

В. И. Артамонов

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ



ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ  
ФИЗИОЛОГИЯ  
РАСТЕНИЙ





В. И. Артамонов

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ



МОСКВА ВО «АГРОПРОМИЗДАТ» 1991

---

ББК 28.57

А86

УДК 581.1

Редактор М. И. НИКИФОРОВА

**Артамонов В. И.**

А86 Занимательная физиология растений. — М.: Агропромиздат, 1991. — 336 с.: ил.

ISBN 5—10—001829—1

Почему растения цветут в определенное время года? Когда и почему у них повышается температура? Как они «воюют» друг с другом? Почему музыка стимулирует их рост?

Ключ к разгадке этих и других секретов — в механизме физиологических процессов, протекающих в растительных организмах. О них в увлекательной форме и рассказывается в книге.

Для широкого круга читателей.

А  $\frac{3704010000-057}{035(01)-91}$  33—90

ББК 28.57

**АРТАМОНОВ ВАДИМ ИВАНОВИЧ**

**ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ**

Зав. редакцией Т. С. Микаэльян

Художник А. В. Шершук

Художественный редактор Е. Г. Прибегина

Технический редактор Н. В. Суржева

Корректор М. Д. Писарева

ИБ № 6857

Сдано в набор 30.01.90. Подписано к печати 18.10.90. Формат 84 × 108<sup>1/32</sup>. Бумага офсетная № 1. Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,64. Усл. кр.-отт. 70,56. Уч.-изд. л. 19,29. Изд. № 436. Тираж 50 000 экз. Заказ № 805. Цена 2 р. 30 к.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО «Агропромиздат», 107807, ГСП-6, Москва, Б-78, ул. Садовая-Спаская, 18.

Ярославский полиграфкомбинат Госкомпечати СССР. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

ISBN 5—10—001829—1

© В. И. Артамонов, 1991

Растение из воздуха образует органическое вещество, из солнечного луча — запас силы. Оно представляет нам именно ту машину, которую обещают в будущем Мушо и Эриксон, — машину, действующую даровою силою солнца. Этим объясняется прибыльность труда земледельца: затратив сравнительно небольшое количество вещества, удобрений, он получает большие массы органического вещества; затратив немного силы, он получает громадный запас силы в виде топлива и пищи. Сельский хозяин сжигает лес, стравливает луг, продает хлеб, и они снова возвращаются к нему в виде воздуха, который при действии солнечного луча вновь принимает форму леса, луга, хлеба. При содействии растения он превращает не имеющие цены воздух и свет в ценности. Он торгует воздухом и светом.

**К. А. Тимирязев**

## К ЧИТАТЕЛЮ

Воскресный зимний день 1876 года. Большая аудитория Музея прикладных знаний (ныне Политехнический музей) переполнена. Здесь гимназисты и студенты, рабочие и чиновники. Все ожидают лектора — молодого доктора ботаники Климента Тимирязева. Завидев любимого учителя, студенты Петровской земледельческой и лесной академии бурно зааплодировали, остальные внимательно рассматривали его, поскольку видели впервые. Тридцатитрехлетний лектор был высок, худощав и подвижен. Волосы разделены аккуратным пробором, а короткая бородка и усы придавали лицу подобающую солидность. Но более всего поражали голубые глаза ученого, излучавшие доброжелательность и приветливость.

Чувствовалось, что Тимирязев волнуется, ведь это была его первая лекция перед такой большой аудиторией, потому и начал он неважно, порой тянул и заикался:

— Едва ли не в первый еще раз в Москве ботанику-физиологу предоставляется случай излагать в общедоступной форме и перед таким многочисленным собранием основные начала о жизни растения. Ввиду исключительности этого положения я считаю не лишним сказать несколько слов о современном состоянии нашей науки и ее отношении к обществу. Я полагаю, я не ошибусь, сказав, что едва ли о какой отрасли естествознания существует в нашем обществе такое смутное понятие, как именно о ботанике. Отсюда весьма понятно, что общество

относится к ней безучастно, и едва ли какая естественная наука возбуждает в нем так мало интереса, как ботаника. Конечно, уже далеко за нами осталась та грибоедовская Москва, в которой с изумлением, почти с негодованием восклицали:

*Он — химик, он — ботаник,  
Князь Федор, мой племянник...*

Слова Грибоедова оживили аудиторию. Лектор был вовсе не занудой. Теперь уже не только студенты, но и все присутствующие внимательно слушали молодого ученого. И это не осталось незамеченным — речь Тимирязева полилась свободно, уверенно:

— Очевидно, физиология растений должна лечь в основу земледелия... Рациональное земледелие гораздо моложе рациональной медицины, и потребность в физиологии растений, спрос на нее явились позднее. Но они уже явились, и это не может остаться без влияния на судьбы физиологии растений. Как физиология животных развилась в медицинских школах, так физиология растений разовьется в школах агрономических. Уже Германия и Америка покрылись целой сетью так называемых опытных станций; во Франции правительство, в Англии частные лица и общества стремятся к той же цели; даже бедная, подавленная долгами Италия

старается не отстать в общем движении. Только у нас, на просторе сотен миллионов десятин, среди миллионов земледельческого населения, не возникло еще ни одного подобного учреждения. И, несмотря на то, только у нас еще не редкость услышать даже в среде образованного общества голоса, желающие сокращения, упразднения, уничтожения и того, что уже сделано для успехов научной агрономии!

Смелая речь оратора пришлась по душе слушателям — зал реагировал на нее аплодисментами.

— Таким образом, — вдохновенно продолжал Тимирязев, — взорам физиолога представляется все более и более расширяющийся горизонт... Но прежде чем вступить на этот постепенно восходящий синтетический путь, нам необходимо проникнуть еще глубже в наш анализ. Мы разложили растение на органы, органы на клеточки, но до сих пор мы видели только внешний остов этой клеточки. Нам необходимо заглянуть в ее внутренность, в ту микроскопическую лабораторию, где вырабатываются бесчисленные вещества, которые производит растение, ознакомиться с этими веществами и разложить их на составные, простые начала. Для этой цели на помощь микроскопу к нашим услугам явятся весы

и химические реактивы. Это изучение составит предмет следующей лекции.

Первая лекция была закончена, но слушатели не спешили уходить. Они со всех сторон плотно обступили лектора, и их вопросам не было конца. Десять лекций К. А. Тимирязева из цикла «Жизнь растений» позволили русской общественности впервые узнать, что такое физиология растений.

В 1878 году К. А. Тимирязев с присущей ему четкостью сформулировал основные задачи этой науки:

— Цель стремлений физиологии растений заключается в том, чтобы изучить и объяснить жизненные явления растительного организма и не только изучить и объяснить их, но путем этого изучения и объяснения вполне подчинить их разумной воле человека, чтобы он мог по произволу видоизменять, прекращать или вызывать эти явления.

Это определение физиологии растений, сформулированное более ста лет назад, сохраняет свою актуальность и в настоящее время. Для того чтобы полнее использовать полезные свойства растений, человек настойчиво пытается проникнуть в сущность жизненных процессов, протекающих в их организмах. Нас интересует, как питается, дышит, растет, размножается,

каким образом оно противостоит действию неблагоприятных факторов среды. Все эти вопросы изучает физиология растений.

Физиологи растений добились выдающихся успехов. Используя современные методы исследования, люди выяснили механизм важнейших процессов жизнедеятельности растительных организмов — фотосинтеза, дыхания, усвоения элементов минерального питания, роста и развития. Основываясь на сделанных открытиях, они научились управлять ростом корней, регулировать плодоношение, выращивать растения без почвы, размножать их не семенами или вегетативными органами, а через культуру растительной ткани, освобождать посадочный материал от вирусной инфекции и т. д. Современные разработки физиологов растений вносят существенный вклад в биотехнологию — отрасль прикладной биологии, разрабатывающую основы новых производственных процессов, базирующихся на использовании биосинтетического потенциала микроорганизмов, растительных и животных клеток, изолированных протопластов, клеточных органелл (например, хлоропластов) и биологически активных молекул (ферментов, хлорофилла, бактериородопсина, феромонов, моноклональных антител и т. п.).



И все же некоторое неудовлетворение не покидает меня, физиолога растений. Больших успехов достигла физиология растений, но почему же так незначительно выросла продуктивность полей и ферм, почему мы не добились изобилия продуктов питания в наших магазинах? Преподавание физиологии растений ведется в университетах, педагогических и сельскохозяйственных институтах. Но спросите неспециалиста, небиолога, что такое физиология растений, и вы не получите вразумительного ответа. И это не случайно. Преподавание ботаники — этой важнейшей отрасли знания — ведется в 5—6-х классах. Можно ли 11—12-летнего ребенка научить пониманию жизненных процессов, совершающихся в растительном организме?

А ведь эти знания нужны не только выпускникам сельских школ. Ныне миллионы горожан становятся владельцами садовых участков, многие имеют дачи. И им фактически самостоятельно, заново придется изучать тайны растений, чтобы получить высокий урожай со своих грядок. Ботанические знания распространяются стихийно: от соседа к соседу. А ведь многие горожане переезжают сейчас в сельскую местность, берутся за арендный подряд. Им тоже нужны сведения о жизни растений.

Наше невежество в области ботаники просто поразительно: выпускники школ нередко не могут назвать самые обычные травы, растущие под ногами. Окиньте взором балконы и лоджии наших домов. Многие ли из них украшены

цветущими растениями? Посмотрите, как беден ассортимент декоративных деревьев, кустарников и трав на улицах городов и поселков. Причина одна — в равнодушии к растениям — первооснове существования жизни на Земле, в незнании ботаники, биохимии и физиологии растений. Спустя более ста лет мы можем с полным основанием повторить слова К. А. Тимирязева: едва ли о какой отрасли естествознания существует в нашем обществе такое смутное представление, как именно о ботанике.

Я не случайно начал с лекций К. А. Тимирязева — основоположника отечественной физиологии растений. Его страстные выступления, великолепные популярные книги о жизни растений сыграли выдающуюся роль в пропаганде этой науки, в появлении плеяды выдающихся ученых. В системе Академии наук СССР давно уже успешно работает

Институт физиологии растений, носящий имя К. А. Тимирязева. Институты физиологии растений имеются при некоторых республиканских академиях наук. Приходится, однако, удивляться тому, что за целое столетие после К. А. Тимирязева у нас не создано фактически ни одной научно-популярной книги по этой отрасли знаний, которую можно было бы поставить в один ряд с его прекрасными работами. Неудивительно, что многие и не подозревают о существовании такой науки. Назрела настоятельная необходимость в издании не одной, а серии научно-популярных книг по различным разделам физиологии растений.

В предлагаемой работе, безусловно, не удалось охватить всех проблем этой науки.

Тем не менее автор надеется, что отобранный им материал будет интересен и полезен читателям.

# ФОТОСИНТЕЗ, ИЛИ ВЕЛИЧАЙШАЯ ТАЙНА ЗЕЛЕННОГО РАСТЕНИЯ

Когда-то, где-то на Землю упал луч солнца, но он упал не на бесплодную почву, он упал на зеленую былинку пшеничного ростка, или, лучше сказать, на хлорофилловое зерно. Ударяясь о него, он потух, перестал быть светом, но не исчез... В той или другой форме он вошел в состав хлеба, который послужил нам пищей. Он преобразился в наши мускулы, в наши нервы... Этот луч солнца согревает нас. Он приводит нас в движение. Быть может, в эту минуту он играет в нашем мозгу.

**К. А. Тимирязев**

## **Ошибка Ван-Гельмонта**

В старые времена врач обязан был знать ботанику, ведь многие лекарственные средства готовились из растений. Неудивительно, что лекари нередко выращивали растения, проводили с ними различные опыты.

Так, голландец Ян Баптист Ван-Гельмонт (1579—1644) не только занимался врачебной практикой, но и экспериментировал с растениями. Он решил узнать, благодаря чему растет растение. С животными и человеком вроде бы все ясно: поедая корм или пищу, они получают вещества, благодаря которым увеличиваются в размерах. Но за счет чего крошечное семя, лишенное рта, превращается в огромное дерево?

Чтобы ответить на этот вопрос, Ван-Гельмонт проделал следующее. Взял кадку, в которую насыпал 91 килограмм

высушенной в печи почвы, смочил ее дождевой водой и посадил ивовый побег массой 2,25 килограмма. Каждый день в течение пяти лет он поливал растение чистой дождевой водой. По прошествии этого времени Ван-Гельмонт извлек деревце, тщательно очистил корни от прилипших частиц почвы и взвесил содержимое кадки и растение. Оказалось, что масса почвы уменьшилась всего на 57 граммов, а вот масса ивы возросла почти на 75 килограммов.

Результат эксперимента исследователь объяснил исключительно поглощением воды. Так возникла водная теория питания растений.

Джозеф Пристли (1733—1804) — известный английский ученый-химик. Он открыл кислород, получил хлористый водород, аммиак, фтористый кремний, сернистый газ, оксид углерода. Привезенный французом Шарлем Кондами-

ном из Южной Америки каучук Пристли в 1770 году предложил использовать для стирания написанного, назвав его гуммиэластиком. Как химика Пристли заинтересовал вопрос: почему воздух полей и лесов чище городского? Ученый предположил, что растения очищают его от веществ, выделяемых людьми при дыхании, а также дымящимися трубами заводов и фабрик. С целью проверки своего предположения он посадил под стеклянный колпак мышь. Довольно быстро животное погибло. Тогда экспериментатор поместил под такой же колпак другую мышь, но уже вместе с веткой мяты. «Это было сделано в начале августа 1771 года. Через восемь-девять дней я нашел, что мышь прекрасно могла жить в той части воздуха, в которой росла ветка мяты. Побег мяты вырос почти на три дюйма...»<sup>1</sup>.

Опыт заинтересовал ученых, многие повторили его в своих лабораториях, однако результаты получались неодинаковые: в одних случаях растения действительно очищали воздух и делали его пригодным для дыхания мыши, в других — этого не наблюдалось. Надо сказать, что сам Пристли при повторении опытов получил противоречивые

результаты. Установить истину ученый уже не смог, так как консервативно настроенные англичане разгромили его прекрасно оборудованную лабораторию и богатую библиотеку за сочувствие их владельца идеям французской революции. Пристли оставил научную работу и эмигрировал в США.

Следует отметить, что еще в 1753 году, то есть за 18 лет до опытов англичанина, великий русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов высказал весьма любопытные мысли относительно питания растений, в своем трактате «Слово о явлениях воздушных» он писал: «...преизобильное ращение тучных дерев, которые на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно объявляет, что жирными листьями жирный тук из воздуха впитывают, ибо из бессочного песку столько смоляной материи в себя получить невозможно».

В другой своей работе «Слово о слоях земных» он высказался о воздушном питании растений еще более определенно: «Откуда же новый сок сосны собирается и умножает их возраст, о том не будет спрашивать, кто знает, что многочисленные иглы нечувствительными скважинами почерпают в себя с воздуха жирную влагу, которая тончайшими жилками по всему растению расходуется

<sup>1</sup> См. Б. Дижур. Зеленая лаборатория. — М.: Детгиз, 1954. С. 6.



и разделяется, обращаясь в его пищу и тело». «Нечувствительные скважины» — это не что иное, как устьица, хорошо известные каждому из школьного учебника ботаники.

К сожалению, мысли, высказанные великим Ломоносовым, остались неизвестными научным кругам. А вот идея Пристли об очищении воздуха поддержали не только ученые, она стала популярна даже в народе. Результатом явилось массовое разведение цветов в помещениях, где находились больные. При этом двери обычно держали плотно закрытыми, дабы «вредный» наружный воздух не мог проникнуть в комнату.

Голландский врач Ингенгауз (1730—1799) усомнился в правильности такого использования растений и провел ряд экспериментов с целью

проверки действительности этого приема. В результате своих опытов он сделал открытие, что только зеленые части растений могут улучшать воздух, да и то лишь в том случае, когда они находятся на свету. Все остальное — цветки, корни, а также зеленые листья, лишенные света, — воздуха не исправляет.

Продедаем такой опыт. Возьмем две банки с водой. В одну нальем воду из-под крана, а в другую — кипяченую и охлажденную. При кипячении, как известно, удаляются газы, растворенные в воде. Затем в каждую банку поместим веточки водного растения элодеи, накроем их воронками, на отростки которых наденем пробирки, наполненные водой. Обе банки выставим на свет:

Через некоторое время мы заметим, что в банке с кипяченой водой веточки элодеи начинают выделять какой-то газ. Когда он заполнит пробирку, можно установить, что это кислород: внесенная в пробирку тлеющая лучинка ярко вспыхивает. В банке с кипяченой водой, где нет углекислого газа, веточки элодеи кислорода не выделяют.

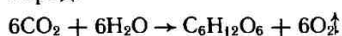
Попробуем доказать, что все дело именно в углекислом, а не в каком-то ином газе, удаленном при кипячении. Для этого пропустим через кипяченую воду углекислый газ, и вскоре веточки элодеи станут выделять кислород.

Швейцарский естествоиспытатель Жан Сенебье (1742—1809) первым установил необходимость углекислого газа как источника углерода для зеленых растений. Он же предложил термин «физиология растений» и в 1880 году написал первый учебник по этой дисциплине.

Его соотечественник естествоиспытатель Никола Теодор Соссюр (1767—1845) работал в области физики, химии и геологии. Однако мировую известность приобрел благодаря трудам в области физиологии растений. С помощью точных методов количественного химического анализа он убедительно доказал, что растения на свету усваивают углерод из углекислого газа, выде-

ляя при этом кислород. Ученый также установил, что растения, как и животные, дышат, поглощая кислород и выделяя углекислый газ.

Так постепенно складывались представления о фотосинтезе как о процессе, в ходе которого из углекислого газа и воды зеленые растения на свету образуют органические вещества и выделяют кислород:



Термин «фотосинтез» был предложен в 1877 году известным немецким физиологом растений Вильгельмом Пфедфером (1845—1920). В ходе этого процесса солнечная энергия преобразуется в энергию химических связей органических соединений.

Во второй половине XIX столетия было установлено, что энергия солнечного света усваивается и трансформируется при помощи зеленого пигмента хлорофилла.

### **«Самое интересное из веществ во всем органическом мире»**

Так назвал хлорофилл великий Чарльз Дарвин, когда наш соотечественник Климент Аркадьевич Тимирязев рассказал ему о своих опытах с этим веществом. В то время, когда химическая природа процесса фотосинтеза представлялась весьма туманной,

подобное утверждение было весьма ценным, поскольку привлекало внимание ученых к новой очень перспективной проблеме. А сам термин «хлорофилл» был предложен в 1818 году французскими химиками П. Пельтье и Ж. Каванту. Он образован из греческих слов «хлорос» — зеленый и «филлон» — лист.

Выделить хлорофилл из листа несложно. Для этого измельчим листья любого растения ножницами, поместим в ступку, прильем немного спирта, разотрем и отфильтруем в чистую сухую пробирку. Если у вас нет под рукой ступки, кусочки листьев поместите в небольшую колбочку, влейте спирт и осторожно нагрейте на спиртовке. Очень быстро спирт окрасится в изумрудно-зеленый цвет из-за присутствия хлорофилла.

А теперь познакомимся с некоторыми свойствами этого пигмента. Поместите за пробиркой черную бумагу или какой-то темный предмет и направьте на нее яркий свет. Раствор хлорофилла отражает свет с измененной длиной волны, поэтому хлорофилл приобретает вишнево-красную окраску. Это явление носит название флуоресценции.

В чем причина флуоресценции хлорофилла? Кванты света падают на его молекулы, находящиеся в растворе, и вызывают их возбуждение. При этом электрон молекулы

пигмента переходит на более высокий энергетический уровень. В растворе, в отличие от зеленого листа, энергия возбужденного электрона не расходуется на синтез органических веществ, поэтому этот электрон возвращается на прежний энергетический уровень, а избыток энергии испускается в виде квантов красного света. Видимый свет, как известно, состоит из разных лучей: фиолетовых, синих, голубых, зеленых, желтых, оранжевых, красных. Их окраска зависит от длины волны, которая увеличивается по направлению от синих к красным лучам солнечного спектра. А вот величина квантов и их энергетический потенциал изменяются при этом в противоположном направлении: кванты синих лучей значительно богаче энергией, чем кванты красных. Когда свет падает на молекулы хлорофилла, часть энергии квантов рассеивается в виде тепла, поэтому отраженные кванты несут меньший запас энергии, а длина волны света увеличивается, смещаясь в сторону длины волны красных лучей. Вот почему мы видим красное свечение при освещении хлорофилла белым светом, то есть совокупностью разных лучей солнечного спектра.

Любопытно в связи с этим отметить, что на прекрасных фресках гениального Андрея

Рублева мы часто видим сочетание зеленого с красным: в складках зеленой одежды как бы скрываются красные отсветы.

Если вы имеете спектроскоп — несложный школьный прибор, в котором при помощи призмы видимый свет разлагается на составные компоненты, — то можно изучить спектр поглощения хлорофилла. Приложите пробирку с раствором хлорофилла к щели спектроскопа и загляните в окуляр, вы увидите мощную темную полосу поглощения в красной части спектра и менее выраженную в синей. Итак, хлорофилл поглощает красные и синие лучи спектра. А вот зеленые, беспрепятственно проходя через его раствор, сообщают ему свою окраску.

Отчего зависит зеленая окраска пигмента? Добавим в пробирку с вытяжкой хлорофилла несколько капель слабой соляной кислоты. Тотчас же окраска изменится на оливково-бурую. Что при этом произошло с хлорофиллом?

