательства «Эксмо»

Москва. ООО «Торговый Дом «Эксмо»

Адрес: 123308, г. Москва, ул. Зорге, д.1, строение 1.
Телефон: +7 (495) 411-50-74. **E-mail:** reception@eksmo-sale.ru

По вопросам приобретения книг «Эксмо» зарубежными оптовыми покупателями обращаться в отдел зарубежных продаж ТД «Эксмо»
E-mail: international@eksmo-sale.ru

*International Sales: International wholesale customers should contact
Foreign Sales Department of Trading House «Eksmo» for their orders.*
international@eksmo-sale.ru

По вопросам заказа книг корпоративным клиентам, в том числе в специальном оформлении, обращаться по тел.: +7 (495) 411-68-59, доб. 2151.
E-mail: borodkin.da@eksmo.ru

Оптовая торговля бумажно-беловыми
и канцелярскими товарами для школы и офиса «Канц-Эксмо»:
Компания «Канц-Эксмо»: 142702, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное-2,
Белокаменное ш., д. 1, а/я 5. Тел./факс: +7 (495) 745-28-87 (многоканальный).
e-mail: kanc@eksmo-sale.ru, сайт: **www.kanc-eksmo.ru**

Филиал «Торгового Дома «Эксмо» в Нижнем Новгороде

Адрес: 603094, г. Нижний Новгород, улица Карпинского, д. 29, бизнес-парк «Грин Плаза»
Телефон: +7 (831) 216-15-91 (92, 93, 94). **E-mail:** reception@eksmonn.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Санкт-Петербурге

Адрес: 192029, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской обороны, д. 84, лит. «Е»
Телефон: +7 (812) 365-46-03 / 04. **E-mail:** server@szko.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Екатеринбурге

Адрес: 620024, г. Екатеринбург, ул. Новинская, д. 2ш
Телефон: +7 (343) 272-72-01 (02/03/04/05/06/08)

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Самаре

Адрес: 443052, г. Самара, пр-т Кирова, д. 75/1, лит. «Е»
Телефон: +7 (846) 207-55-50. **E-mail:** RDC-samara@mail.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Ростове-на-Дону

Адрес: 344023, г. Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов, 44А
Телефон: +7(863) 303-62-10. **E-mail:** info@rnd.eksmo.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Новосибирске

Адрес: 630015, г. Новосибирск, Комбинатский пер., д. 3
Телефон: +7(383) 289-91-42. **E-mail:** eksmo-nsk@yandex.ru

Обособленное подразделение в г. Хабаровске

Фактический адрес: 680000, г. Хабаровск, ул. Фрунзе, 22, оф. 703
Почтовый адрес: 680020, г. Хабаровск, А/Я 1006
Телефон: (4212) 910-120, 910-211. **E-mail:** eksmo-khv@mail.ru

Республика Беларусь: ООО «ЭКСМО АСТ Си энд Си»

Центр оптово-розничных продаж Cash&Carry в г. Минске
Адрес: 220014, Республика Беларусь, г. Минск, проспект Жукова, 44, пом. 1-17, ТЦ «Outleto»
Телефон: +375 17 251-40-23; +375 44 581-81-92
Режим работы: с 10.00 до 22.00. **E-mail:** exmoast@yandex.by

Казахстан: «РДЦ Алматы»

Адрес: 050039, г. Алматы, ул. Домбровского, 3А
Телефон: +7 (727) 251-58-12, 251-59-90 (91,92,99). **E-mail:** RDC-Almaty@eksmo.kz