Уже давно установлено, что его молекула содержит атом магния. При взаимодействии с соляной кислотой он вытесняется из нее атомами водорода соляной кислоты. Можно предположить, что наличие атома магния и определяет зеленую окраску пигмента.

Теперь в ту же пробирку добавим небольшое количест-

во ацетата меди или ацетата цинка и подогреем содержимое пробирки на спиртовке. Едва жидкость закипит, окраска раствора резко изменится — вместо оливково-бурой она вновь станет изумрудно-зеленой. Что же при этом произошло? В молекуле хлорофилла на место атома магния при взаимодействии с соляной кислотой встал водород. В свою очередь, атомы водорода при добавлении ацетата меди или ацетата цинка и нагревании вытесняются атомами меди или цинка. Происходит восстановление металлоорганической связи. Следовательно, зеленая окраска хлорофилла определяется наличием в нем атома металла вне зависимости от того, будет ли это магний, медь или цинк.

### **Красный цвет — символ созидания**

Если солнечный спектр, который мы наблюдаем в спектроскопе, спроектировать на экран, то можно изучать скорость фотосинтеза в разных лучах — синих, желтых, зеленых, красных.

Впервые интенсивность фотосинтеза в различных лучах спектра исследовал физик В. Добени. В 1836 году он сделал очень важное открытие: зеленый лист может осуществлять фотосинтез в отдельных лучах спектра, при-

чем в зависимости от характера лучей он идет с неодинаковой скоростью. Но вот на вопрос, в каких именно лучах спектра фотосинтез протекает наиболее интенсивно, В. Добени ответил неправильно. И виной тому методические погрешности при проведении эксперимента. Во-первых, ученый получал те или иные лучи, пропуская солнечный свет через цветные стекла или окрашенные растворы. Во-вторых, он применял очень примитивный метод учета интенсивности фотосинтеза. Ученый поместил отрезок побега водного растения элодеи в пробирку с водой срезом вверх и считал, сколько пузырьков кислорода отрывается с поверхности среза за единицу времени. Добени пришел к выводу, что интенсивность фотосинтеза пропорциональна яркости света, а наиболее яркими лучами в то время считались желтые. Этой же точки зрения придерживались Джон Дрепер (1811—1882) и физиологи растений Ю. Сакс и В. Пфедфер. В 1846 году Дрепер изучал интенсивность фотосинтеза в различных лучах спектра, испускаемых спектроскопом, и пришел к тому же заключению, что и Добени.

Между тем утверждение противоречило закону сохранения энергии. Ведь желтые лучи, как мы уже знаем, незначительно поглощаются

хлорофиллом. Могут ли они быть главной движущей силой процесса фотосинтеза?

Такова была обстановка в области изучения фотосинтеза, когда к исследованиям в этой области приступил К. А. Тимирязев. Будучи последовательным материалистом, он утверждал, что яркость лучей зависит от субъективного восприятия света глазом (синие лучи кажутся нам неяркими, а желтые наоборот) и потому не может определять интенсивность усвоения углекислого газа зелеными растениями. Наиболее деятельными в процессе фотосинтеза могут быть только те лучи, которые поглощаются хлорофиллом. Главной причиной ошибки Дрепера он считал недостаточную чистоту отдельных участков спектра, возникшую из-за широко открытой щели спектроскопа. Увеличивать же щель спектроскопа приходилось для усиления интенсивности светового потока, иначе фотосинтез с помощью примитивных методов не обнаруживался. Для того чтобы иметь возможность работать с узкой щелью спектроскопа, необходимо было создать принципиально новые, значительно более чувствительные методы учета скорости этого процесса. Сконструированные К. А. Тимирязевым приборы позволяли резко повысить точность исследований. В восьмидеся-

тых годах прошлого столетия химик Пьер Эжен Марсель Бертело говорил К. А. Тимирязеву, что каждый раз он привозит в Париж новый метод анализа газов, в тысячу раз более усовершенствованный. С помощью этой аппаратуры К. А. Тимирязев убедительно показал, что наиболее активно фотосинтез идет в красных лучах спектра, которые, как уже отмечалось, интенсивнее других поглощаются хлорофиллом. По направлению к зеленой части спектра интенсивность фотосинтеза ослабевает. В зеленых лучах она минимальная. И это вполне понятно: ведь они хлорофиллом почти не поглощаются. В сине-фиолетовой части спектра наблюдается новый подъем интенсивности фотосинтеза. Таким образом, Тимирязев

установил, что максимум усвоения листом углекислого газа совпадает с максимумом поглощения света хлорофиллом. Иными словами, он впервые экспериментально доказал, что закон сохранения энергии справедлив и по отношению к фотосинтезу. Зеленый цвет растений отнюдь не случаен. В процессе эволюции они приспособились к поглощению именно тех лучей солнечного спектра, энергия которых наиболее полно используется в ходе фотосинтеза.

Современная наука подтвердила правильность взглядов К. А. Тимирязева относительно исключительной важности для фотосинтеза именно красных лучей солнечного спектра. Оказалось, что коэффициент использования красного света в ходе фотосин-



теза выше, чем синих лучей, которые также поглощаются хлорофиллом.

Красные лучи, по представлениям К. А. Тимирязева, играют основополагающую роль в процессе мироздания и созидания жизни. В статье-притче «Красное знамя», написанной им в июне 1917 года, читаем: «Если красный цвет является фактическим признаком, выражением работоспособности света в творческом процессе созидания жизни, то не следует ли признать его самой подходящей эмблемой, выражением работоспособности света знания, света науки?».

Интересно в связи с этим отметить, что в государстве древних инков Тауаитинсуйю красный цвет почитался священным.

### **Ловушка для света**

Вспомним, что, когда квант света попадает на молекулу хлорофилла, она возбуждается и ее электрон переходит на более высокий энергетический уровень. Молекула может возвратиться в исходное состояние, сбросив избыток энергии в виде флуоресценции. Энергия при этом не может быть использована на синтез органического вещества. Флуоресценцию мы наблюдали в растворе хлорофилла.

В хлоропластах молекулы хлорофилла располагаются не

в беспорядке, а образуют так называемые фотосинтетические единицы, представляющие собой ловушки для квантов. Каждая такая фотосинтетическая единица состоит из 200—250 молекул хлорофилла, но только одна непосредственно участвует в передаче энергии света на синтез органического вещества. Остальные служат для восприятия световой энергии и передачи ее на эту молекулу.

Такое устройство фотосинтетической единицы позволяет более полно использовать энергию света и обеспечивает непрерывность процесса фотосинтеза. Если бы каждая молекула хлорофилла непосредственно передавала кванты света на синтез органического вещества, процесс шел бы прерывисто.

Любопытно отметить, что молекула-ловушка, к которой стекаются кванты от молекул-соседей, отличается от них тем, что поглощает свет с большей длиной волны. Дело в том, что, хотя передача энергии от одной молекулы пигмента к другой идет с большой скоростью, часть ее все же теряется. В связи с этим запас энергии в квантах уменьшается, а длина световой волны увеличивается. Для того чтобы кванты с меньшим запасом энергии были восприняты и задействованы в фотосинтезе, и существуют молекулы хлорофилла,

воспринимающие именно эти «облегченные» кванты. Перемещение энергии в обратном направлении в фотосинтетических единицах невозможно.

Фотосинтез — сложный многоступенчатый процесс. На каком именно этапе необходима энергия света? Оказалось, что реакции синтеза органических веществ, включения углекислого газа в состав их молекул непосредственно энергии света не требуют. Эти реакции называли темновыми, хотя идут они не только в темноте, но и на свету, просто свет для них необязателен.

А вот для протекания так называемых световых реакций фотосинтеза, в основе которых лежит световое разложение (фотолиз) молекул воды, выделение кислорода, образование адено-зинтрифосфорной кислоты (АТФ) и восстановленного вещества со сложным названием никотинамидадениндинуклеотидфосфат (НАДФ·Н), он необходим. НАДФ·Н образуется в результате присоединения к никотинамидадениндинуклеотидфосфату водорода, выделяющегося при фотолизе молекул воды (фото-водорода).

Когда квант света, воспринятый молекулой хлорофилла фотосинтетической единицы, передается на центральную молекулу, она возбуждается, а ее электрон перемещается на более высокий энергетический

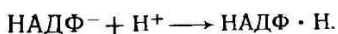
уровень, расстается с молекулой-ловушкой и поступает в цепь транспорта электронов, соединенную с фотосинтетической единицей. Цепь переноса электронов состоит из окислительно-восстановительных ферментов, размещенных в определенной последовательности. С их помощью электроны постепенно освобождаются от избытка энергии, которая переходит в энергию макроэргических (богатых энергией) связей молекул АТФ, образующихся путем присоединения остатков молекул фосфорной кислоты к аденозиндифосфорной кислоте (АДФ). После этого электрон возвращается к исходной молекуле хлорофилла (молекуле-ловушке). Такой тип образования АТФ в ходе фотосинтеза называли циклическим.

Но у электрона, поступившего от молекулы-ловушки в цепь транспорта, может быть и иной путь — к НАДФ, которому он сообщает отрицательный заряд. В этом случае молекула хлорофилла, отдавшая электрон, заполняет электронную вакансию за счет другой молекулы пигмента, возбужденной квантом света. Когда электрон движется на освободившееся место, образуется АТФ, происходит разложение молекул воды и выделение кислорода.



Электроны, высвобождаю-

щиеся в ходе этой реакции, заполняют электронную вакансию второй молекулы хлорофилла. А вот протоны  $H^+$  движутся к НАДФ<sup>-</sup> и взаимодействуют с ним:



Итак, при движении возбужденных электронов от молекул-ловушек по цепи транспорта происходит образование АТФ и НАДФ · Н — веществ, богатых энергией. Вот они-то и используются непосредственно в ходе синтеза органических веществ из неорганических, в так называемых темновых реакциях фотосинтеза.

### **О чем поведати меченые атомы!**

Американский ученый Мэлвин Кальвин для изучения темновых реакций фотосинтеза, связанных с фиксацией и превращением углекислого газа, широко использовал метод меченых атомов.

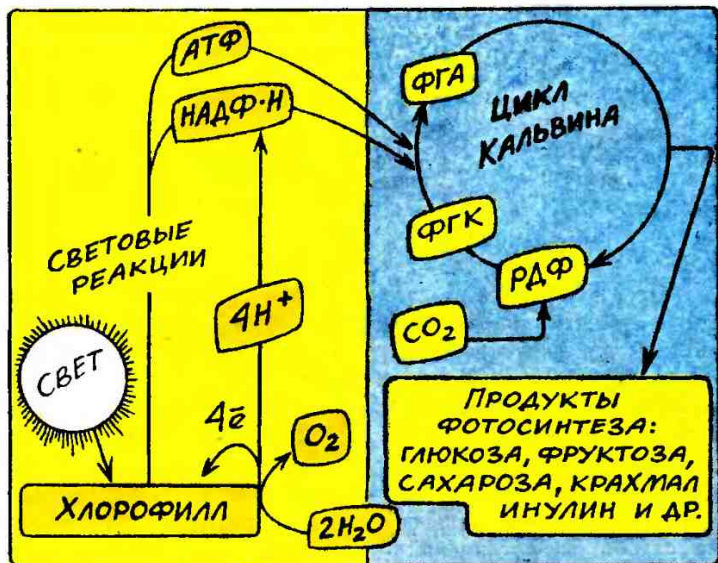
Вещества, имеющие радиоактивную метку, по химическим свойствам практически не отличаются от обычных. Однако наличие радиоактивного атома позволяет проследить за судьбой молекулы, ее превращениями в другие соединения, ведь излучение, испускаемое меткой в ходе распада, может быть легко измерено с помощью приборов.

М. Кальвин при изучении

реакций фотосинтеза использовал также метод хроматографического разделения смеси соединений. Если каплю раствора, содержащего смесь разных молекул, нанести на хроматографическую бумагу, а конец ее поместить в соответствующий растворитель, то вещества придут в движение и каждое займет особую зону на хроматограмме. С помощью приборов легко можно найти места расположения радиоактивных соединений, перевести их в раствор и определить химическую природу. С помощью этого метода удалось выяснить, какие вещества и в какой последовательности образуются в зеленом листе на свету после введения меченого углекислого газа.

М. Кальвин избрал в качестве объекта исследования зеленую водоросль хлореллу. После кратковременного освещения в присутствии радиоактивного углекислого газа ее быстро убивали (фиксируют) горячим спиртом, чтобы приостановить протекающие в ней реакции. Затем спиртовую вытяжку концентрировали, разделяли на хроматограмме и проводили анализ на содержание различных радиоактивных соединений.

Достаточно пяти секунд пребывания в атмосфере углекислого газа, чтобы меченый углерод этого соединения оказывался в трехуглеродном ор-



ганическом веществе под названием фосfogлицериновая кислота. Как оно образовалось? Кальвин предположил, что углекислый газ присоединяется к некоему пятиуглеродному соединению. В результате возникает шестиуглеродное соединение, которое по причи-

не своей нестойкости на хроматограммах не обнаруживается. Оно, едва возникнув, тотчас же распадается на две молекулы фосfogлицериновой кислоты.

Предположение М. Кальвина подтвердилось — углекислый газ действительно присое-

двигается к пятиуглеродному веществу под названием рибулезодифосфат.

Фосфоглицериновая кислота превращается затем в фосфоглицериновый альдегид. На этом этапе и возникает потребность в продуктах световых реакций — АТФ и НАДФ-Н. В темноте в хлоропластах не образуются эти богатые энергией соединения, и поэтому фосфоглицериновая кислота не превращается в трехуглеродное соединение — фосфоглицериновый альдегид, что ведет к остановке синтеза органических веществ.

Ну а какова же дальнейшая судьба фосфоглицеринового альдегида? Из шести молекул этого соединения в результате циклических превращений возникают три молекулы пятиуглеродного вещества рибулезодифосфата, необходимого для присоединения новых молекул углекислого газа, вовлечения его в фотосинтетическое превращение органических веществ, а вот шестая выходит из цикла. По мере накопления молекул фосфоглицеринового альдегида из них возникают различные продукты: глюкоза в ягодах винограда, сахароза в корнях сахарной свеклы, крахмал в клубнях картофеля, инулин в корневищах цикория и многие другие.

Работы М. Кальвина по выяснению сущности темновых реакций фотосинтеза —

крупнейшее достижение современной физиологии растений. В 1961 году он был удостоен Нобелевской премии.

### **Эта удивительная кукуруза**

Итак, М. Кальвин установил, что углекислый газ вовлекается в сеть реакций, носящих циклический характер: он присоединяется к рибулезодифосфату, а в конце превращения вновь образуется это же вещество, готовое к присоединению новых молекул углекислого газа. Совокупность темновых реакций фотосинтеза получила название цикл Кальвина.

Изучая зеленые растения, ученые убеждались в том, что во всех случаях путь фотосинтетических превращений одинаков. И только в 1966 году австралийские ученые Хетч и Слэк установили, что в некоторых растениях, в частности в кукурузе, эти превращения протекают по-иному, с отклонением от схемы Кальвина. У кукурузы углекислый газ присоединяется не к рибулезодифосфату, а к трехуглеродному соединению — фосфоенолпировиноградной кислоте, что приводит к образованию четырехуглеродного соединения щавелево-уксусной кислоты. После выдерживания растений в атмосфере с меченым углекислым газом это вещество первым выявля-



ется на хроматограммах. По этой причине путь фотосинтетических превращений у кукурузы получил название  $C_4$ -пути. А вот цикл превращений по Кальвину обозначили как  $C_3$ -путь, поскольку на хроматограммах первым выявляется трехуглеродное соединение ФГК — фосфоглицериновая кислота.

Образовавшись в клетках мезофилла листа, щавелевоуксусная кислота перемещается затем в особые клетки, окружающие сосуды. Это так называемые клетки обкладки. В них также есть хлоропласты, только они значительно крупнее находящихся в клетках мезофилла. Напомню, что мезофилл — это та часть листа, которая в школьном учебнике ботаники названа мякотью. Здесь обкладки щавелевоуксусная кислота от-

щепляет углекислый газ, который вовлекается в цикл фотосинтетических превращений уже по знакомой нам схеме Кальвина. Наряду с углекислым газом из щавелевоуксусной кислоты образуется фосфоэнопировиноградная, которая, возвратившись в клетки мезофилла листа, вновь может присоединять молекулы углекислого газа.

Помимо кукурузы,  $C_4$ -путь фотосинтеза обнаружен у некоторых других злаков, преимущественно тропических и субтропических растений (сахарный тростник, сорго).

Зачем же растениям потребовалось так усложнить процесс фотосинтеза? Оказалось, что  $C_4$ -путь имеет ряд преимуществ по сравнению с  $C_3$ -путем. Одно из них заключается в том, что кукуруза может осуществлять усвоение угле-

кислого газа с образованием органических кислот ночью. Едва взойдет солнце, как растения сразу же начинают использовать запасенный в органических кислотах углекислый газ для синтеза различных веществ. Неудивительно, что кукуруза относится к числу быстрорастущих травянистых растений, впрочем, как и сахарный тростник.

Второе преимущество — высокая устойчивость растений, осуществляющих фотосинтез по  $C_4$ -пути, к некоторым неблагоприятным воздействиям. Представьте себе такую картину. В самое жаркое время суток, особенно в засушливой зоне, многие растения закрывают устьица, чтобы предохранить себя от обезвоживания. Но ведь через закрытые устьица углекислый газ не поступает внутрь листа. Вследствие этого фотосинтез прекращается.  $C_4$ -растения прекрасно фотосинтезируют и при закрытых устьицах, используя углекислый газ, запасенный в виде органических кислот в ночное время, когда они были открыты.

Такой тип обмена веществ наблюдается у кактусов, которые, как известно, произрастают в чрезвычайно засушливых условиях. Наибольшего разнообразия они достигают в Мексике, в пустыне Сонора, где количество осадков составляет менее 100 мм в год. И, если бы не эти обита-

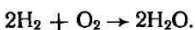
тели, Сонора превратилась бы в безжизненную пустыню, поскольку без них здесь не смогли бы существовать другие организмы. Выжить в столь суровых условиях кактусам помогает  $C_4$ -фотосинтез.

### Новый источник горючего

В последние годы человечество столкнулось с дефицитом энергоресурсов. Грядущее истощение запасов нефти и газа побуждает ученых искать новые, желательно возобновляемые источники энергии, к числу которых принадлежат растения. Знакома читателей со сложными превращениями веществ в ходе фотосинтеза, автор рисковал утомить их. Однако это необходимо было сделать для того, чтобы стали понятными вопросы, к рассмотрению которых мы приступаем.

Чрезвычайно заманчивые перспективы открывает использование в качестве энергоносителя водорода. В чем его преимущество перед другими источниками энергии, например бензином, каменным углем?

Водород — источник экологически чистой энергии. При его сжигании образуется только вода:



Никаких канцерогенов — веществ, вызывающих раковые заболевания, или золы.

В то же время по калорийности водород не уступает выскокачественному бензину.

К сожалению, на земном шаре запасы свободного водорода практически отсутствуют. Каким же образом можно получить его для технических надобностей? В настоящее время водород получают в результате электролиза воды. Однако такой путь производства топлива экономически невыгоден. Ведь для электролиза требуется большое количество электрической энергии. По этой причине в промышленных масштабах водород добывают в основном из природного газа, себестоимость такого водорода приблизительно в 2,5—3,0 раза ниже, чем полученного в результате электролиза воды. За год в мире добывают его более 30 миллионов тонн. Однако в связи с истощением запасов природного газа вряд ли целесообразно ориентировать энергетику на водород, производимый этим путем.

В хлоропластах растений, так же как и при электролизе, происходит расщепление молекул воды, но для этого используется солнечная энергия. Образующийся в результате фотолиза воды водород, как мы уже видели, присоединяется к НАДФ и используется затем в реакциях фотосинтетического восстановления углекислого газа до сахаров, а именно для превраще-

ния фосфоглицериновой кислоты в фосфоглицериновый альдегид. Для того чтобы хлоропласты начали продуцировать свободный водород, необходимо присутствие особого фермента — гидрогеназы.

Около полувека назад было доказано, что некоторые бактерии, осуществляющие синтез органических веществ из неорганических при помощи энергии света (фототрофные бактерии), могут выделять молекулярный водород. К числу таких микроорганизмов относятся пурпурные бактерии и некоторые цианобактерии (синезеленые водоросли). В связи с тем что процесс выделения газа этими бактериями зависит от света, его называли фотовыделением водорода.

Выяснилось, что названные микроорганизмы как раз и содержат фермент гидрогеназу, добавление которой к суспензии хлоропластов, выделенных из листьев растений, делает их способными на свету продуцировать водород.

Еще в 1961 году в лаборатории известного специалиста в области фотосинтеза Д. Арнона было показано, что хлоропласты шпината, прогретые в течение пяти минут при температуре 50 °С, начинают выделять водород при добавлении некоторых веществ и бактериальной гидрогеназы. К сожалению, этот процесс лимитируется как ограниченностью срока «служ-

бы» хлоропластов, так и инактивированием гидрогеназы кислородом, выделяемым в ходе фотосинтеза. Поэтому ученые задались целью отыскать среди множества микроорганизмов такую форму фермента, которая была бы устойчива к действию внешних факторов.

И такой микроорганизм был найден. Им оказалась пурпурная серобактерия тиокапса (*Thiocapsa roseopersici*pa). Из нее была выделена гидрогеназа, обладающая значительной стабильностью в присутствии кислорода и при воздействии высоких температур. В результате использования гидрогеназы из тиокапсы и железосодержащего белка ферредоксина хлоропласты шпината, табака, гороха и кукурузы образовывали водород с постоянной скоростью в течение трех — шести часов. Этот процесс происходит только на свету, а также при наличии системы, поглощающей кислород.

В некоторых случаях для повышения эффективности работы хлоропластов их иммобилизуют (обездвиживают) на студнеобразном веществе — альгинате кальция. Под действием света в такой системе можно получать и водород, и кислород. Однако долговечность ее и достигаемый максимальный выход газов пока недостаточны для промышленного использования.

Ученые настойчиво ищут другие пути получения водорода с помощью растений. Не так давно было обнаружено, что некоторые морские и пресноводные водоросли выделяют на свету водород. В Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова разработана система, способная на свету вырабатывать кислород и водород. Она включает в себя микроскопические водоросли и термостойкие цианобактерии, продуцирующие гидрогеназу.

Предположим, что в результате какого-то биотехнологического процесса мы, наконец, получим значительные количества водорода. Каким же образом его можно использовать в двигателях внутреннего сгорания? Ученые предложили связывать этот газ химическим путем с металлами. В отличие от чистого водорода гидриды металлов не взрывоопасны. Кроме того, хранение газа становится надежнее.

Что касается попыток создания двигателей, работающих на водородном топливе, то впервые они предпринимались еще в прошлом веке. В настоящее время в ряде развитых стран, в том числе и в СССР, созданы автомобили, в которых возможно использование смеси бензина с водородом. Мощность двигателя и дальность пробега

автомашин остались прежними, а вот выброс в атмосферу токсических веществ резко сократился. Ведь добавка даже пяти процентов водорода к обычному горючему активизирует процесс сгорания бензина и тем самым резко снижает содержание вредных веществ в выхлопных газах. К тому же расход бензина уменьшается на 40 процентов.

Внешне испытываемые автомашины мало чем отличались от обычных. Специальный аккумулятор водорода помещен в багажнике. Принцип его действия несложен: металлический порошок, нагреваемый отработанными газами, продуцирует водород, который смешивается с бензином и подается в двигатель. На переднем щитке появилась дополнительная панель, где размещены приборы, контролирующие работу аккумулятора.

Однако запасы водорода не позволяют пока перейти к массовому производству автомашин, работающих на новом топливе. Возможно, успехи в области физиологии растений будут способствовать решению этой проблемы.

Некоторые растения в ходе фотосинтеза образуют горючие жидкости, по своим свойствам напоминающие нефть. Нельзя ли их использовать для получения топлива? Ситуация напоминает ту, которая сложилась в конце 20-х годов в области производства кау-

чука. Тогда нужды промышленного развития требовали найти такие каучуконосы, которые могли бы успешно расти в умеренных широтах. Они были найдены в природе. И если бы химики не создали технологию получения синтетического полиизопренового каучука, мы, возможно, до сих пор культивировали бы коксагыз и тау-сагыз.

Растительный мир представляет собой огромный биохимический комбинат, который поражает масштабами и разнообразием биохимических синтезов. Есть среди его представителей и такие виды, которые образуют горючие жидкости.

В южной части острова Хайнань (КНР) учеными обнаружены замечательные деревья из семейства бобовых, принадлежащие к виду синдора клабра. Эти деревья с полным правом можно назвать «огненными», поскольку жидкость, которую они выделяют, своей способностью воспламеняться ни в чем не уступает нефти. По сообщению газеты «Джапан таймс», высота синдоры клабры превышает 30 метров, а огненную жидкость она начинает выделять, когда достигает 12—15 метров.

А вот другое сообщение, взятое из газет. Профессор Иджинио Дзанутто, преподаватель сельскохозяйственного института в Брешии, вырастил в оранжерее «нефтяное дере-

во». Внешне оно похоже на ель. «Нефтяное дерево», — утверждает профессор, — уроженец полупустынь Заира и Танзании. Оно содержит вещество углеводородной природы, которое по составу близко к нефти».

Свой вклад в поиски растений с горючими соками внес исследователь фотосинтеза М. Кальвин. Путешествуя по Бразилии, он обратил внимание на свойство млечного сока одного из видов молочая. У всех молочаев на месте разрыва стебля появляется белая, похожая на молоко жидкость. Оказалось, что у бразильского молочая млечный сок представляет собой эмульсию углеводов, которая может использоваться в качестве горючего.

По возвращении в США М. Кальвин развел на своем ранчо небольшую плантацию этого растения. С каждого акра он ежегодно получает в год около 10 баррелей горючего. Напомним, что один баррель равняется 159 литрам. Этот показатель урожайности в сопоставлении с современными ценами на нефть представляется неплохим. А ведь путем селекции и совершенствования агротехники выращивания молочая можно наверняка добиться еще более высокой продуктивности растения.

Чрезвычайно интересные сведения были получены при

химическом анализе сока молочая. Оказалось, что углеводороды, содержащиеся в нем, представляют собой смесь терпенов, которые в результате каталитического крекинга<sup>1</sup> превращаются в продукты, идентичные полученным из самой ценной сырой нефти. Согласно проведенным подсчетам, уже сейчас «растительная нефть» может успешно конкурировать с природной.

В Японии предложили использовать в качестве горючего для автомобилей эвкалиптовое масло, содержащееся в особых мешочках, погруженных в ткань листа. На его долю приходится до пяти процентов массы листьев. В настоящее время эфирное масло эвкалиптов применяется в парфюмерной промышленности и в медицине. Мировое производство его превышает тысячу тонн в год. Разумеется, этого недостаточно для удовлетворения потребностей автотранспорта. Ученые, однако, обращают внимание на одно весьма существенное преимущество этого вида топлива: в продуктах его сгорания очень мало вредных веществ. Что же касается его производства, то для этого необходимо увеличить площадь эвкалиптовых насаждений. Эвкалипты, как

---

<sup>1</sup> Крекинг — переработка нефти с целью получения ее фракций.

известно, легко размножаются вегетативно, быстро растут и дают значительную биомассу. С помощью современных методов селекции ученые создали особо быстрорастущие формы, которые в течение года дают до пяти тонн сухой биомассы с гектара, что в десять раз превышает прирост обычных эвкалиптов. Разумеется, селекционеры интересовала прежде всего древесина. Но ведь при ее заготовке листва также может быть использована как источник получения эвкалиптового масла, причем в значительных количествах.

Если применение масла гигантов растительного мира в автотранспорте представляется проблематичным, то употребление для этих целей масла кокосовой пальмы вполне реально, ведь Филиппины, Шри-Ланка, Индонезия, Малайзия и некоторые другие страны производят и экспортируют огромное количество копры — высушенных ядер кокосовых орехов. В ней содержится 60—65 процентов одного из самых ценных растительных масел, которое используется в производстве маргарина и высших сортов мыла, а также в кулинарии. Отходы производства кокосового масла дают моторное топливо, которое по техническим характеристикам близко к дизельному. В настоящее время в Малайзии и Японии созданы установки для пере-

работки пальмового масла в горючее. После обработки метанолом и катализатором тонна кокосового масла-сырца дает тонну дизельного топлива. В малайской столице Куала-Лумпуре проведены первые испытания автомобилей, работающих на новом горючем. Прогон ста автомашин на дистанции от 50 до 100 тысяч километров прошел без осложнений. Испытатели утверждают, что на новом горючем двигатель работает четче и экономичнее. Переводу автомашин на новое топливо препятствует то, что нефть на мировом рынке стоит пока дешевле кокосового масла. Однако запасы ее, как уже отмечалось, не беспредельны, тогда как кокосовое масло относится к возобновляемым источникам энергии.

В принципе в качестве дизельного топлива могут быть использованы многие растительные масла, но низкая продуктивность масличных растений сдерживает их употребление в этих целях. Исключением является масличная пальма, широко распространенная в тропической Африке. Она — поистине рекордист среди растений по производству масла с единицы площади. Один гектар ее насаждений дает от четырех до шести тонн масла. Однако селекционеры создали еще более продуктивные сорта этого растения, продуцирующие

14—16 тонн масла с гектара!

Наибольшее количество масла производится на Земле из соевых бобов. В 1985 году его было получено около 13,42 миллиона тонн. Австралия и Китай совместно разрабатывают дешевый малолитражный автомобиль с дизельным двигателем, который будет работать на горючем, изготовленном из таких культур, как соя и арахис.

Таким образом, продуктам фотосинтеза в настоящее время придается чрезвычайно большое значение в решении энергетической проблемы.

### **Зеленая электростанция**

Существует еще один путь использования человеком солнечной энергии, усвоенной растениями, — непосредственная трансформация световой энергии в электрическую.

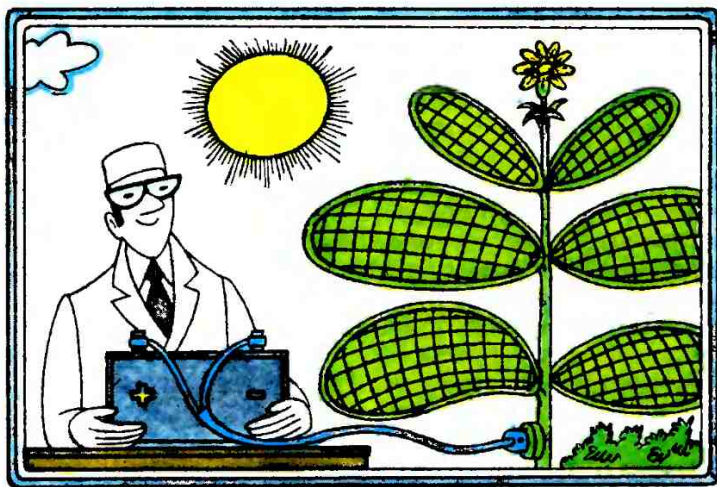
Выше мы проследили путь возбужденного квантом света электрона в ходе фотосинтеза. В настоящее время он изучен довольно детально. Именно способность хлорофилла под действием света отдавать и присоединять электроны лежит в основе работы генераторов, содержащих хлорофилл.

М. Кальвин, работы которого мы уже неоднократно упоминали, в 1972 году выдвинул идею создания фотоэлемента, в котором в качестве источника электрического тока слу-

жил бы хлорофилл, способный при освещении отнимать электроны от каких-то определенных веществ и передавать их другим. Кальвин использовал в качестве проводника, контактирующего с хлорофиллом, оксид цинка. При освещении этой системы в ней возникал электрический ток плотностью 0,1 микроампера на квадратный сантиметр. Этот фотоэлемент функционировал сравнительно недолго, поскольку хлорофилл быстро терял способность отдавать электроны.

Для продления времени действия фотоэлемента был использован дополнительный источник электронов — гидрохинон. В новой системе зеленый пигмент отдавал не только свои, но и электроны гидрохинона. Расчеты показывают, что такой фотоэлемент площадью 10 квадратных метров может обладать мощностью около киловатта.

Японский профессор Фудзико Такахаси для получения электроэнергии использовал хлорофилл, извлеченный из листьев шпината. Транзисторный приемник, к которому была присоединена солнечная батарея, успешно работал. Кроме того, в Японии проводятся исследования по преобразованию солнечной энергии в электрическую с помощью цианобактерий, выращенных в питательной среде. Тонким слоем их наносят на прозрачный электрод из окси-



да цинка и вместе с противозлектродом погружают в буферный раствор. Если теперь бактерии осветить, то в цепи возникнет электрический ток.

В 1973 году американцы У. Стокениус и Д. Остерхельт описали необычный белок из мембран фиолетовых бактерий (*Halobacterium halobium*), обитающих в соленых озерах Калифорнийских пустынь. Его назвали бактериородопсином. Это вещество представляет собой белок, соединенный с каротиноидом (о каротиноидах мы поговорим ниже) ретиналем, состоящим из 20 углеродных атомов. Он похож на родопсин — пигмент сетчатки глаза позвоночных животных, что и определило его название. Белковая часть родопсина представлена полипептидной цепью умеренной

длины, состоящей из 248 аминокислотных остатков, последовательность расположения которых в молекуле выяснена учеными. Большой вклад в исследование структуры бактериородопсина внесли советские учёные, работавшие под руководством академика Ю. А. Овчинникова.

В конце 1973 года в АН СССР был разработан проект сравнительного изучения животного и бактериального пигментов, получивший название «Родопсин». В 1978 году журнал «Биоорганическая химия» опубликовал статью, в которой излагалась последовательность расположения аминокислот в молекуле бактериородопсина. Лишь через год подобная работа была завершена в США под руководством известного биохимика Г. Кораны.

Любопытно отметить, что бактериородопсин появляется в мембранах галобактерий при недостатке кислорода. Дефицит же кислорода в водоемах возникает в случае интенсивного развития галобактерий. С помощью бактериородопсина бактерии усваивают энергию Солнца, компенсируя тем самым возникший в результате прекращения дыхания дефицит энергии.

Бактериородопсин можно выделить из галобактерий, поместив эти солюбивые создания, прекрасно чувствующие себя в насыщенном растворе поваренной соли, в воду. Тотчас же они переполняются водой и лопаются, при этом их содержимое смешивается с окружающей средой. И только мембраны, содержащие бактериородопсин, не разрушаются из-за прочной «упаковки» молекул пигмента, которые образуют белковые кристаллы (еще не зная структуры, ученые назвали их фиолетовыми бляшками). В них молекулы бактериородопсина объединены в триады, а триады — в правильные шестиугольники.

Поскольку бляшки значительно крупнее всех других компонентов галобактерий, их нетрудно выделить путем центрифугирования. После промывки центрифугата получается пастообразная масса фиолетового цвета. На 75 процентов она состоит из бактериородопсина и на 25 — из

фосфолипидов, заполняющих промежутки между белковыми молекулами. Фосфолипиды — это молекулы жиров в соединении с остатками фосфорной кислоты. Другие вещества в центрифугате отсутствуют, что создает благоприятные условия для экспериментирования с бактериородопсином. К тому же это сложное соединение очень устойчиво к факторам внешней среды. Оно не утрачивает активности при нагревании до 100 °С и может храниться в холодильнике годами. Бактериородопсин устойчив к кислотам и различным окислителям. Причина его высокой устойчивости обусловлена тем, что эти галобактерии обитают в чрезвычайно суровых условиях — в насыщенных солевых растворах, какими, по существу, являются воды некоторых озер в зоне выжженных тропическим зноем пустынь. В такой чрезвычайно соленой, да к тому же еще и перегретой, среде организмы, обладающие обычными мембранами, существовать не могут. Это обстоятельство представляет большой интерес в связи с возможностью использования бактериородопсина в качестве трансформатора световой энергии в электрическую.

Если выпавший в осадок под воздействием ионов кальция бактериородопсин осветить, то с помощью вольтметра можно обнаружить на-

личие электрического потенциала на мембранах. Если выключить свет, он исчезает. Таким образом, ученые доказали, что бактериородопсин может функционировать как генератор электрического тока.

В лаборатории известного советского ученого, специалиста в области биоэнергетики В. П. Скулачева тщательно исследовались процесс встраивания бактериородопсина в плоскую мембрану и условия функционирования его в качестве светозависимого генератора электрического тока.

Позднее в этой же лаборатории были созданы электрические элементы, в которых использовались белковые генераторы электрического тока. В этих элементах имелись мембранные фильтры, пропитанные фосфолипидами с бактериородопсином и хлорофиллом. Ученые полагают, что подобные фильтры с белками-генераторами, соединенные последовательно, могут служить в качестве электрической батареи.

Исследования по прикладному использованию белковых генераторов, выполненные в лаборатории члена-корреспондента АН СССР В. П. Скулачева, привлекли к себе пристальное внимание ученых. В Калифорнийском университете создали такую же батарею, которая при однократном использовании в течение полу-

тора часов заставляла светиться электрическую лампочку. Результаты экспериментов вселяют надежду, что фотоэлементы на основе бактериородопсина и хлорофилла найдут применение в качестве генераторов электрической энергии. Проведенные опыты — первый этап в создании новых видов фотоэлектрических и топливных элементов, способных трансформировать световую энергию с большой эффективностью.

### **Фотосинтез и урожай**

Жизнь современного человека немыслима без выращивания различных культурных растений. Органические вещества, образуемые ими в ходе фотосинтеза, служат основой питания человека, производства лекарств, они нужны для изготовления бумаги, мебели, строительных материалов и т. п.

Культурные растения способны быстро размножаться, покрывать зеленым экраном своей листвы громадные площади, улавливать колоссальное количество солнечной энергии и образовывать великое множество разнообразных органических веществ. В результате фотосинтеза создается 95 процентов сухого вещества растений. Поэтому мы с полным правом можем утверждать, что управление этим процессом — один из на-

ибо более эффективных путей воздействия на продуктивность растений, на их урожай. Физиологи растений совершенно правильно считают, что основная задача работ в области фотосинтеза — сохранение и поддержание на более высоком уровне фотосинтетической деятельности естественной растительности Земли, максимальное повышение фотосинтетической продуктивности культурных растений.

Каковы же пути управления человеком фотосинтетической деятельностью растений?

Часто сдерживающим фактором фотосинтеза является недостаток углекислого газа. Обычно в воздухе присутствует около 0,03 процента  $\text{CO}_2$ . Однако над интенсивно фотосинтезирующим полем его содержание уменьшается иногда в три-четыре раза по сравнению с приведенной цифрой. Вполне естественно, что из-за этого фотосинтез тормозится. Между тем для получения среднего урожая сахарной свеклы один гектар ее посевов должен усваивать за сутки около 300—400 килограммов углекислого газа. Такое количество содержится в колоссальном объеме воздуха.

Опыты известного отечественного физиолога растений В. Н. Любименко показали, что увеличение количества углекислого газа в атмосфере до 1,5 процента приводит к прямо пропорциональному воз-

растанию интенсивности фотосинтеза. Таким образом, один из путей повышения продуктивности фотосинтеза — увеличение концентрации углекислого газа в воздухе.

Современный уровень технологии, в целом, позволяет решить эту задачу в глобальных масштабах. Однако весьма сомнительно, чтобы человек решился на практике осуществить этот проект. Дело в том, что более высокий уровень содержания углекислого газа в воздухе приведет к изменению теплового баланса планеты, к ее перегреву вследствие так называемого «парникового эффекта». «Парниковый эффект» обусловлен тем, что при наличии большого количества углекислого газа атмосфера начинает сильнее задерживать испускаемые поверхностью Земли тепловые лучи.

Перегрев планеты может привести к таянию льдов в полярных областях и в высокогорьях, к поднятию уровня Мирового океана, к сокращению площади суши, в том числе занятой культурной растительностью. Если учесть, что население Земли увеличивается еженедельно на 1 миллион 400 тысяч человек, то понятна крайняя нежелательность таких изменений.

Человечество весьма обеспокоено естественным ростом концентрации углекислого газа в атмосфере, наблюдаемым

в последние годы в результате интенсивного развития промышленности, автомобильного, железнодорожного и авиационного транспорта. Поэтому оно едва ли решится когда-либо сознательно стимулировать этот процесс в глобальных масштабах.

В теплицах и на поле увеличение содержания углекислого газа имеет важное значение для повышения урожайности культурных растений. С этой целью в теплицах сжигают опилки, раскладывают сухой лед на стеллажах, выпускают углекислый газ из баллонов. Основной способ повышения концентрации  $\text{CO}_2$  над полем — активизация жизнедеятельности почвенных микроорганизмов путем внесения в почву органических и минеральных удобрений. В процессе дыхания микробы выделяют большое количество углекислого газа. В последние годы для обогащения почвы и припочвенного воздуха  $\text{CO}_2$  поля стали поливать водой, насыщенной углекислым газом.

Другой путь преодоления отрицательного влияния низкой концентрации углекислого газа в атмосфере на урожай — распространение таких форм растений, которые очень интенсивно фотосинтезируют даже при ничтожно малом его содержании. Это —  $\text{C}_4$  — растения. У них рекордные показатели интенсивности фотосинтеза.

Распространение таких растений, дальнейшее изучение особенностей их фотосинтеза представляется весьма нужным и перспективным.

Растительность земного шара довольно неэффективно использует солнечную энергию. Коэффициент полезного действия у большинства дикорастущих растений составляет всего 0,2 процента, у культурных он равен в среднем одному проценту. При оптимальном снабжении культурных растений водой, минеральными солями коэффициент полезного использования света повышается до четырех — шести процентов. Теоретически же возможен КПД, равный восьми — десяти процентам. Сопоставление приведенных цифр говорит о больших возможностях в увеличении фотосинтетической продуктивности растений. Однако практическая их реализация встречает большие трудности.

Повысить эффективность использования солнечной энергии в ходе фотосинтеза можно, расположив растения на оптимальном расстоянии друг от друга. В изреженных посевах значительная часть света пропадет зря, а вот в загущенных растения затеняют друг друга, их стебли становятся длинными и ломкими, легко лежащими от дождя и ветра. В том и другом случае происходит снижение урожая. Вот почему очень важно вы-

брать для каждой культуры наиболее оптимальное состояние. При этом следует учитывать, что оптимальная плотность посевов может быть различной в зависимости от обеспеченности растений водой, элементами минерального питания и от их особенностей. К сожалению, многие агрономы не принимают во внимание названные факторы, поэтому так медленно растет продуктивность наших полей. Наиболее часто растения неэффективно фотосинтезируют из-за недостатка воды и элементов минерального питания. Если улучшить условия водоснабжения и питания, то размеры листовой поверхности увеличатся, а между ними и величиной урожая обычно существует прямая зависимость.