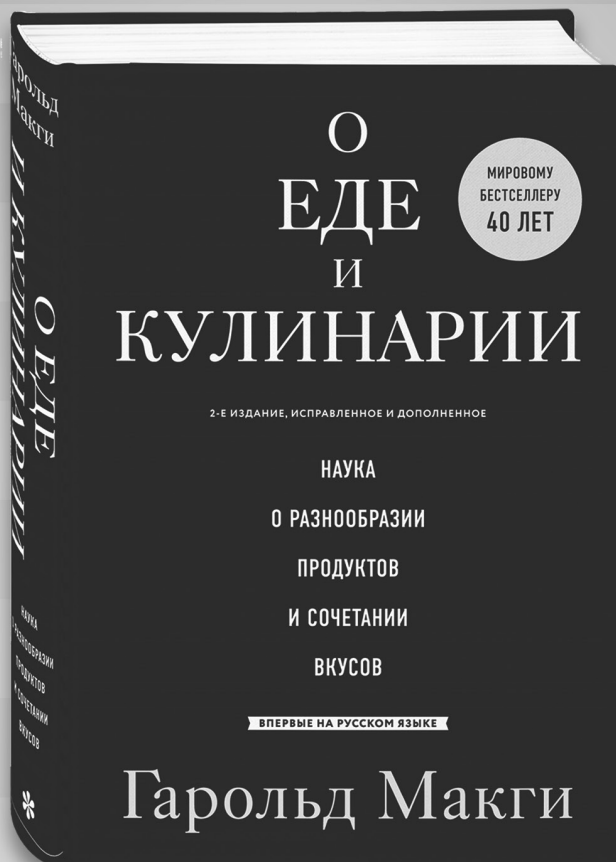
Полный ассортимент продукции ООО «Издательство «Эксмо» можно приобрести в книжных магазинах «Читай-город» и заказать в интернет-магазине: www.chitai-gorod.ru.

Телефон единой справочной службы: 8 (800) 444-8-444. Звонок по России бесплатный.

Интернет-магазин ООО «Издательство «Эксмо»

www.eksmo.ru

Розничная продажа книг с доставкой по всему миру.
Тел.: +7 (495) 745-89-14. **E-mail: imarket@eksmo-sale.ru**



О ЕДЕ И КУЛИНАРИИ

«Наука о разнообразии продуктов и сочетании вкусов» – бесценный и монументальный сборник основной информации об ингредиентах, методах приготовления и удовольствии от еды.

Здесь вы найдете 15 глав, посвященных известным продуктам, в которых подробно разобраны различные аспекты кулинарии; приложения и литературу, которые помогут лучше разобраться в заинтересовавшей вас теме. Хотя о кулинарии написано великое множество книг, книга Гарольда Макги остается непревзойденной по точности, ясности и тщательности объяснений, а также по интригующему способу, которым наука сочетается с исторической эволюцией пищевых продуктов и методов приготовления.

хлеб*соль

КНИГИ, КОТОРЫЕ ДЕЛАЮТ ЖИЗНЬ ВКУСНЕЕ

ГАРОЛЬД МАКГИ, лауреат премии Джеймса Берда и ведущий эксперт в области науки о еде и кулинарии, представляет обширное исследование давно забытого мира запахов.

ЗАПАХИ В КНИГЕ КЛАССИФИЦИРОВАНЫ ПЯТЬЮ РАЗНОВИДНОСТЯМИ:

- простейшие запахи;
- животные запахи, сообщающие такие качества, как зависимость, подвижность;
- запахи наземных растений, транслирующие независимость, неподвижность, виртуозность;
- запахи воды, суши, жизни после смерти;
- избранные запахи.

«Я написал эту книгу, чтобы поделиться тем, что я узнал: указать, как погрузиться в запахи, которые можно заметить, и поведать о том, что эти запахи могут сообщить о своем происхождении, о структуре мира, которую невозможно почуять никаким иным образом. Не только пища, питье и розы, но также компост и мокрые цветочные горшки, асфальт и ноутбуки, старые книги и собачьи лапы, несметное множество бытовых объектов заполняют нашу жизнь. Вокруг нас богатый мир ощущений и значений, неосязаемый, невидимый и мимолетный, но насыщенный и реальный».

ХЛЕБ*СОЛЬ
КНИГИ, КОТОРЫЕ ДЕЛАЮТ ЖИЗНЬ ВКУСНЕЕ

СДЕЛАНО В БОМБОРЕ

ISBN 978-5-04-195033-0



9 785041 950330 >

НЕЗАКОННОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ НАРКОТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ,
ПСИХОТРОПНЫХ ВЕЩЕСТВ, ИХ АНАЛОГОВ ПРИЧИНЯЕТ ВРЕД
ЗДОРОВЬЮ, ИХ НЕЗАКОННЫЙ ОБОРОТ ЗАПРЕЩЕН И ВЛЕЧЕТ
УСТАНОВЛЕННУЮ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВОМ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