Однако существует некоторый предел роста эффективности фотосинтеза, когда дальнейшее улучшение водоснабжения и минерального питания не дает результатов. Дело в том, что при определенном размере листовой поверхности (обычно когда на 1 квадратный метр посевов приходится четыре-пять квадратных метров листьев) растения поглощают практически всю энергию света. Если же на единицу площади поля приходится еще большая поверхность листьев, то в результате затенения их друг другом растения вытянутся, интенсивность фотосинтеза уменьшит-

ся. Вот почему дальнейшее улучшение снабжения растений водой и элементами минерального питания неэффективно.

В чем же выход из создавшегося положения? Ученые полагают, что в выведении новых сортов культурных растений, отличающихся выгодным строением тела. В частности, они должны иметь компактную низкорослую крону, с вертикально ориентированными листьями, обладать крупными запасующими (луковицы, клубни, корни, корневища) и репродуктивными (семена, плоды) органами.

На повышение плодородия почвы и улучшение водоснабжения эти сорта будут реагировать усилением интенсивности фотосинтеза, умеренным потреблением продуктов фотосинтеза (ассимилятов), на рост листьев и других вегетативных органов, а также активным использованием ассимилятов на формирование репродуктивных и запасующих органов.

Вот какие жесткие требования предъявляются теперь к науке, занимающейся выведением новых сортов культурных растений, — селекции. Из сказанного ясно, что без тесного сотрудничества селекционеров с физиологами растений создание перспективных сортов становится практически невозможным.

Селекционеры вывели сор-

та, отвечающие современным требованиям. Среди них — низкорослый рис, созданный в Международном институте риса в Маниле, хлопчатник Дуплекс, с вертикально ориентированными листьями, не затеняющими друг друга, карликовая пшеница мексиканской селекции. Эти сорта на фонах высокого плодородия дают в полтора раза более высокие урожаи, чем их предшественники. Однако это лишь один из путей увеличения фотосинтетической продуктивности растений. Дальнейшие усилия должны быть направлены на повышение активности самого фотосинтетического аппарата.

Как известно, процесс фотосинтеза осуществляется в особых органоидах — хлоропластах. Здесь происходит множество реакций, прежде чем из углекислого газа и воды образуются молекулы органических веществ. Управлять этими процессами, безусловно, непросто, но возможно. Об этом свидетельствует тот факт, что интенсивность фотосинтеза у разных растений неодинакова. У одних листовая поверхность площадью в 1 квадратный дециметр усваивает за час от четырех до семи миллиграммов  $\text{CO}_2$ , а у других — 60—80 и даже 100, то есть в 20 раз больше! Растения неодинаково реагируют на его низкую концентрацию в воздухе, интенсивность освещения и т. д.

Изучение особенностей фо-

тосинтеза у разных растений, безусловно, будет способствовать расширению возможностей человека в управлении их фотосинтетической деятельностью, продуктивностью и урожаем.

### **«Чародейкою зимою околдован, лес стоит...»**

Совершенно безжизненным кажется нам зимний лес. В это время года у растений резко заторможен обмен веществ, интенсивность дыхания в 200—400 раз меньше, чем летом, прекращается видимый рост. Однако процессы жизнедеятельности идут: крахмал превращается в сахара и жиры, сахара расходуются в процессе дыхания.

Ну а как насчет фотосинтеза? Разумеется, речь идет не о березе или лещине, которые сбросили свои листья еще осенью, а о хвойных деревьях и кустарниках, сохранивших свой фотосинтетический аппарат. В последние годы по этому вопросу получены очень интересные данные. Ученые установили, что озимые злаки, хвойные и некоторые лиственные вечнозеленые растения усваивают углекислый газ даже при температурах  $-1...-5^\circ\text{C}$ .

Использование метода меченых атомов позволило более детально прояснить этот вопрос. При понижении температуры до  $-12^\circ\text{C}$  скорость фо-

тосинтеза у разных растений снижалась в 3—17 раз. Наиболее устойчивыми оказались ель обыкновенная, сосна обыкновенная, лиственница северная — низкорослый лесной кустарничек из семейства жимолостных, лишайник леканора темная. Некоторые мхи продолжали усваивать углекислый газ даже при температуре —14 °С, причем этот процесс шел успешно под сравнительно толстым снежным покровом, достигающим 26 сантиметров. Хотя интенсивность света, проходящего через такой слой снега, ослабевала приблизительно в 20 раз, скорость фотосинтеза у не покрытых и покрытых снегом растений почти одинаковая. Этот удивительный факт можно объяснить следующим образом: под снегом растения оказались в более благоприятных температурных условиях, которые и позволили компенсировать падение фотосинтеза, вызванное понижением освещенности.

Эти опыты убедительно показывают, что в условиях многомесячной зимы фотосинтез не только возможен, но и необходим для нормального энергообеспечения зимнезеленых растений.

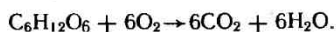
### **Леса — легкие планеты!**

Стало расхожим утверждение, что зеленые растения накапливают в атмосфере кислород. Нередко в научно-популярной

литературе приходится встречать утверждения, будто гектар кукурузных посевов выделяет за год 15 тонн кислорода, что достаточно для дыхания 30 человек, а дерево средней величины обеспечивает трех человек и т. д. Леса называют легкими планеты...

На первый взгляд эти утверждения представляются убедительными, ведь в соответствии с уравнением фотосинтеза в ходе образования органических веществ зелеными растениями и в самом деле выделяется кислород, причем чем больше органического вещества образуется в процессе фотосинтеза, тем интенсивнее выделяется кислород.

Авторы подобных утверждений забывают, однако, что органические вещества кукурузы превратятся в углекислый газ в результате гниения и дыхания животных организмов. При поедании кукурузы животными или человеком некоторое количество органических веществ растения трансформируется в новые органические вещества животного организма, которые в конечном счете превращаются в углекислый газ при дыхании. Дыхание — процесс обратный фотосинтезу:



Если при образовании 1 тонны органического вещества в ходе фотосинтеза выделилось *n* килограммов кислорода, то

точно такое же его количество потребуется для последующего окисления этого вещества.

То же самое происходит и с деревом. Разница лишь в том, что, превратившись в какую-нибудь поделку (стол, шкаф, оконную раму и т. п.), оно может разрушаться в течение длительного времени. Но ведь и растет дерево сотни лет! А вот сгореть может в мгновение ока. При этом израсходуется почти столько кислорода, сколько дерево выделило за всю свою долгую жизнь. Так накапливают ли кислород современные растения?

В атмосфере и гидросфере Земли содержится  $1,5 \cdot 10^{15}$  тонн кислорода. Считается, что он — результат деятельности древних анаэробных автотрофных организмов, осуществлявшейся на протяжении длительного периода истории Земли. Накопление кислорода на нашей планете стало мощным стимулом для появления принципиально новых организмов — аэробных, способных извлекать энергию из органических веществ в результате окислительных процессов с участием атмосферного кислорода.

Кислород, образуемый современной растительностью в ходе фотосинтеза, расходуется на дыхание самих растений (около  $1/3$ ), а также животных и человека, на аэробное разложение органических веществ микроорганизмами и на про-

цессы горения различных веществ, то есть почти весь его объем, выделяемый наземной растительностью, расходуется и накопления в атмосфере фактически не происходит. К тому же суммарное количество кислорода, выделяемого за год лесами, по подсчетам специалистов, ничтожно мало по отношению к общему запасу его в атмосфере Земли, а именно около  $1/22$  000. Таким образом, вклад наземных экосистем в баланс кислорода на нашей планете весьма незначителен. Возмещение кислорода, расходуемого на процессы горения, происходит главным образом за счет фитопланктона. Дело в том, что в достаточно глубоких водоемах отмершие организмы опускаются на такую глубину, где их разложение осуществляется анаэробным путем, то есть без поглощения кислорода.

Гидросфера оказывает влияние на баланс газов в атмосфере еще и потому, что в ней иное соотношение между азотом и кислородом. Если в атмосфере оно равно четырем, то в водоемах относительная доля кислорода примерно в два раза выше. Правда, интенсивное загрязнение морей и океанов создает угрозу возникновения в них анаэробных условий.

Так, например, по сравнению с 1900 годом в некоторых впадинах Балтийского моря содержание кислорода рез-

ко сократилось, а местами он практически отсутствует.

Что касается атмосферы, то в ней, как показывают систематические наблюдения за концентрацией кислорода, проводимые с 1910 года, содержание этого газа практически не изменилось и равно 20,9488 процента  $\pm 0,0017$ . Это отнюдь не означает, что нам не следует заботиться о сохранении растительного покрова Земли. Темпы использования кислорода резко возросли. По некоторым данным, за последние 50 лет было использовано его в процентном отношении столько же, сколько за последний миллион лет, то есть примерно 0,02 процента атмосферного запаса. Человечеству в ближайшем будущем не угрожает кислородное голодание, тем не менее для сохранения стабильности газового состава атмосферы предстоит шире использовать водную, ветровую, ядерную и другие виды энергий.

Следует иметь в виду, что в последние годы много говорят и пишут об абиогенном происхождении кислорода атмосферы, исключая участие живых организмов в этом процессе. Так, например, в верхних слоях атмосферы под действием жесткого ультрафиолетового излучения молекулы воды могут распадаться на водород и кислород. Водород, как более легкий газ, преодолевает притяжение Земли и

уходит в космос. В среднем около 10 процентов появившегося в стратосфере водорода навсегда покидает нашу планету. Следовательно, соответствующее количество кислорода, образовавшегося при фотолитизе молекул воды, остается без «напарника» и постепенно скапливается в атмосфере.

Другой возможный путь поступления в атмосферу абиогенного кислорода — извержение вулканов. Дело в том, что в газообразных выделениях вулканов кислорода довольно много, иногда до 12—15 процентов (после исключения паров воды и кислотных газов).

Отметим, однако, что этот источник представляется все же не очень существенным. По крайней мере нужны весомые доказательства и точные расчеты вклада абиогенных источников в формирование атмосферы Земли, накопление в ней кислорода.

Что же касается фотосинтезирующих организмов, то их участие в накоплении кислорода очевидно. Если величину огромных запасов каменного угля и некоторых других горючих ископаемых (например, торфа), использованных человеком и находящихся еще в недрах Земли, подставить в уравнение фотосинтеза, то можно рассчитать, сколько кислорода поступило в атмосферу в результате жизнедея-

ятельности растений, давших начало этим полезным ископаемым.

Следует также учесть всю биомассу существующих ныне растений, органическое вещество которых образовалось с выделением кислорода.

Но все это еще не самое главное. Первичные запасы кислорода не могли быть созданы современными растениями или деревьями каменноугольного периода, поскольку совершенно исключена возможность их существования в атмосфере, лишенной его.

Сторонники абиогенного происхождения кислорода на Земле, люди, как правило, не искушенные в биологии, спрашивают: если сначала в атмосфере Земли кислорода не было, то где же первые растения брали кислород для дыхания? При этом они полагают, что своим вопросом нанесли нокаутующий удар ретроградкам-биологам, придерживающимся традиционного взгляда на природу атмосферного кислорода. Между тем ученые никогда не рассматривали современную растительность в качестве источника накопления первичного кислорода. В книге Э. Броды «Эволюция биоэнергетических механизмов» обстоятельно проанализированы различные точки зрения по этому вопросу. Автор пишет: «Никто не сомневается, что до появления у растений фотосинтеза содер-

жание свободного кислорода было незначительным... Единственным источником свободного молекулярного кислорода был фотолиз водяных паров в высших слоях атмосферы, который протекал под действием солнечного коротковолнового ультрафиолета. Свободный водород, возникавший при этом, постепенно диссипировал в пространство, оставляя в атмосфере кислород... Количество фотолитически образованного кислорода, несомненно, было гораздо ниже тех количеств кислорода, которые высвобождаются при фотосинтезе в наше время за тот же промежуток времени».

Уже в очей древних геологических слоях Земли обнаружены синезеленые водоросли (сейчас их чаще называют цианобактериями), которые и явились накопителями первичного кислорода в атмосфере Земли. Вполне естественно, что древние синезеленые водоросли не обладали способностью дышать и механизм распада органических веществ в их клетках напоминал процесс брожения.

В пользу того, что первоначально атмосфера Земли не имела кислорода, свидетельствует факт существования в природе анаэробных организмов. Любопытно отметить, что многочисленные реакции обмена аэробных организмов, в том числе современных животных

и растений, включают большое количество реакций анаэробного распада веществ. Создается впечатление, что организмы, приспособившись изначально обходиться без кислорода, упорно сохраняют свою привычку.

Итак, первичные синезеленые водоросли образовали органические вещества и кислород. Разрушение органического вещества происходило в анаэробных (бескислородных) условиях, что и привело к накоплению значительных количеств кислорода.

Что касается современной растительности, то, как уже отмечалось, ее вклад в пополнение кислородного запаса на Земле весьма незначителен, поскольку подавляющее большинство живых организмов окисляет органические вещества только с его помощью. При этом устанавливается относительное равновесие: сколько кислорода выделяется в ходе фотосинтеза, столько же его поглощается при окислении образованного органического вещества.

Из сказанного вовсе не следует, что нужно и дальше безжалостно вырубать на Земле леса, все равно, дескать, от них нет проку с точки зрения накопления кислорода. Напротив, нам следует предпринять все возможные меры к расширению площади зеленых насаждений. Дело в том, что в современную эпоху очень

резко возросла роль растений в очистке природной среды от токсических примесей, выделяемых транспортом, заводами, фабриками и т. д.

### **«Лес, точно терем расписной, лиловый, золотой, багряный...»**

Этими словами начинается замечательная поэма Ивана Алексеевича Бунина «Листопад». Осень вызывает в душе каждого человека легкую грусть и восхищение красотой природы. Именно таким настроением наполнены и «Осенняя песня» П. И. Чайковского, и «Золотая осень» И. И. Левитана, и поэма «Листопад» И. А. Бунина. Осень, как и весна, поражает нас обилием красок, непрерывным изменением окружающего мира. Сентябрь розовыми стежками прошел зеленую одежду осин, зажег ярко-багровые фонари на кустах калины. В бронзовые кольчуги нарядил богатыри-дубы.

Изменение окраски листьев — одна из первых примет осени. Много ярких красок в осеннем лесу! Березы, ясени и липы желтеют, розовеют листья бересклета, пунцово-красными становятся узорные листья рябины, оранжевыми и багряными листья осин. Чем же обусловлено это цветное многообразие?

В листьях растений наряду с зеленым хлорофиллом

содержатся другие пигменты. Для того чтобы убедиться в этом, сделаем простой опыт. Прежде всего приготовим вытяжку хлорофилла, как это было описано нами выше. Вместе с хлорофиллом в спирте находятся также желтые пигменты. Чтобы разделить их, небольшое количество спиртовой вытяжки (около двух миллилитров) нальем в пробирку, добавим две капли воды и около 4 миллилитров бензина. Вода вводится для того, чтобы легче происходило расслоение двух жидкостей. Закрыв пробирку пробкой или пальцем, следует энергично встряхнуть ее. Вскоре можно заметить, что нижний (спиртовой) слой окрасился в золотисто-желтый цвет, а верхний (бензиновый) — в изумрудно-зеленый. Зеленая окраска бензина объясняется тем, что хлорофилл лучше растворяется в бензине, нежели в спирте, поэтому при встряхивании он обычно полностью переходит в бензиновый слой.

Золотисто-желтая окраска спиртового слоя связана с присутствием ксантофилла, вещества, нерастворимого в бензине. Его формула  $C_{40}H_{56}O_2$ . По химической природе ксантофилл близок к каротину, присутствующему в корнях моркови, —  $C_{40}H_{56}$ , поэтому их объединяют в одну группу — каротиноидов. Но каротин также имеется в листьях зеленых растений, только он, как и хло-

рофилл, лучше растворяется в бензине, поэтому мы не видим его: интенсивно-зеленая окраска хлорофилла «забивает» желтый цвет каротина, и мы не различаем его, как ранее ксантофилл в спиртовой вытяжке. Чтобы увидеть каротин, нужно преобразовать зеленый пигмент в соединение, нерастворимое в бензине. Этого можно достигнуть с помощью щелочи. В пробирку, где произошло отделение ксантофилла, добавим кусочек щелочи (KOH или NaOH). Пробирку закроем пробкой и тщательно взболтаем ее содержимое. После расслоения жидкостей можно увидеть, что картина распределения пигментов изменилась: нижний спиртовой слой окрасился в зеленый цвет, а верхний — бензиновый — в желто-оранжевый, характерный для каротина.

Эти опыты наглядно свидетельствуют о том, что в зеленом листе одновременно с хлорофиллом присутствуют желтые пигменты — каротиноиды.

При наступлении холодов образования новых молекул хлорофилла не происходит, а старые быстро разрушаются. Каротиноиды же устойчивы к низким температурам, поэтому осенью эти пигменты становятся хорошо заметными. Они и придают листьям многих растений золотисто-желтый и оранжевый оттенок.

Каково же значение каротиноидов в жизни растений?

Установлено, что эти пигменты защищают хлорофилл от разрушения светом. Кроме того, поглощая энергию синих лучей солнечного спектра, они передают ее на хлорофилл. Это позволяет зеленым растениям более эффективно использовать солнечную энергию для синтеза органического вещества.

Осенний лес окрашен, однако, не только в желтые тона. С чем связана лиловая и багряная окраска листьев?

Наряду с хлорофиллом и каротиноидами в листьях растений имеются пигменты, которые носят название антоцианов. Они хорошо растворимы в воде и содержатся не в цитоплазме, а в клеточном соке вакуолей. Эти пигменты очень разнообразны по окраске, которая зависит в основном от кислотности клеточного сока. В этом легко убедиться на опыте.

Прежде всего приготовьте вытяжку антоцианов. С этой целью листья бересклета или какого-то другого растения, окрашенные осенью в красные или фиолетовые тона, измельчите ножницами, поместите в колбочку, прилейте воды и нагрейте на спиртовке. Вскоре раствор станет красновато-синим от присутствия антоцианов. Полученную вытяжку пигментов налейте в две пробирки. В одну добавьте слабой соляной или уксусной кислоты, а в другую — раствор аммиака.

Под действием кислоты раствор станет розовым, тогда как в присутствии щелочи — в зависимости от количества и концентрации этой щелочи — зеленым, синим и желтым.

Антоцианы, как и каротиноиды, более устойчивы к низким температурам, чем хлорофилл. Поэтому они и обнаруживаются в листьях осенью. Исследователи установили, что образованию антоцианов способствуют высокое содержание сахаров в растительных тканях, сравнительно низкая температура и интенсивное освещение.

Увеличение содержания сахаров в осенних листьях происходит за счет гидролиза крахмала. Это имеет важное значение для транспортировки ценных питательных веществ из отмирающих листьев во внутренние части растений. Ведь сам крахмал нетранспортабелен в растении. Однако скорость оттока образующихся в результате его гидролиза сахаров из листьев при низких температурах невелика. Кроме того, при падении температуры ослабляется дыхание растений и, следовательно, лишь незначительное количество сахаров подвергается окислению. Все эти факторы благоприятствуют накоплению в растительных тканях сахаров, которые начинают использоваться в синтезе других веществ, в частности антоцианов.

О превращении избытка сахаров в антоцианы свидетельствуют и другие факты. Если у виноградной лозы путем кольцевания (удаление части коры в виде кольца) затруднить отток продуктов фотосинтеза, то листья, расположенные выше кольца, через две-три недели приобретают красный цвет из-за накопления антоцианов. При этом их обрывается так много, что зеленая окраска хлорофилла становится незаметной.

То же самое наблюдается не только при понижении температуры или кольцевании, но и при недостатке фосфора. Если, например, томаты выращивать на питательном растворе, лишенном этого элемента, то нижняя часть листьев, а также стебли приобретают синий цвет. Дело в том, что при отсутствии фосфора в растениях не может осуществляться процесс окисления сахаров без соединения с остатком фосфорной кислоты молекула сахара остается неактивной. Поэтому в растительных тканях происходит накопление избыточных количеств сахаров, которые используются на синтез антоцианов. Увеличение содержания этих веществ ведет к посинению стеблей и листьев растений, испытывающих нехватку фосфора.

Образование антоцианов зависит также от интенсивности света. Если осенью вни-

мательно приглядеться к яркой окраске деревьев и кустарников, то можно заметить, что багряный цвет имеют в основном те листья, которые лучше всего освещены. Раздвиньте пылающий огненными красками куст бересклета, и вы увидите внутри желтые, бледно-желтые и даже зеленые листья. Во время дождливой и облачной осени листва дольше сохраняется на деревьях, однако она не так ярка из-за недостатка солнца. Преобладают желтые тона, обусловленные присутствием каротиноидов, а не антоцианов.

Низкая температура также способствует образованию антоцианов. Если стоит теплая погода, то лес изменяет свою окраску медленно, но едва ударит морозец, как сразу запылают осины и клены.

М. М. Пришвин в миниатюре «Светильники осени» писал: «В темных лесах загорелись светильники осени, иной лист на темном фоне так ярко горит, что даже больно смотреть. Липа стоит уже вся черная, но один яркий лист ее остался, висит, как фонарь, на невидимой нити и светит».

## **Радуга флоры**

Уж коли мы заговорили о пигментах растений, следует рассказать и о причинах разнообразия окраски цветков. Генри Лонгфелло в «Песне о Гайавате» приводит поэтич-

ную легенду о возникновении радуги:

*Видел радугу на небе,  
На востоке, и тихонько  
Говорил: «Что там, Нокомис?  
А Нокомис отвечала:  
«Это Мускодэ на небе;  
Все цветы лесов зеленых,  
Все болотные кувшинки,  
На земле когда увянут,  
Расцветают снова в небе.*

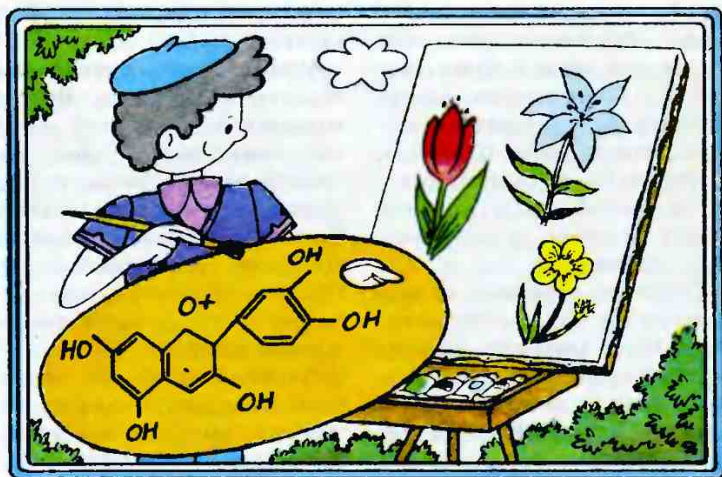
Зачем цветкам их яркая, сочная окраска? В конечном счете для того, чтобы привлечь к себе насекомых-опылителей. Многие растения опыляются лишь определенными видами насекомых, поэтому окраска цветков часто зависит от того, для каких именно насекомых предназначены цветочные сигналы. Дело в том, что в отношении цвета насекомые бывают довольно капризны. Скажем, пчелы, шмели, осы предпочитают розовые, фиолетовые и синие цветки, а около желтых обычно толкутся мухи. Красный же цвет многие насекомые, наделенные не слишком совершенным зрением, путают с темно-серым. Поэтому в наших широтах чисто-красные цветки довольно редки. Исключение — мак, но и его лепестки имеют примесь желтого цвета; обычно именно этот оттенок и замечают пчелы. Лучше других насекомых красный цвет различают бабочки — они-то, как правило, и опыляют красные цветки

наших широт, например гвоздики. А вот среди тропических растений красный цвет более распространен, и отчасти это связано с тем, что опыляют их цветки не насекомые, а птицы: колибри или нектарницы, у которых зрение более развито.

Бывает, что у одного и того же растения окраска цветков с возрастом изменяется. Это хорошо заметно у ранневесеннего растения медуницы: розовый цвет ее молодых цветков сменяется по мере старения синим. Старые цветки медуницы пчелы уже не посещают: они, как правило, опылены и нектара не содержат. И в этом случае смена окраски служит сигналом для насекомых — не теряйте времени даром!

А вот у гилии (*Cilia*) — красивого растения из семейства синюховых, родственницы флоксов, произрастающей в горах штата Аризона (США), цветки первоначально имеют алый цвет, который, как уже отметили, привлекает птиц. Но когда колибри покидают горы, гилия меняет окраску вновь появляющихся цветков: они становятся бледно-красными или даже белыми.

Новый наряд приманивает бабочек, которые также опыляют гилию. Это открытие озадачило ботаников. Они занялись выяснением вопроса: изменение каких внешних условий (температуры, количе-



ства осадков и др.) служит сигналом растению гилии об отлете колибри и о необходимости смены окраски цветков?

Окраска большинства цветков определяется присутствием различных пигментов. Самые распространенные — каротиноиды, растворимые в жирах соединения: каротин, его изомеры и производные. В растворе все они имеют бледно-желтую, оранжевую или светло-красную окраску. Названия каротиноидов, содержащихся только в цветках, столь же красивы, как и придаваемая ими окраска: эшшольксантин, петалоксантин, газанияксантин, ауруксантин, хризантемаксантин, рубихром...

Наряду с каротиноидами окраску цветков определяют и антоцианы. Оттенки этих пигментов очень разнообразны —

от розового до черно-фиолетового. Несмотря на такое цветное многообразие, все антоцианы устроены по одному типу — они представляют собой гликозиды, то есть соединения сахара с неуглеводной частью, так называемым агликоном. Примером может служить красящее вещество, содержащееся в цветках василька, — антоцианин. Его агликон — цианидин — один из самых распространенных, образуется в результате отщепления двух молекул глюкозы от антоциана.

Как уже говорилось, антоциановые пигменты могут изменять свою окраску в зависимости от кислотности среды. Вспомните два вида герани, распространенной в средней полосе: герань лесную и герань луговую. У лесной лепестки розовые или лиловые, а у лу-

говой — синие. Различие в цвете обусловлено тем, что сок герани лесной более кислый. Если приготовить водную вытяжку из лепестков герани либо лесной, либо луговой — и изменить ее кислотность, то в кислой среде раствор станет розовым, а в щелочной — синим.

Такую же операцию можно проделать и над целым растением. Если цветущую фиалку поместить под стеклянный колпак рядом с блюдцем, куда налит нашатырный спирт (он при испарении выделяет аммиак), то ее лепестки станут зелеными; а если вместо нашатырного спирта в блюдце будет дымящаяся соляная кислота, они окрасятся в красный цвет.

Мы уже говорили, что одно и то же растение медуницы может иметь цветки разной окраски: розовые — молодые и синие — старые. Посинение лепестков по мере их старения можно объяснить индикаторными свойствами антоцианов. Клеточный сок растения, в котором растворен пигмент, имеет кислую реакцию, а цитоплазма — щелочную. Вакуоли с клеточным соком отделены от цитоплазмы мембраной, которая обычно непроницаема для антоцианов. Однако с возрастом в мембране возникают дефекты, и в результате пигмент начинает проникать из вакуолей в цитоплазму. А поскольку реакция здесь

иная, меняется и окраска цветков.

Чтобы убедиться в справедливости этой точки зрения, возьмите ярко-красный лепесток какого-то растения, например герани, розы, и раздавите его между пальцами. При этом также произойдет смешение содержимого цитоплазмы и вакуоли, в результате лепесток в месте повреждения посинеет.

Впрочем, было бы неправильно связывать окраску антоцианов лишь с их индикаторными свойствами. Исследования последних лет показали, что она определяется и некоторыми другими факторами. Цвет антоциановых пигментов может меняться, например, в зависимости от того, с какими ионами они находятся в комплексе. При взаимодействии с ионами калия комплекс приобретает пурпурную окраску, а с ионами кальция или магния — синюю. Если срезать цветущий колокольчик и поместить его в раствор, содержащий ионы алюминия, то лепестки посинеют. То же самое наблюдается, если соединить растворы антоцианина и соли алюминия.

Многим читателям, возможно, знаком роман Александра Дюма «Черный тюльпан», в котором в остросюжетной форме рассказывается о выведении сорта тюльпана необычного черного цвета. Вот как описывает его автор романа: «Тюль-

пан был прекрасен, чудесен, великолепен; стебель его восемнадцати дюймов вышины. Он стройно вытягивался кверху между четырьмя зелеными гладкими, ровными, как стрела, листьями. Цветок его был сплошь черным и блеснул, как янтарь».

Почти пять веков преследовали неудачи садоводов, пытавшихся вывести черный тюльпан. И вот, Фризский институт цветоводства в Гааге сделал официальное заявление о том, что в Голландии черный тюльпан получен в результате последовательного скрещивания двух сортов — «Царица ночи» и «Венский вальс». В работе принимали участие шесть голландских исследовательских центров. Полученный цветок идеален по своим классическим размерам.

Садоводы стремятся создать также черные розы. Выведены такие сорта, которые при неярком освещении действительно кажутся черными (на самом деле они темно-красного цвета). На Гавайских островах растут дикие черные розы.

В честь бессмертного произведения Гете «Фауст» садоводы создали сорт анютиных глазок черного цвета под названием «Доктор Фауст». Анютины глазки, как известно, были любимыми цветами великого немецкого поэта и ботаника.

Черная или почти черная окраска цветков обусловлена присутствием в околоцветнике антоцианов.

Кроме каротиноидов и антоцианов, лепесткам могут придавать окраску и другие вещества, в том числе флавоны и флавонолы.

А какой пигмент окрашивает в молочный цвет вишневые сады, превращает в снежно-белые сугробы кусты черемухи? Оказывается, никаких белых пигментов в их лепестках нет. Белый цвет придает им... воздух. Если рассмотреть под микроскопом лепесток черемухи или любого другого белого цветка, то можно увидеть множество прозрачных и бесцветных клеток, разделенных обширными пустыми промежутками. Именно благодаря этим заполненным воздухом межклетникам лепестки сильно отражают свет и потому кажутся белыми. А если раздавить такой лепесток между пальцами, то на месте сдавливания появится прозрачное пятно: здесь воздух будет вытеснен из межклетников.

И все же в природе есть белая краска, например, ею окрашена в нарядный белый цвет кора нашей любимой березы. Это красящее вещество так и называется — бетулин, от латинского названия березы — *Betula*.

Заблуждаются те, кто считает, что береза — единственное растение с белой корой.



Это не так. В Австралии произрастает эвкалипт затопляемый (*Eucalyptus grandis*). Он назван так потому, что растет в руслах пересыхающих рек и в сезон дождей оказывается стоящим в воде. Стволы этих эвкалиптов имеют чисто-белый цвет, эффектно выделяющийся на фоне окружающих зеленых зарослей.

У треххвойной сосны Бунге (*Pinus bungeana*) также белая кора. Это редкий вид, встречающийся в природе в основном в горах Центрального Китая. Растение разводится по всей стране возле дворцов и храмов. Белоствольные сосны производят неизгладимое впечатление.

Бывают и пестролистные растения. На их листьях есть участки, лишенные хлорофилла и поэтому окрашенные

в белый цвет. К таким растениям относятся, например, герань окаймленная, хлорофитум... Причина белой окраски у них та же, что и у лепестков черемухи, — наличие больших межклетников, наполненных воздухом. Отсутствие хлорофилла на определенных участках листьев этих растений не связано ни с какими внешними факторами — это генетически обусловленный признак. Некогда у их предков произошла мутация — хлорофилл появился не на всей поверхности листа, а только на его части. Человеку такие оригинальные растения понравились, и он начал их культивировать...

Еще много интересного можно было бы рассказать об окраске растений и о растительных пигментах, которые давно привлекают внимание



был найден в организмах и других животных: гидроидных полипов, медуз, кораллов, губок, коловраток, моллюсков. Выяснено, что некоторые морские брюхоногие моллюски, питающиеся сифоновыми водорослями, не переваривают хлоропласты этих растений, а длительное время содержат их в организме в функционально-активном состоянии. Хлоропласты сифоновых водорослей кодидума хрупкого (*Codium fragile*) и кодидума паутинистого (*C. tomentosum*), попадая в организм моллюсков, не перевариваются, а остаются в нем.

Попытки освободить моллюсков от хлоропластов, поместив их в темноту на полтора месяца, оказались безуспешными, равно как и выведение их из яиц. Бесхлоропластные личинки моллюсков погибали на ранней стадии развития.

Внутри животной клетки хлоропласты плотно упакованы и занимают значительный объем. Благодаря им моллюски, не имеющие раковины, оказываются окрашенными в интенсивно зеленый цвет.

Почему же сифоновые водоросли «полюбились» моллюскам? Дело в том, что в отличие от других зеленых водорослей они не имеют клеточного строения. Их крупное, часто причудливое по форме тело представляет собой одну гигантскую «клетку». Слово

«клетка» я взял в кавычки не случайно. Хотя клеточные стенки в теле сифоновых водорослей отсутствуют, вряд ли можно назвать их одноклеточными организмами, скорее это конгломерат не вполне разделившихся клеток. Подтверждением тому служит наличие не одного, а множества клеточных ядер. Такое строение назвали сифонным, а сами водоросли — сифоновыми. Отсутствие клеточных стенок, безусловно, облегчает процесс поглощения водоросли животными клетками.

Ну а каковы хлоропласты этого растения? В теле водоросли содержатся один или несколько хлоропластов. Если их много, они имеют дискообразную или веретенообразную форму. Одиночные обладают сетчатым строением. Ученые считают, что сетчатая структура создается в результате соединения мелких хлоропластов друг с другом.

Многие ученые наблюдали усвоение углекислого газа хлоропластами, находящимися в животных клетках. У свежесобранных моллюсков, элизин зеленой (*Elysia viridis*) интенсивность фотосинтетического усвоения углекислого газа составляла 55—67 процентов величины, определенной для неповрежденной водоросли кодидума хрупкого, из которого моллюскам были «приобретены» хлоропласты. Любопытно, что и содержание

хлорофилла на 1 грамм сырой массы ткани у водоросли и животного было сходным.

Благодаря фотосинтезу моллюски фиксировали углекислый газ на протяжении всех 93 дней опыта. Правда, скорость фотосинтеза постепенно ослабевала и к концу эксперимента составляла 20—40 процентов от первоначальной.

В 1971 году ученые наблюдали выделение кислорода в ходе фотосинтеза хлоропластов, находящихся в клетках тридакны (*Tridacna cristata*). Тридакны — типичные обитатели тропических морей. Особенно широко они распространены на коралловых рифах Индийского и Тихого океанов. Великаном среди моллюсков выглядит тридакна гигантская (*Tridacna gigas*), достигающая иногда длины 1,4 метра и общей массы 200 килограммов. Тридакны интересны для нас своим симбиозом с одноклеточными водорослями. Обычно они так располагаются на дне, чтобы их полупрозрачная мантия, выступающая между створками раковины, была обращена вверх и сильно освещалась солнцем. В ее межклеточном пространстве в большом количестве поселяются зеленые водоросли. Несмотря на значительные размеры, моллюск питается только теми веществами, которые вырабатывают водоросли-симбионты.

Любопытно отметить, что в

клетках водоросли хлоропласты образуют глюкозу и сахарозу. Между тем изолированные хлоропласты продуцируют только глюкозу. По-видимому, синтез сахарозы происходит не в хлоропластах, а в цитоплазме растительных клеток. Ну а в животных клетках хлоропласты вырабатывают шестиуглеродный сахар — галактозу. Как известно, галактоза входит в состав молочного сахара — дисахарида, молекула которого при гидролизе дает глюкозу и галактозу. Переход хлоропластов к синтезу галактозы означает, по всей вероятности, что их деятельность контролируется цитоплазмой животной клетки, благодаря чему вырабатывается такое вещество, которое может быть использовано именно животным организмом.

В Средиземном море и у берегов Франции в Атлантике встречается червь конволюта (*Convoluta*), у которого под кожным покровом также обитают зеленые водоросли, осуществляющие синтез органических веществ из неорганических. Благодаря активности своих «квартирантов» червь не нуждается в дополнительных источниках пищи, поэтому желудочно-кишечный тракт у него атрофировался.

Во время отлива множество конволют покидает свои норы для того, чтобы принять солнечные ванны. В это время

водоросли под их кожей интенсивно фотосинтезируют. Некоторые виды этих червей находятся в полной зависимости от своих поселенцев. Так, если молодой червь не «заразится» водорослями, то погибнет от голода. В свою очередь водоросли, поселившиеся в теле конволюты, теряют способность к существованию вне его организма. «Заражение» происходит с помощью «свежих», не живших еще в симбиозе с червями водорослей в момент, когда личинки червя выходят из яиц. Эти водоросли, по всей вероятности, привлекаются какими-то веществами, выделяемыми яйцами червей.

В связи с рассмотрением вопроса функционирования хлоропластов в клетках животных чрезвычайно большой интерес представляют опыты американского биохимика М. Насса, в которых было показано, что хлоропласты сифоновой водоросли каулерпы, харовой водоросли нителлы, шпината и африканской фиалки захватываются клетками соединительной ткани (так называемыми фибробластами) мышей. Обычно в фибробластах, заглотавших инородное тело (этот процесс ученые называют фагоцитозом), вокруг поглощенной частицы образуется вакуоль. Постепенно чужеродное тело переваривается и рассасывается — исчезает. Когда же в

клетки ввели хлоропласты, вакуоли не возникали, а фибробласты даже не пытались их переварить.

Пластиды сохраняли свою структуру и способность к фотосинтезу на протяжении трех недель. Клетки, ставшие из-за их присутствия зелеными, нормально делились. При этом хлоропласты стихийно распределялись по дочерним клеткам. Пластиды, находившиеся в фибробластах около двух дней, а затем вновь выделенные, оставались неповрежденными. Они усваивали углекислый газ с такой же скоростью, с какой фотосинтезировали свежие хлоропласты, выделенные из растений.

Приведенные примеры говорят о том, что некоторые животные могут питаться органическими веществами, образованными в ходе фотосинтеза в их теле. Однако синтезируют эти вещества не сами животные, а находящиеся в них хлоропласты. Вместе с тем на Земле нет ни одного достаточно большого и сложного организованного животного-автотрофа, питающегося по принципу зеленых растений.

Предположим, что в ходе эволюции возникнут такие существа или их обнаружат на других планетах. Какими они должны быть?

Ученые полагают, что в таком животном хлорофилл будет сосредоточен в коже, куда свободно проникает свет,

необходимый как для синтеза зеленого пигмента, так и для образования органических веществ. «Зеленый человек» должен делать кое-что наоборот: днем, подобно сказочному королю, ходить в невидимой для всех одежде, а ночью, напротив, одеваться, чтобы согреться.

Проблема заключается в том, сможет ли такой организм получать с помощью фотосинтеза достаточно пищи. Исходя из максимально возможной интенсивности фотосинтеза растений в самых благоприятных условиях существования, можно подсчитать, сколько органического вещества сможет образовать зеленая кожа этого человека. Если принять, что 1 квадратный дециметр зеленого растения за 1 час синтезирует 20 миллиграммов сахаров, то 170 квадратных дециметров человеческой кожи, доступной солнечным лучам, смогут образовать за это время 3,4 грамма. За 12-часовой день количество органического вещества составит 40,8 грамма. В этой массе будет концентрироваться около 153 калорий энергии. Такого количества явно недостаточно для удовлетворения энергетических потребностей человеческого организма, которые составляют 2000—4000 калорий в сутки.

Примем во внимание, что

«зеленому человеку» не нужно думать о пропитании и быть слишком деятельным, поскольку пища сама поступает в его организм из хлоропластов кожи. Нетрудно прийти к заключению, что отсутствие физической нагрузки и малоподвижный образ жизни сделают его похожим на обычное растение. Иначе говоря, «зеленого человека» весьма трудно будет отличить от опунции.

Расчеты исследователей показывают: для того, чтобы образовать достаточное количество органического вещества, «зеленый человек» в ходе эволюции должен в 20 раз увеличить поверхность своей кожи. Это может произойти за счет возрастания числа складок и отростков. Для этого ему необходимо будет обзавестись подобием листьев. Если это произойдет, то он станет совсем малоподвижным и еще более похожим на растение.

Таким образом, существование крупных фотосинтезирующих животных и человека на Земле и в космосе едва ли возможно. Ученые полагают, что в любой биологической системе, хотя бы отдаленно напоминающей биосферу Земли, обязательно должны существовать растительноподобные организмы, обеспечивающие пищу и энергией как самих себя, так и животных.

И дышит сад легко, глубоко  
Всей грудью яблонь, груш и слив...

Вс. Рождественский «Дождь»

### Непопулярная тема

Дыхание растений — тема, которую почему-то не очень любят авторы научно-популярной литературы. Если о фотосинтезе написано немало книг, то о дыхании — ни одной. Мало того, во многих книгах, описывающих жизнь растений, о дыхании даже не упоминается или говорится ничтожно мало. А ведь этот процесс, как считают физиологи растений, — центральное звено в обмене веществ растительной клетки. Кроме того, он имеет немало чрезвычайно любопытных моментов, которые интересуют не только специалистов, но и непосвященного читателя.

Но прежде нам нужно ответить на вопрос, что такое дыхание? Дыхание — это совокупность процессов, обеспечивающих поступление в организм кислорода, использование его в биологическом окислении органических веществ и удалении из организма углекислого газа. Различают внешнее и тканевое (клеточное) дыхание. Поступление кислорода и удаление углекислого газа — это внешнее дыхание, а использование его

в биологическом окислении — клеточное.

У многоклеточных животных в ходе эволюции по мере увеличения размеров тела возникли органы внешнего дыхания — жабры и легкие. У растений ни того, ни другого нет. Поступление в организм кислорода и выделение углекислого газа происходит у них обычно через устьица. Перемещаясь по межклетникам за счет диффузии молекул, кислород проникает затем в клетки и используется на окисление органических веществ.

Почему растения дышат? Дело в том, что для процессов жизнедеятельности (синтеза различных веществ, их перемещения через мембраны клеток, движения цитоплазмы и т. п.) необходима не энергия вообще, а энергия, заключенная в макроэргических связях АТФ. Как мы уже знаем, АТФ образуется при фотосинтезе в ходе так называемых световых реакций. Это значит, что для ее образования свет обязателен.

Но ведь растение освещается солнцем не круглые сутки. Ночью фотосинтез не идет и, следовательно, АТФ не обра-

зается. Выходит, растение должно ночью замирать, то есть останавливать жизненные процессы, связанные с поглощением энергии? Этого не происходит, потому что все живые клетки дышат, причем и днем, и ночью.

Вернемся к фотосинтезу. Энергия солнечных лучей трансформируется не только в энергию макроэргических связей АТФ, но и химических связей органических веществ — углеводов, жиров, белков. Эти вещества могут быть отложены про запас в виде сахарозы (в корнях сахарной свеклы), крахмала (в клубнях картофеля), масла (в семенах подсолнечника). Энергию, заключенную в химических связях глюкозы, сахарозы или жира, растения использовать непосредственно на процессы жизнедеятельности не могут. Предварительно они должны трансформировать ее в энергию макроэргических связей АТФ. Этот процесс и происходит при дыхании. Органические вещества, образованные в ходе фотосинтеза, должны подвергнуться химической переработке, прежде чем они включатся в состав тела растения. Эта химическая трансформация продуктов фотосинтеза также осуществляется при дыхании — сложном многоступенчатом процессе с множеством химических реакций. Промежуточные продукты этого процесса очень часто ис-

пользуются клетками для синтеза необходимых им веществ, например аминокислот, из которых затем строятся белки цитоплазмы. В этом еще одно чрезвычайно важное значение дыхания.

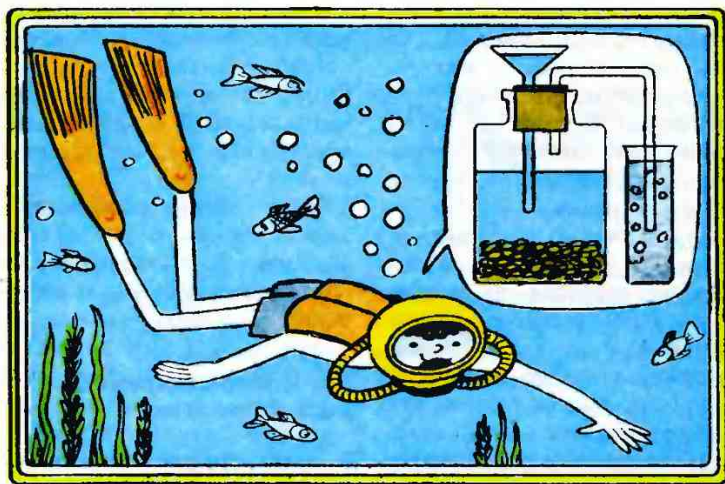
Приостановка дыхания вызывает гибель клеток. Таким образом, этот процесс играет исключительную роль в жизни растений.

### **Как можно обнаружить дыхание растений?**

В колбу или склянку с широким горлышком поместите прорастающие семена. Сосуд закройте пробкой с двумя отверстиями. В одно вставьте воронку, а в другое — газоотводную трубку. Сосуд с растительным материалом на два-три часа поставьте в теплое место.

Затем газоотводную трубку вставьте в пробирку с прозрачным раствором известковой или баритовой воды. Через воронку в сосуд с семенами будем наливать воду. Вытесненный водой газ станет проходить через раствор гидроксида кальция или бария. Скопившийся в результате дыхания углекислый газ, проходя через известковую или баритовую воду, вызовет ее помутнение вследствие образования нерастворимого в воде карбоната кальция (бария).

В аналогичном опыте, с су-



химии семенам, помутнение известковой воды будет незначительное и в основном за счет углекислого газа, содержащегося в воздухе. А это значит, что прорастающие семена дышат значительно интенсивнее, чем сухие. В процессе дыхания выделяется углекислый газ.

Дышат не только семена, но и корни, стебли, цветки, плоды, листья растения. В этом нетрудно убедиться, поместив их поочередно в сосуд вместо семян. Когда для исследования берутся зеленые части растений (листья), то следует исключить фотосинтез, поскольку в ходе этого процесса происходит поглощение углекислого газа. Для этого сосуд можно покрыть светонепроницаемым материалом.

Фотосинтез и дыхание в известной мере противоположны

друг другу. Если при фотосинтезе происходит выделение кислорода, усвоение углекислого газа, образование органических веществ и накопление в них химических связей энергии, то в ходе дыхания кислород поглощается, углекислый газ выделяется в окружающую среду, органические вещества разрушаются с высвобождением заключенной в них энергии.

### **Две фазы дыхательного процесса**

Когда какой-нибудь органический материал, например глюкоза, сгорает, то вся содержащаяся в нем энергия высвобождается главным образом в виде тепла. Для растений выделение такого большого количества энергии было бы не только бесполезным, но

и вредным. Им удается высвободить энергию, заключенную в органических соединениях, постепенно, в ходе многочисленных реакций. Благодаря этому энергия выделяется небольшими порциями, которые и аккумулируются в АТФ.

В 1780 году французский химик Антуан Лавуазье сказал: «Дыхание есть горение». Действительно, уравнения дыхания и горения идентичны. Однако, по существу, это процессы разные. Горение — химический, а дыхание — физиологический, регулируемый растением. В первом случае энергия органического вещества переходит в тепловую, а та, в свою очередь, совершает работу (приводит в движение машину). Во втором — энергия химических связей органических соединений трансформируется в АТФ, которая используется на процессы жизнедеятельности. Правда, при дыхании, как мы увидим дальше, часть энергии также выделяется в виде тепла, которое не участвует в совершаемой растением работе.

В ходе химических реакций, происходящих при дыхании, молекула органического вещества, например глюкозы, претерпевает множество превращений, прежде чем образуются конечные продукты — углекислый газ и вода. Процесс дыхания можно разделить на две фазы. Первая,

анаэробная, получила название гликолиза. Она включает около десятка реакций, которые идут без потребления кислорода. При этом молекула глюкозы  $C_6H_{12}O_6$  превращается в две молекулы пировиноградной кислоты

COOH

|  
C=O

|  
CH<sub>3</sub>.

Гликолиз начинается с очень ответственной реакции присоединения к молекуле глюкозы остатка фосфорной кислоты от АТФ:

глюкоза + АТФ → глюкозофосфат + АДФ.

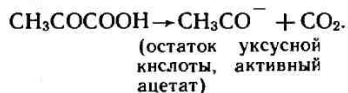
В результате происходит активирование молекулы глюкозы, и она приобретает способность к дальнейшим превращениям.

Не останавливаясь на всех реакциях гликолиза, отметим лишь, что в процессе превращения глюкозы в две молекулы пировиноградной кислоты образуется четыре молекулы АТФ, из которых две затрачиваются на процессы фосфорилирования. Итак, в ходе гликолиза молекулы глюкозы накапливаются две молекулы АТФ (4—2). При этом в макроэргических связях АТФ запас энергии всего 61,2 кДж, что довольно немного.

Вторая фаза дыхания — это превращение пировиноградной кислоты в углекислый газ и воду. Она идет с потреб-

лением кислорода, поэтому называется аэробной.

Сначала пировиноградная кислота подвергается декарбоксилированию, то есть отщеплению углекислого газа:



Любопытно отметить, что эта реакция тормозится избытком АТФ. Превращение пировиноградной кислоты подавляется. Это имеет важное значение, поскольку исключает бесполезную трату веществ на дыхание.

В 1935 году известный венгерский биохимик А. Сент-Дьердьи установил, что добавление небольшого количества органических кислот (фумаровой, янтарной, яблочной, щавелево-уксусной) усиливает поглощение кислорода измельченными тканями. Этим любопытным явлением заинтересовался английский биохимик Г. Кребс, который в 1937 году предложил схему циклического превращения органических кислот при дыхании. Эта схема получила название цикла Кребса.

В ходе цикла Кребса триуглеродная пировиноградная кислота отщепляет три молекулы углекислого газа. Соответственно две ее молекулы, образовавшиеся из молекулы глюкозы, дадут шесть молекул  $\text{CO}_2$ . Это ровно столько, сколько выделяется при окис-

лении молекулы глюкозы в соответствии с уравнением дыхания. Но при дыхании образуется еще вода. Как же это происходит?

В реакциях цикла Кребса выделяется пять пар водородных атомов. Их электроны несут энергию, которая когда-то принадлежала солнечным лучам. Эти атомы присоединяются к молекулам никотинамидадениндинуклеотида (НАД). Всего же при окислении одной молекулы глюкозы образуется шесть пар атомов водорода, но одна отделилась и перешла к НАД еще в ходе гликолиза.

НАД — первый переносчик электронно-транспортной цепи, расположенной в митохондриях — органоидах клетки, в которых проходит процесс дыхания. Цепь переноса электронов состоит также из флавинадениндинуклеотида (ФАД), кофермента Q и целой системы цитохромов — веществ, близких по структуре к молекуле хлорофилла, но содержащих не магний, а железо. Различают цитохромы b, c, a и  $a_3$  (цитохромоксидаза).

Когда атомы водорода поступают к коферменту Q, происходит разделение движения протона и электрона. Электроны направляются в систему цитохромов. Достигнув цитохрома  $a_3$  (цитохромоксидазы), они передаются затем на атомы кислорода, активируя их:





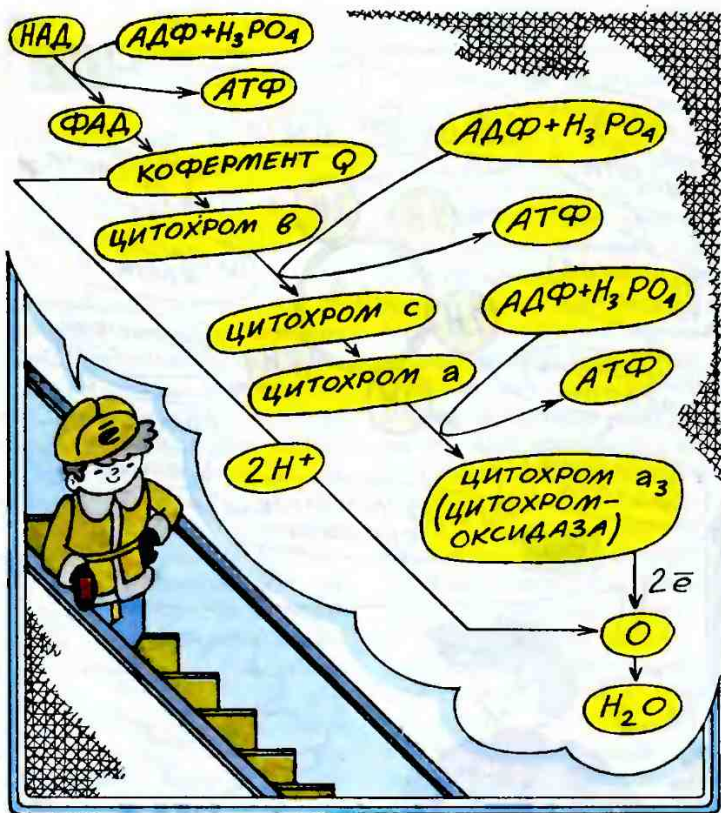
Едва возникнут активированные атомы кислорода, а протоны уже тут как тут. Из двух протонов и атома кислорода образуется молекула воды:



Напомним, что от одной

молекулы глюкозы в ходе процесса дыхания отщепляется шесть пар водородных атомов. Таким образом, образуется и шесть молекул воды, то есть столько, сколько следует из уравнения дыхательного процесса.

Итак, мы проследили, как



в ходе дыхания возникают конечные продукты — углекислый газ и вода. Остается сказать несколько слов об АТФ. При движении электронов по цепи транспорта их энергия переходит в энергию макроэргических связей АТФ, которая образуется из АДФ и остатка фосфорной кислоты. Окисление одной молекулы пировиноградной кислоты до углекислого газа и воды сопровождается образованием

15 молекул АТФ, а двух, соответствующих одной молекуле глюкозы, — 30. Присовокупим сюда шесть молекул АТФ, образовавшихся за счет прохождения по цепи транспорта двух пар атомов водорода, отщепленных в анаэробной фазе дыхания. И плюс две молекулы АТФ, непосредственно синтезированные в ходе гликолиза. Итого при дыхании на одну молекулу глюкозы образуется 38 молекул АТФ.

На их синтез затрачивается 1162,8 кДж энергии. А всего в молекуле глюкозы аккумулировано 2824 кДж. Приняв общее количество энергии, заключенной в молекуле глюкозы, за 100 процентов, нетрудно рассчитать эффективность дыхательного процесса, то есть количество энергии, аккумулированной в макроэнергетических связях АТФ (в процентах):

$$\frac{1162,8 \cdot 100}{2824} = 41.$$

Ну а куда подевалась остальная энергия (59 процентов) химических связей глюкозы? Она в процессе трансформации из одного состояния в другое рассеялась в основном в виде тепла. О выделении тепла при дыхании мы поговорим подробнее чуть ниже.

### Откуда взялись митохондрии?

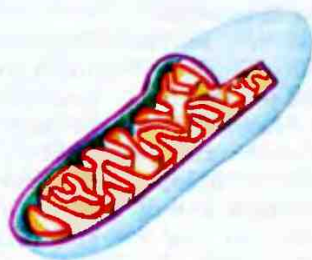
Митохондрии по праву называют силовыми станциями клетки. Именно в них протекают реакции аэробной фазы дыхания, происходит образование значительного количества АТФ, необходимой для процессов жизнедеятельности.

Если рассмотреть разрезанную вдоль митохондрию под электронным микроскопом, то мы увидим, что она имеет удлиненную форму. Снаружи митохондрия окружена двой-

ной мембраной. Внутри имеется студнеобразная полужидкая масса, в которую как бы упираются выросты внутренней мембраны. Их ученые назвали кристами. Кристы во много раз увеличивают поверхность внутренней мембраны митохондрии, где расположены ферменты — катализаторы биохимических реакций, а также компоненты цепи переноса электронов. Увеличение поверхности внутренней мембраны позволяет клетке осуществлять дыхание с большой скоростью и эффективностью.

Еще в 1890 году в Лейпциге появилась книга немецкого цитолога А. Альтмана «Элементарные организмы и их роль в клетке». Рассматривая в обычный микроскоп животные клетки, ученый пришел к заключению, что митохондрии есть не что иное, как примитивные саморазмножающиеся создания. Альтман предложил назвать их биобластами.

В настоящее время эта точка зрения получила довольно



Строение митохондрии.

широкое распространение. Ученые предполагают, что когда-то митохондрии (а также хлоропласты) были самостоятельными организмами. На каком-то этапе эволюции живой природы они внедрили в примитивную, содержащую ядро клетку и стали выполнять в ней дыхательную функцию.

Какие же факты говорят в пользу этой гипотезы? В 1963 году американский биохимик М. Насс, которого мы уже упоминали в связи с культивированием хлоропластов в фибробластах мышей, обнаружил, что, во-первых, в митохондриях имеется собственная дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК), причем она существенно отличается от ДНК животных и растительных клеток. Кольцеобразная форма делает ее сходной с ДНК бактерий. Во-вторых, митохондрии размножаются в клетке сами по себе, независимо от ее делений. И, кроме того, они очень похожи на бактерии по своим размерам, химическому составу мембран и другим признакам.

И тем не менее проблему происхождения митохондрий нельзя считать решенной. К сожалению, мы не можем осуществить прямой эксперимент по превращению бактериальной клетки в митохондрию, так как на это уйдут тысячелетия. Но если вспомнить приведенные выше фак-

ты успешного сожительства клеток животных с другими органоидами, например хлоропластами, то можно сказать, что даже на уровне современной организации хлоропластов и митохондрий симбиоз этих органоидов с клетками различных животных возможен. Следовательно, в ходе эволюции митохондрии и хлоропласты могли возникнуть из организмов — внутриклеточных симбионтов.

Если выдвинутая гипотеза происхождения митохондрий верна, то возникает ряд щекотливых вопросов. Один из них связан с широким использованием современной медициной антибактериальных препаратов типа антибиотиков. Если митохондрии не что иное, как бактерии, то, используя антибиотики, не подрываем ли мы силовые станции своего собственного организма? И этот вопрос, по всей вероятности, далеко не праздный. Установлено, что антибиотик левомецетин тормозит синтез белка в митохондриях, а тетрациклин прекращает образование АТФ и включает в митохондриях окислительные реакции.

### **Большие дела крошечных клеток**

Дрожжи — поистине уникальное творение природы. Поражают темпы их размножения и синтеза различных веществ.

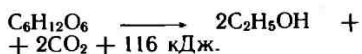


Так, например, в благоприятных условиях содержания корова, масса которой составляет 500 килограммов, синтезирует за сутки около 0,5 килограмма белка. За то же время пятисоткилограммовая масса дрожжей может образовать белковых веществ в сто тысяч раз больше! И это несмотря на то, что размеры дрожжевых клеток ничтожны — 1—10 микрон. Неудивительно, что в настоящее время они широко используются в биотехнологическом производстве различных веществ, и в первую очередь белков. Дрожжевой белок сбалансирован по аминокислотам, в этом отношении сходен с животным. Это позволяет использовать его не только в качестве корма для животных, но и для производства белковых концентратов, искусственных пи-

щевых продуктов, а также для обогащения белком натуральных продуктов (хлеба, муки, крупы и др.). Помимо белка дрожжи содержат целый ряд ценных веществ (углеводы, гормоноподобные соединения, ферменты, витамины). В частности, они — наиболее богатый источник витаминов группы В, витамина D и, следовательно, ценное сырье для витаминной промышленности.

Но сейчас нас интересует необычное дыхание дрожжей. Дрожжевые клетки, как и клетки животных и зеленых растений, имеют митохондрии и потому могут осуществлять нормальное дыхание. Попав в анаэробные условия, они не погибают от недостатка энергии, а переходят к спиртовому брожению. Процесс этот идет очень активно. В результате из глюкозы образуются угле-

кислый газ и этиловый спирт.



Какие же реакции лежат в основе спиртового брожения? Первоначально молекула глюкозы превращается в две молекулы пировиноградной кислоты, как и в ходе анаэробной фазы дыхания растений. Затем пировиноградная кислота отщепляет молекулу углекислого газа с образованием уксусного альдегида (ацетальдегида):



А после этого уксусный альдегид восстанавливается водородом, переносимым с помощью НАД, до этилового спирта.



Итак, всего две реакции приводят к образованию из пировиноградной кислоты углекислого газа и этилового спирта.

Для чего дрожжи сбрасывают сахара? Конечно же не для того, чтобы утолить свои потребности в этиловом спирте: при достижении концентрации спирта около 15 процентов их деятельность парализуется. Брожение, как и дыхание, служит для них источником энергии, необходимой для процессов жизнедеятельности. Однако энергетическая

эффективность брожения значительно ниже, чем дыхания. Если при брожении в соответствии с уравнением выделяется 116 кДж, то при дыхании — 2824 кДж, то есть в 25 раз больше! И это вполне понятно, поскольку этиловый спирт, образующийся в результате брожения, сам по себе обладает значительным энергетическим потенциалом: подожгите его, и он будет гореть, выделяя много тепла. А вот при дыхании конечными продуктами являются углекислый газ и вода — вещества в энергетическом отношении инертные. Неудивительно, что и АТФ при брожении образуется значительно меньше, чем при дыхании. Для того чтобы обеспечить свои энергетические потребности за счет спиртового брожения, дрожжам приходится вести его очень интенсивно, перерабатывать большое количество сахаров. И все равно они испытывают дефицит энергии: в анаэробных условиях дрожжевые клетки плохо растут, медленно делятся, совсем не так, как в аэробных, при широком доступе кислорода. Вот почему производство биомассы дрожжей идет в аэробных условиях. Процесс ведут в особых ферментерах, используя в качестве питательной среды отходы целлюлозно-бумажной и сахароваренной промышленности, а также парафины нефти. В настоящее

время разрабатывается технология культивирования дрожжей с использованием в качестве сырья природного газа.

В крупных ферментерах в результате дыхания дрожжевых клеток накапливается большое количество тепла. Отвод его — задача достаточно трудная. Однако если тепло не удалить, то дрожжевые клетки погибнут от высокой температуры.

### **Время рыбам нереститься**

Если сравнить дыхание и брожение, то нетрудно заметить, что до образования пировиноградной кислоты эти процессы идентичны и не нуждаются в присутствии кислорода. Это обстоятельство можно истолковать следующим образом. Первоначально на Земле были анаэробные условия, и первые организмы для удовлетворения своих энергетических потребностей использовали брожение. Когда же в атмосфере Земли в результате фотосинтеза анаэробных синезеленых водорослей накопилось достаточное количество кислорода, эволюция живой природы пошла по пути усложнения механизма извлечения энергии: анаэробный процесс был дополнен аэробным, который оказался более эффективным. Неудивительно, что аэробные организмы получили преиму-

щественное распространение в природе.

Что будет с зеленым растением, если его поместить в анаэробные условия? Оно начнет перерабатывать глюкозу в этиловый спирт. В этом нетрудно убедиться на опыте. Поле, на котором росла люцерна, ученые затопили водой на 12 суток. Вскоре в корнях растений они обнаружили довольно много этилового спирта. Спирт поднимался из корней в надземные части вместе с током воды. Достигнув листьев, он начал выделяться через устьица в атмосферу. Через семь дней на люцерне возникли признаки повреждения. Если растения целиком находятся в воде, то в этом случае отрицательные последствия кислородного голодания проявляются не так резко. Например, пойменная растительность во время разлива рек может без вреда находиться под водой в течение недель, так как образующийся при этом спирт вымывается из тканей в воду.

В бассейне реки Амазонки продолжительные разливы — явление частое. В образующихся при этом непроточных мелких, хорошо освещенных водоемах в результате жизнедеятельности растений накапливается значительное количество спирта. Местные жители даже используют воду из таких водоемчиков для приготовления напитка.

Интересно отметить, что некоторые местные рыбы начинают метать икру только тогда, когда в воде накапливается некоторое количество спирта. Он служит для них своеобразным сигналом к началу нереста. Даже в аквариумных условиях эти виды рыб не приступают к икрометанию до тех пор, пока хозяин не добавит в воду несколько капель спирта.

Ну а на поле, временно залитом водой, чтобы предупредить накопление в культурных растениях этилового спирта и, как следствие этого, возможное отравление их и снижение урожайности, следует провести рыхление.

### **Растения на болоте**

В воздухе, как известно, содержится 21 процент кислорода. Этого вполне достаточно для растений. Однако в ряде случаев они испытывают затруднения в его получении.

Чаще всего от недостатка кислорода страдают корни. В почве с хорошей комковатой структурой воздух содержит 7—12 процентов этого газа. При плохой обработке его количество снижается до двух процентов. Еще меньше кислорода содержится в бесструктурных и сильно заболоченных почвах. В этом случае корневая система начинает повреждаться, что приводит к торможению ее роста, к отми-

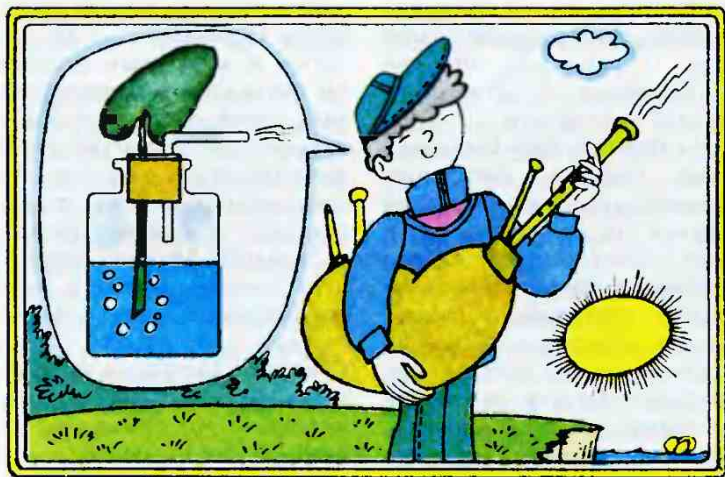
ранию корней и гибели растений.

Мимоза стыдливая, моментально складывающая свои листочки даже от легкого прикосновения, в анаэробных условиях впадает в состояние оцепенения. Чрезвычайно чувствительное растение, она не реагирует ни на какие раздражители.

Следует заметить, что у растений разных видов реакция на дефицит кислорода неодинакова. Рис — одно из самых нетребовательных к содержанию кислорода культурных растений. Более того, он лучше растет при недостатке кислорода, нежели в обычной атмосфере, поэтому его высаживают на поля, затопленные водой.

Среди дикорастущих видов есть немало таких, которые хорошо приспособились к условиям дефицита кислорода. Так, например, некоторые болотные растения (камыш, ситник) имеют особую воздухоносную ткань — аэренхиму. Аэренхима состоит из клеток, отделенных друг от друга большими межклетниками. Воздух, находящийся в них, обеспечивает все органы растений кислородом.

Летом во время купания срежьте черешок листа кувшинки. На срезе можно заметить, что он имеет ячеистую структуру и напоминает губку. Это так называемые воздухоносные ходы, посредством ко-



торых лист сообщается с аэренхимой корневища.

Убедиться в том, что корневища водных растений сообщаются с атмосферным воздухом через лист, нам поможет следующий опыт. Закроем склянку, наполненную до половины водой, резиновой пробкой с двумя отверстиями. В одно плотно вставим черешок листа кувшинки или стрелолиста. Для большей герметичности края отверстия обмажем пластилином или вазелином. Черешок листа должен почти касаться дна склянки. Во второе вставим короткую стеклянную трубку, через которую будем откачивать воздух. Если нет под рукой специального насоса, можно отсосать воздух из склянки ртом. Вскоре из основания черешка будут выделяться многочисленные пузырьки воз-

духа. Это связано с тем, что он легко проходит через устьица (у кувшинки они расположены на верхней стороне листа) и воздухоносные ходы черешка.

Любопытно отметить, что, когда ученые поместили корневища аира, тростника, манника и вахты трехлистной в обычную воздушную среду, они по-прежнему получали большую часть необходимого им кислорода через листья. Так что болотные растения хорошо приспособлены к жизни в своеобразных условиях затопления корневой системы. Изменение содержания кислорода в среде, окружающей корневища, не влияет на процесс его поглощения через поверхность подземных органов и уровень концентрации внутри корневища. А вот если срезать побег и закупорить

место среза, то концентрация кислорода в корневище начнет резко сокращаться, хотя оно и находится в атмосфере, богатой кислородом.

По берегам Юго-Восточной Азии, Океании, Австралии, Мадагаскара, Экваториальной Африки на границе моря и суши, подверженной приливам и отливам, обитают так называемые мангровые растения. К ним относятся свыше 40 видов деревьев и кустарников, приспособившихся к жизни в специфических условиях — два раза в сутки во время прилива они по самые кроны бывают погружены в воду. По этой причине мангры по праву можно назвать растениями-амфибиями. Когда же вода покидает мангровые заросли, обнажается илистый грунт, пронизанный хитросплетениями корней. Из-за интенсивного разложения органических остатков воздух здесь пахнет гнилью и сероводородом, а илистый субстрат практически лишен кислорода. Как же мангровые растения, их корни могут дышать в этих очень своеобразных условиях?

Мангры получают кислород из воздуха при помощи особых дыхательных корней-пневматофоров, которые в отличие от обычных растут не вниз, а вверх. У сиририты из семейства комбретовых дыхательные корни выступают над водой на 10—12 сантиметров и

имеют толщину два-три сантиметра. Поверхность их ноздреватая. К мангровым растениям принадлежат и представители родов — лагункулария и люмнитцера. Лагункулария встречается в мангрове Атлантического океана — в Центральной и Южной Америке и Западной Африке. Люмнитцера распространена у берегов Восточной Африки, Мадагаскара, тропической Азии, Северной Австралии и Полинезии. Лагункулария и люмнитцера — это небольшие деревца, возвышающиеся на шесть — десять метров. Дыхательные корни люмнитцеры образуются на горизонтальных корнях и имеют вид колчатых выростов.

У авиценнии из семейства вербеновых, названной так в честь прославленного врача древности Абу Али ибн Сины (Авиценны) и распространенной практически во всех тропических странах океанического побережья, дыхательные корни представляют собой прямостоячие отростки, возвышающиеся на 20—25 сантиметров над поверхностью почвы. Они состоят из рыхлой ткани, между клетками которой находятся большие полости. Благодаря интенсивному развитию межклетников воздух успешно проникает в находящиеся в иле корни.

Приспособлены к условиям анаэробнозиса не только корни мангровых растений, но и их

листья. Так, например, у авиценнии, которая во время прилива почти полностью покрывается водой, нижняя их поверхность сильно опушена волосками. При погружении в воду между волосками задерживаются многочисленные пузырьки воздуха, кислород которого растение использует, находясь под водой.

Пневматофоры имеются не только у мангров, но и у растений, произрастающих на пресноводных болотах тропических и умеренных широт. В Новой Гвинее они обнаружены у ротанговой пальмы — лазающей лианы, стебли которой достигают иногда 200—300 метров.

В Северной Америке они встречаются у болотного кипариса — величественного дерева высотой 36—45 метров, с диаметром ствола до двух метров. Нежно-зеленая хвоя этого растения осенью приобретает багряный оттенок и вскоре опадает. Оно ценится в декоративном садоводстве. Дендрологи создали немало его декоративных форм. Древесина кипариса болотного прочная, красивого цвета, устойчива к гниению даже во влажном теплом климате. Характерная особенность дерева — образование пневматофоров. Они подобно цилиндрам выступают над поверхностью субстрата. Особенно хорошо развиты пневматофоры у экземпляров, растущих

недалеко от кромки (уреза) воды. Помимо участия в газообмене дыхательные корни придают дереву устойчивость в зыбком грунте. При перемещении по болотам люди ступают по пневматофорам кипариса, как по мостовой. Мексиканцы устраивают в них ульи.

В Европу болотный кипарис завезли в 1640 году, а в 1813 он был интродуцирован в Никитский ботанический сад (Ялта). Но в Крыму растение чувствует себя неважно. На территории Узбекистана первые посадки были произведены в 1882 году. До нас сохранилось только пять деревьев, растущих на берегу пруда в городском парке культуры и отдыха Самарканда. Единичные деревья приблизительно такого же возраста имеются в Фергане, Намангане, Аидижане. В Ботаническом саду АН УзССР (Ташкент) на берегу искусственного водоема произрастает около трех десятков 33-летних деревьев. В условиях Самарканда растение успешно образует пневматофоры, расположенные в одну линию по урезу воды и сросшиеся в живую стенку длиной более чем 27 метров. Верхняя ее часть напоминает гребень из коленообразных верхушек пневматофоров. Такая стенка из воздушных корней успешно защищает почвогрунты от волнобоя. В условиях Ботанического сада АН УзССР обра-

зование пневматофоров начинается в возрасте 16 лет.

В последние годы ученые заинтересовались биохимическими особенностями растений, успешно произрастающих в сырых местах, и выяснили много любопытного. Оказалось, что камыш, манник, ива в условиях нормального снабжения кислородом дышат в два-три раза слабее, чем растения, не приспособленные к кислородному дефициту (фасоль, горох, пшеница, тополь). Пониженная интенсивность дыхания болотных растений связана с их низкой потребностью в кислороде. Содержание углеводов в их корнях выше, а траты при недостатке кислорода более экономны, чем у обычных растений. Любопытно, что болотные и водные растения в условиях анаэробноза накапливают не этиловый спирт, а менее ядовитые вещества — молочную и яблочную кислоты. Эти соединения либо выделяются в окружающую среду, либо транспортируются из корней в листья, где могут подвергаться дальнейшим превращениям.

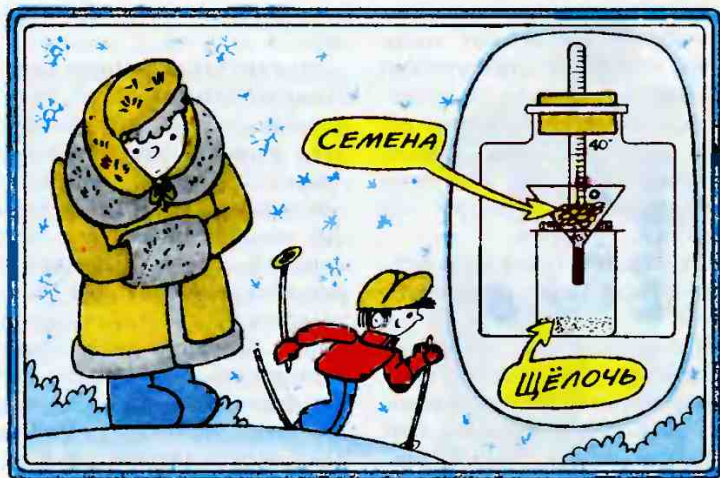
Итак, водные и болотные растения приспособились переносить недостаток кислорода в субстрате, на котором они растут, двумя способами: путем изменения обмена веществ и с помощью особой структуры. Ученые считают, что биохимические приспособления к дефи-

циту кислорода менее эффективны, чем анатомические. Как бы ни были экономны в своих энергетических тратах устойчивые к анаэробнозу растения, при длительном кислородном голодании они все равно повреждаются. Вместе с тем наличие аэренхимы и пневматофоров позволяет им успешно осваивать субстраты, где другие организмы жить не могут.

### **У растения повысилась температура**

Как мы уже знаем, при дыхании большое количество энергии глюкозы тратится непродуктивно, рассеиваясь в виде тепла. Выделение тепла растениями можно легко обнаружить в эксперименте. Замочите семена пшеницы на 12 часов в воде, а затем распределите их на влажной фильтровальной бумаге. Прорастающие семена поместите в сосуд Дьюара или в термос, накройте ватой и вставьте в нее термометр. Через некоторое время вы обнаружите разницу между температурой окружающего воздуха и температурой семян.

Если нет термоса, можно проделать этот опыт следующим образом. Положите проросшие семена в воронку емкостью 150—200 миллилитров, нижняя часть которой закрыта ватой для того, чтобы семена не просыпались через отверстие. Вставьте ее в стакан с небольшим количеством щело-



чи, предназначенной для поглощения выделяющегося при дыхании углекислого газа, затем стакан опустите в сосуд и закройте его пробкой с закрепленным в ней термометром. Ртутный шарик должен быть погружен в семена. Опыт показывает, что они имеют более высокую температуру, чем окружающий воздух.

А теперь совершим экскурсию на природу и убедимся, что повышение температуры у растений — не такое уж редкое явление.

Уборка урожая — ответственный этап в сельскохозяйственном производстве. В случае ненастной погоды, наступления ранних холодов приходится убирать зерно повышенной влажности, которое нельзя хранить в кучах. Дело в том, что оно интенсивно дышит, выделяя столько тепла,

что зародыши, перегревшись, отмирают. К сожалению, в ряде мест об этом забывают. В результате на элеваторах происходят его порча и возгорание, взрывы емкостей, предназначенных для хранения.

Влажные семена льна, хлопчатника и подсолнечника при хранении также разогреваются. При этом в них происходят нежелательные биохимические изменения, связанные с образованием свободных жирных кислот, снижающих качество подсолнечного, хлопкового или льняного масла. Сравните магазинное масло и то, что продают на рынке: как правило, рыночное масло, полученное из доброкачественных семян, вкуснее.

Выделение тепла прорастающими семенами может иметь и положительное значение для

них. В природных условиях они обычно прорастают, когда почва еще имеет относительно низкую температуру. Благодаря выделению тепла вокруг семян возникают зоны особого микроклимата, где возможно повышение температуры на несколько градусов.

Сохранению тепла способствует низкая теплопроводность почвы.

Наблюдение за процессом выделения тепла прорастающими семенами риса показало, что наиболее интенсивно оно продуцируется в течение первого часа. По истечении 18 часов этот процесс почти прекращается и снова усиливается лишь к концу вторых суток. Семена раннеспелых сортов выделяют больше тепла, чем позднеспелые.

Но не только прорастающие семена нуждаются в тепле. Во время цветения для успешного протекания оплодотворения необходима достаточно высокая температура. Между тем довольно часто, особенно ночью, температура воздуха значительно понижается. Чтобы создать благоприятные условия, способствующие нормальному оплодотворению, растения начинают более интенсивно дышать, вследствие чего повышается температура мужских и женских органов полового размножения в отличие от органов вегетативной жизни (корни, стебли, листья). Иногда она даже превышает

температуру человеческого тела.

Французский натуралист Ламарк более 200 лет назад первым отметил, что температура соцветий или отдельных частей растений семейства аронниковых на 10, 16 и даже 30° выше температуры окружающей среды. Причина — резкая интенсификация дыхательного процесса. Так, например, у белокрыльника, произрастающего по болотам, топким берегам рек, озер и прудов, дыхание цветоноса накануне распускания цветков активизируется в 25—30 раз, вследствие чего всего за несколько часов растение расходует значительное количество углеводов (от 15 до 35 процентов), содержащихся в его тканях.

В этом случае повышение температуры соцветия имеет важное приспособительное значение. Дело в том, что многие представители семейства аронниковых произрастают в болотистых местах, где сравнительно холодно. В этих условиях повышение температуры цветков способствует нормальному протеканию оплодотворения. У аронника итальянского, широко распространенного по всей средиземноморской области, она достигает 40—44 °С, в то время как воздух прогревается всего до 15 °С.

К семейству аронниковых принадлежит очень оригинальное растение — симплокарпус

вонючий, произрастающий в Восточной Азии и на востоке Северной Америки. Он встречается на лугах, по берегам рек и ручьев, на заболоченных местах, нередко прямо в воде. В нашей стране симплокарпус обитает на юге Приморья. Ранней весной (в феврале — марте) его яркие соцветия появляются первыми на буром фоне прошлогодней листвы. Соцветие симплокарпуса — початок — окружено мясистым малиново-красным или лиловым покрывалом, напоминающим по форме шлем. Основание покрывала и цветонос погружены в почву. Во время цветения растения листья отсутствуют. Интенсивность и оттенки окраски «шлема» определяются наличием комплекса антоцианов.

Видовое название растения точно отражает его особенность — во время цветения оно издает отвратительный чесночный запах, резко усиливающийся по мере нагревания цветка. Любопытно, что при колебаниях температуры воздуха от  $-15$  до  $+15$  °С симплокарпус способен в течение нескольких недель поддерживать свою температуру, которая на  $15-35$ ° выше, вследствие чего растение не страдает даже от морозов. Запасы крахмала, необходимого для интенсивного дыхания, хранятся у симплокарпуса в корнях.

По мере того как цветок виктории — гигантской водя-



Симплокарпус вонючий:

1 — общий вид растения; 2 — соцветие; 3 — детали строения цветков.

ной лилии, произрастающей в реке Амазонке, распускается, он постепенно разогревается, причем разница между температурой внутри него и окружающим воздухом бывает больше  $10$  °С. Исследователи подметили сразу же выделение тепла, как только стали культивировать растение. Некоторые ученые специально занимались этим вопросом еще в конце прошлого столетия.

Описанное явление — отнюдь не редкость. Оно свойственно не только водным и болотным растениям. В пасмурную и безветренную погоду на горном лугу температура цветка колокольчика достигает  $16,6$  °С, тогда как окружающий воздух прогревается



только до  $13,2^{\circ}\text{C}$ . Неудивительно, что мошकारа охотно использует эти цветки в качестве «гостиницы»: здесь тепло и сухо. Это же можно наблюдать у магнолии крупноцветковой.

Американский эколог Ллойд Гольдвассер, изучая растительность джунглей Коста-Рики, обнаружил, что некоторые растения резко повышают свою температуру в сумерки. Накануне освобождения пыльцы уровень температуры в цветках значительно превышает уровень температуры человеческого тела. Это имеет важное значение для опыления: нагретые цветки привлекают к себе насекомых-опылителей, ищущих теплый уголок для ночлега.

Нагреваются, однако, не только цветки, но и другие части растения. Подснежный

рост раноцветущих видов сопровождается интенсивной тратой запасов органических веществ, что приводит к повышению температуры их тела. Именно поэтому проростки сольданеллы, встречающейся в альпийских лесах, и пролески, произрастающей на юге нашей страны, пробиваются сквозь снежный покров. Листья пролески, свернутые в трубочку, зачастую прорастают даже через ледяную корку, а фиолетовые колокольчики сольданеллы проходят через (заледеневший снег).

Высокой интенсивностью дыхания обладают грибы. Измерения показывают, что температура плодовых тел шляпочных грибов выше, чем воздуха и почвы. Так, например, у боровика при температуре окружающего воздуха  $13^{\circ}\text{C}$  температура ножки составила

14,2—15,6 °С, шляпки — 15,2 — 16,8, а трубчатого слоя, содержащего споры, — 16,7—18,1 °С. Аналогичные данные получены для синушки (температура почвы 12,20 °С, ножки — 14,8, а шляпки — 16,0 °С) и мухомора (температура почвы 13 °С, ножки — 14,2, а шляпки — 15,2 °С).

Растения-паразиты нередко обладают более высокой температурой, чем окружающая воздушная среда.

Следует также отметить, что температура больного растения, как и человека, выше, чем у здорового. Заражение растения возбудителем болезни всегда сопровождается усилением интенсивности дыхания независимо от того, устойчиво оно к инфекции или нет. Реакция эта универсальна. Детальные исследования позволили установить, что вспышка дыхания, наблюдающаяся при поражении патогеном, длится тем меньше, чем ниже устойчивость «больного». Вслед за вспышкой дыхания у растений восприимчивых сортов оно ослабляется и может даже прекратиться, а у устойчивых интенсивность его при поражении длительное время остается выше исходной.

Аналогичная картина имеет место при опухолеобразовании. Известно, что опухоли человека и животных обладают более высокой температурой по сравнению с соседними нормальными тканями. Это свой-

ство было использовано для разработки диагностических аппаратов, призванных обнаруживать новообразования в организме.

Изучение растительных опухолей позволило выявить ту же закономерность. Температура так называемых корончатых галлов, образованных агробактерией на стеблях хризантемы и герани, а также раковых наростов картофеля оказалась несколько выше, чем у нормальных тканей. Это связано с тем, что опухоли как животного, так и растительного происхождения обладают способностью очень интенсивно использовать органические вещества. Как правило, в новообразованиях нарушается нормальный ход окислительных процессов. Вместо дыхания в опухолях человека и животных начинает преобладать молочнокислое брожение, а у растений — спиртовое. Мы уже знаем, что в процессе брожения при использовании одного и того же количества сахара образуется значительно меньше АТФ, чем при дыхании. В связи с этим опухолевые клетки для удовлетворения своих энергетических потребностей начинают перерабатывать значительное количество органических веществ. Но чем больше перерабатывается сахара, тем интенсивнее выделяется тепло. Вот почему при разрастании тканей в виде опухолей их тем-

пература обычно повышается.

Приведенные примеры говорят о том, что в растительном мире повышение температуры — довольно распространенное явление.

### **«Вечерний лес теплее поля — к ведру»**

Интенсивность дыхательного процесса у растений зависит от многих факторов (температуры, снабжения кислородом, содержания влаги и др.). Исследования, проведенные американским биологом Фрэнком Брауном на картофеле, показали, что скорость этого процесса зависит еще и от атмосферного давления. Обычно интенсификация обмена веществ у картофеля совпадает с повышением атмосферного давления. Прорастающие глазки клубней оказались чрезвычайно чувствительными — они на двое суток раньше барометра «предсказывали» сдвиги в погоде. При приближении дождя растения в буквальном смысле слова заатаивают дыхание.

Если повышение атмосферного давления действительно резко интенсифицирует дыхание растений (к сожалению, влияние этого фактора на дыхание изучено еще недостаточно), то следует ожидать, что экосистемы с большой биомассой (например, лес) в случае возникновения тенденции к улучшению погоды будут иметь более высокую темпера-

туру по сравнению с экосистемами, имеющими меньшую биомассу (поле). В связи с этим уместно вспомнить старую широко распространенную примету: если вечерний лес теплее поля — погода переменится к лучшему.

Остается разобраться, почему именно вечером следует сравнивать температуру леса и поля. Дело в том, что ночью и рано утром вследствие значительного понижения температуры интенсивность дыхания растений существенно ослабляется. В 1964 году мне приходилось наблюдать за изменением интенсивности дыхания в листьях сахарной свеклы в течение суток: ночью интенсивность дыхания в три раза ниже, чем в полдень. То же наблюдаем и ранним утром.

Днем, когда и поле, и лес хорошо прогреваются солнцем, растения хотя и дышат активно, но влияние этого фактора на температуру экосистем незначительно. Вот и выходит, что именно вечером, когда сохраняется интенсивное дыхание, а солнце уже не припекает, можно обнаружить разницу между температурой леса и поля.

Приведенный пример показывает удивительную наблюдательность простых людей, сумевших подметить существование связи между, казалось бы, разными явлениями. Углубленное проникновение в суть жизненных процессов рас-



тительных организмов позволяет с материалистических позиций объяснить некоторые народные приметы, в которых фигурируют явления живой и неживой природы.

### **Атмосфера для хранения плодов**

Как изменяется дыхание растений при отсутствии кислорода, мы уже знаем: клетки приступают к спиртовому брожению. Они как бы «вспоминают» о существовании древнего, весьма несовершенного механизма извлечения из органических веществ энергии, который был свойствен их далеким предкам, обитавшим в анаэробной водной среде. И «невдомек» им, что живут они уже не в водной среде, куда можно было бы сбросить избыток ядовитого этилового

спирта, и что накопление этого метаболита завершится их смертью.

При содержании кислорода ниже пяти процентов спиртовое брожение еще продолжается, но когда уровень его поднимается до шести — восьми процентов, этот процесс полностью ингибируется и растение начинает нормально дышать.

Ну а как зависит дыхание от количества углекислого газа? Обычно при повышении концентрации двуокиси углерода его активность угнетается, но, что очень важно, при этом не происходит «включения» спиртового брожения.

Ослабить интенсивность дыхания бывает необходимо при хранении растениеводческой продукции. В этом случае запасенные питательные вещества не сгорают в «топке» дыха-



ния, не происходит накопления ненужных веществ и заложенные на хранение плоды сохраняют свои вкусовые качества и товарный вид. Обычно овощи и фрукты хранят при низких температурах, что также резко тормозит процесс дыхания. И все же немало продукции портится. А что если герметичные хранилища наполнить газовой смесью, содержащей сравнительно мало кислорода и много углекислого газа?

Оказалось, что если содержание углекислого газа повысить до двух—десяти процентов, а концентрацию кислорода понизить до двух—шестнадцати, то в такой газовой среде процесс старения у плодов затормозится в два-три раза по сравнению с обычной. Яблоки, пролежавшие в ней несколько месяцев, выглядят так, как будто их только что

сорвали с ветки. Причем они сохранили не только внешний вид, но и свежесть аромата, вкус. Виноградные гроздья даже после полугодичного хранения свежи. Полтора месяца может храниться вишня, а слива — три. Прекрасный вид имеют в такой атмосфере срезанные цветы.

В Казахском НИИ плодоводства и виноградарства разработаны состав газовой среды и режим хранения для различных сортов яблок, винограда, груш. В опытном хозяйстве — совхозе им. У. Джандосова создано фруктохранилище с регулируемой газовой средой на 500 тонн плодов. Подобные хранилища обходятся дороже обычных, но быстро окупаются всего за два-три сезона за счет высокого качества сохраняемой продукции, снижения ее потерь.

## Лесные и морские фонари

Согласно народному поверью, в ночь на 24 июня, накануне Ивана Купалы, распускается цветок папоротника, яркий, как пламя. В эту таинственную ночь устраивались на Руси гулянья с песнями и хороводами. Прыгали через костер, гадали на венках, шли в лес искать огненный цветок, который, как утверждали, открывает человеку клады. Этот цветок повстречал герой рассказа Н. В. Гоголя «Вечер накануне Ивана Купалы». Вот как описана эта встреча.

«Поусомнился Петр и в раздумье стал перед ним, и опершись обеими руками в боки... Глядь — краснеет маленькая цветочная почка и, как живая, движется. В самом деле чудно! Двигается и становится все больше, больше и краснеет, как горячий уголь. Вспыхнула звездочка, что-то тихо затрещало, и цветок развернулся перед его очами, словно пламя».

Хорошо известно, что папоротник размножается спорами. Поэтому увидеть удивительный огненный цветок этого растения нельзя. Между тем свечение живых организмов — довольно широко распространенное в природе явление. Светятся некоторые растения (грибы, водоросли), микроорганизмы (бактерии) и животные (светляки, ракообразные, многощетинковые мор-

ские черви, пластинчатожаберные моллюски и даже рыбы).

Светящиеся бактерии легко обнаружить на гниющей рыбе и мясе. Иногда испорченные пищевые продукты светятся в камере холодильника зеленовато-голубым светом. Перенеся эти бактерии на питательную среду в чашки Петри, можно получить их чистые культуры. То, что причиной свечения являются бактерии, было установлено в 1853 году. При этом использованная посуда также будет испускать свечение. Светящиеся микроорганизмы в колбах могут использоваться в качестве светильников. Этими «лампами» одно время освещался большой зал Океанографического института в Париже.

Обнаружены сотни видов бактерий, в клетках которых происходят химические реакции, сопровождающиеся световым излучением. Обычно цвет этого излучения голубовато-зеленый. Однако недавно сотрудники Скриппсовского океанографического института в Калифорнии обнаружили бактерию, которая излучала желтый свет. Любопытно, что такое свечение наблюдается только в природной среде; в лабораторных условиях те же бактерии светятся обычным голубовато-зеленоватым сиянием. Ученые предполагают, что в клетках этих бактерий имеется особое вещество не-

известной пока природы, которое поглощает первичное синие-зеленое излучение и преобразует его в желтое.

У мягкоголового долгохвоста малакоцефалуса, обитающего на глубине нескольких сот метров у берегов Западной Европы от Ирландии до Марокко, на брюхе под чешуей имеется мешочек с густой жидкостью, которая в темноте ярко светится. Если три капли этой жидкости растворить в ведре воды, то она в течение 24 часов будет ярко фосфоресцировать. Интенсивное свечение жидкости желез долгохвостиков обусловлено наличием в ней особых светящихся бактерий.

Рыбы аномалопс и фотоблефарон, живущие между островами Борнео, Новая Гвинея и Тимор, светятся по ночам. У этих рыб под каждым глазом имеется бобовидный орган, выполняющий функцию фонаря. Внутри него содержатся светящиеся бактерии. Свет бактериальных «фонарей» так ярок, что даже на расстоянии двух метров от них можно разглядеть циферблат часов.

У каракатицы мешочек с бактериями погружен в углубление чернильного мешка, из которого в момент опасности она выпускает струю пигмента, делающего ее незаметной для преследователя. «Дымовая завеса» «выключает» также свет «фонаря», окутывая

его светонепроницаемым покрывалом.

Симбиоз животных с люминесцирующими бактериями позволяет им в глубинах моря находить друг друга, добывать корм, ориентироваться в пространстве.

Но обратимся к растениям. Одноклеточная водоросль гониаулакс полиедра обитает в южных морях. Скопление этого растения и другие организмы служат причиной ночного свечения моря. В лабораторных условиях оно усиливается, если встряхивать водоросли в пробирке или пропускать через их культуру воздух. Аналогичное явление наблюдается и в природе: волнение моря сопровождается обычно более ярким свечением. Известный советский микробиолог В. Л. Омелянский совершенно правильно писал: «Чем сильнее приток воздуха к культуре светящихся бактерий — тем ярче издаваемый ими свет. Оттого и море сильнее светится там, где винт корабля оставляет пенный след на воде».

Каждый маленький люминесцирующий организм периодически вспыхивает. Отдельные «огоньки» сливаются и образуют сплошное светящееся пятно, занимающее часть огромную площадь.

Многие писатели создали о светящемся море немало поэтических строк. Виктор Гюго в книге «Труженики моря»

писал: «Казалось, вода была охвачена пожаром... Сииеватые полосы на воде лежали складками саваиа. Широкое разлившееся бледное сияние трепетало на водной поверхности. Но то был не пожар, а его призрак... Рыбачьи сети под водой — словно огненная вязь. Половина весла из черного дерева, другая же, что под водой, — из серебра. Капли, срываясь с весла в волну, осыпают море звездами... Опустить руку в воду и вынимаешь ее в огненной перчатке; пламя это мертво, его не чувствуешь».

Константин Паустовский в повести «Черное море» также описал свечение морских организмов: «Море горело. Казалось, его дно состояло из хрусталя, освещенного снизу лунным огнем... Белый огонь набегал на пляж, и было видно все дно. Камни и жестянки, валявшиеся под водой, покрылись тонкой огненной росой. Сметанина зачерпнула воду в ладонь. Сквозь пальцы полились с плеском струи жидкого магического света».

Свечение воды нередко вводило мореплавателей в заблуждение. «Горящие» гребни волн иногда принимались капитанами за буруны, возникающие вблизи рифов. Предполагают, что Христофор Колумб принял свечение скопленный многощетинкового червя за световые сигналы, подаваемые с суши. Ему показалось,

будто на невидимом берегу кто-то поднимает и опускает множество свечей. Исследователи, изучавшие навигационные документы мореплавателя, установили, что в это время его флотилия находилась более чем в восьмидесяти милях от ближайшего берега. Так что открыватель Нового Света не мог видеть никаких свечей.

Интересно отметить, что гониаулакс полиедра обладает суточным ритмом биолюминесценции. Максимум свечения приходится на полночь. В это время она бывает в 40—60 раз ярче, чем днем. Ритмические колебания не зависят от температуры. При длительном пребывании водорослей в темноте свечение прекращается в связи с остановкой фотосинтеза и гибелью клеток.

В лесу можно наблюдать сине-зеленый свет гнилушек, возникающий в том случае, если в них поселяется гриб хлороспленниум. Другой гриб — коллибия, участвующий в разложении лесной подстилки, вызывает свечение опавших листьев дуба и клена.

Широко известный опенок поселяется на пнях, вызывая их разрушение. Чем более рыхлой становится древесина, тем больше проникает кислорода к скрытым внутри пням грибницы. Это приводит к усилению свечения. Поэтому в летнюю ночь трух-

лявый пень озаряется зеленоватым сиянием. Наиболее интенсивное свечение наблюдается летом и осенью после дождя, который способствует росту мицелия гриба. Ударьте по рыхлому пню ногой, и он развалится на множество светящихся кусков. При перенесении частей пня в другие условия, например в комнату, свечение довольно быстро прекращается. Этому способствует как недостаток кислорода, так и чрезмерная сухость или высокая влажность.

Если вы собрали в лесу сморчки или строчки, проверьте их: старые разложившиеся грибы в темноте излучают голубовато-красный свет и тем самым предупреждают об опасности отравления. Свечение строчков и сморчков связано с жизнедеятельностью особых микроорганизмов.

Некоторые тропические грибы светятся так ярко, что их можно использовать вместо фонарей. Гриб диктифора, растущий в труднодоступных местах Южной Америки, образует в гумусном слое тропических лесов плодовые тела яйцевидной формы, имеющие чисто-белую окраску. Утром, обычно в семь часов, происходит разрыв внешней оболочки плодового тела. Из нее появляется ярко-оранжевая, точно полированная, шляпка гриба на белоснежной ножке. Ножка очень быстро растет — за одну минуту она может

увеличиться на пять миллиметров. Благодаря этому за час шляпка диктифоры поднимается на 10—12 сантиметров. После этого из-под нее буквально в течение нескольких минут опускается ажурное покрывало конусообразной формы, которое часто называют «юбочкой». Развертывание покрывала происходит так быстро, что на фотографиях, сделанных в это время, оно получается нечетким. Местные жители называют уникальный гриб «дама под вуалью», «дама под покрывалом».

Процесс появления «юбочки» сопровождается распространением вокруг гриба отвратительного запаха падали, который привлекает множество мух и других насекомых. Почему это происходит? Дело в том, что возникновение ажурной «вуали» приводит к резкому увеличению поверхности ткани, издающей запах.

С наступлением сумерек становится все заметнее яркое изумрудное сияние, льющееся из-под шляпки гриба. Свечение также привлекает насекомых, которые, поедая гриб, распространяют затем его споры. На следующий день лишь небольшие комочки слизи напоминают о плодовых телах диктифоры.

Интересно отметить, что светящиеся грибы тропических лесов используются ту-



земцами для украшения... причесок.

В окрестностях города Огато, расположенном на японском острове Хатидзе, растет крошечный светящийся гриб из рода мицена (*Musepa luxcoeli*). В темноте его свет виден на расстоянии 50 метров.

М. В. Ломоносов когда-то писал: «Надо подумать и о безвредном свете гниющих деревьев и светящихся червей». Он имел в виду выяснение причин свечения живых организмов. Широкое их распространение в природе указывает на то, что это свойство — результат определенной химической реакции, общей для всех люминесцирующих организмов. Английский химик и физик Роберт Бойль (1627—1691) первым начал проводить исследования по биолюминесценции в лабораторных усло-

виях. В 1667 году он установил, что светящиеся организмы теряют это свойство в отсутствие доступа свежего воздуха, то есть в анаэробных условиях. В 1884 году французский ученый Рафаэль Дюбуа, работавший в Лионском университете, показал, что свечение живых организмов обуславливает наличие двух веществ. Однако ученый отметил, что эти вещества, взятые в отдельности, не обладают этим свойством. Оно проявляется лишь при их смешивании. Первое вещество после кипячения и добавления второго начинало светиться, тогда как кипячение второго компонента приводило к необратимой потере этой способности. Опыты указывали на то, что последнее вещество имеет белковую природу, а белки, как известно,

при кипячении свертываются, теряя активность. Первую фракцию назвали люциферином, а белок, стимулирующий свечение, — люциферазой. Напомню, что Люцифер — имя бога, ведавшего небесными светилами. В древнегреческой мифологии Люцифер считался сыном богини Эос и титана Астрея. В средние века это одно из имен сатаны.

Таким образом, процесс свечения живых организмов связан с окислением органического вещества люциферина кислородом воздуха. При этом происходит возбуждение молекулы, которая при возвращении в исходное состояние испускает свет. Высокая эффективность процесса обусловлена участием в нем особого фермента люциферазы, который в 100 раз ускоряет реакцию.

Следует, однако, иметь в виду, что у ряда светящихся животных люциферин и люциферазу найти не удалось. У них другие механизмы свечения. Например, излучение света возможно при самоокислении жиров, при взаимодействии специфического белка (эквирина) с ионами кальция и т. д.

В упоминавшейся выше водоросли гониаулакс полиедра в разное время суток содержится неодинаковое количество веществ, обуславливающих свечение, — люциферина

и люциферазы. Оказалось, что ночью их уровень более высокий, чем днем. Это и определяет характерный ритм свечения водоросли.

Некоторые ученые считают, что способность к люминесценции возникла у животных организмов в ходе эволюции при появлении в атмосфере кислорода. До этого на Земле существовали анаэробные организмы, для которых кислород был ядом. С появлением первичных зеленых организмов, которые в ходе фотосинтеза выделяли кислород, этот газ стал накапливаться в атмосфере Земли. Отрицательное воздействие кислорода на анаэробные организмы привело к тому, что первоначально смогли выжить те из них, которые оказались способными удалять, обезвреживать его. Один из путей детоксикации кислорода — восстановление его органическими веществами типа люциферина. При этом возникали возбужденные молекулы, испускавшие свет. Таким образом, борьба за анаэробные условия привела к созданию в ходе эволюции светящихся организмов.

Постепенно в атмосфере Земли накапливалось все больше и больше кислорода. Одновременно происходил отбор форм организмов. Преимущественное распространение получили те из них, которые в результате дыхания с по-

мощью кислорода окисляли органические вещества до углекислого газа и воды. Это привело к тому, что на Земле преимущественное распространение получали аэробные организмы. Именно к таким организмам относятся человек, все животные и подавляющее большинство растений. У них большие преимущества перед анаэробными: они экономнее используют органические вещества для извлечения энергии, необходимой для протекания самых разнообразных процессов жизнедеятельности.

Способность живых организ-

мов к люминесценции — рудиментарный признак, сохранившийся в ходе эволюции и связанный со способностью организмов обезвреживать кислород с помощью люциферина. Впрочем, многие стороны этого процесса до сих пор остаются загадочными.

В растительном мире имеются и другие виды свечений. Например, в некоторых пещерах светятся мхи. Но это свечение не связано с процессом дыхания, поэтому мы не останавливаемся на нем, как и на сверхслабом свечении растений.

Кусты и деревья — горшки и кувшины,  
Налитые бледно-зеленой водой.  
Как хрупки сосуды весенней крушины,  
Как трепетна чаша ветлы молодой!

Н. Димчевский

### Величайшее в мире богатство

Много добрых слов сказано о воде. Французский писатель Антуан де Сент-Экзюпери в книге «Планета людей» писал: «Вода! У тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя не опишешь, тобою наслаждаешься, не понимая, что ты такое. Ты не просто необходима для жизни, ты и есть жизнь... ты — величайшее в мире богатство... Ты — божество, которое так легко спугнуть...» Древнегреческий философ Фалес из Милета (ок. 625—547 гг. до н. э.) выразился столь же убежденно, но короче: «Воистину, вода лучше всего». Согласно его воззрениям, все многообразие явлений и вещей сводится к единой основе (первостихии или первоначалу), которой он считал «влажную природу», то есть воду: все возникает из воды и в нее превращается. Около 80 процентов сырой массы растений составляет вода, она имеет очень важное значение в их жизни.

Растительные организмы возникли в воде, которая очень длительное время оставалась

для них единственной средой обитания. После выхода растений на сушу водную среду сменила воздушная. В новых условиях существования усложнились механизмы добычи и расходования воды, но с полным правом можно утверждать, что «влажная природа» по-прежнему оставалась важнейшим фактором жизнедеятельности растений.

Наличие или отсутствие достаточного количества воды часто служит единственным фактором, определяющим распространение растительности на поверхности Земли, темпы ее роста, внешнее и внутреннее строение. И это неудивительно, ибо без воды не могут осуществляться процессы фотосинтеза, гидролиза различных веществ (например, крахмала), дыхания, роста и т. д., нарушается структура цитоплазмы клеток. Прекращение испарения ведет к перегреву и даже гибели растений.

Водный обмен растений складывается из нескольких процессов: поглощения воды, передвижения ее по растению, усвоения и выделения.

Обычно большинство назем-

ных цветковых растений поглощает воду с помощью корней, в то время как водные (и часть наземных: мхи, лишайники) — всей поверхностью. Растения-паразиты добывают влагу с помощью особых присосок.

Под действием корневого давления поглощенная вода поступает в надземные части растения. О наличии корневого давления свидетельствует тот факт, что ранней весной некоторые деревья при повреждении выделяют большое количество сока.

### **«Острою секирой ранена береза...»**

Сокодвижение наблюдается с момента поступления воды в корни. У березы оно обнаруживается в начале апреля и длится около трех недель.

Что представляет собой сокодвижение и каково его значение?

Мы знаем, что растения и, в частности, деревья летом в ходе фотосинтеза образуют питательные органические вещества, которые постепенно накапливаются и к осени перемещаются в корни, где в течение всей зимы сохраняются в виде крахмала. Весной почки нуждаются в усиленном притоке питательных веществ. Однако крахмал не может использоваться в сложных жизненно важных превращениях, протекающих в клетках растения, поскольку не-

растворим в воде. Поэтому по мере пробуждения дерева он под действием особых ферментов трансформируется в сахара. Распад (гидролиз) крахмала происходит при участии воды, которая в этот период интенсивно поглощается корнями из почвы. Кроме того, вода необходима для растворения образующихся при гидролизе крахмала сахаров.

Поднимаясь вверх по стволу, вода несет растворившиеся в ней сахара и некоторые другие вещества к почкам. Это движение осуществляется благодаря возникающему в корнях давлению. Оно-то и приводит к истеканию жидкости при поражении березы. При этом большое дерево может дать из одного отверстия от одного до пяти литров сока в день, а за сезон — 85—170, иногда до 250 литров. Оказалось, что в течение суток береза выделяет сок неравномерно: наиболее активно с 12 до 18 часов и медленно — с 0 до шести утра. В солнечный день этот процесс идет более интенсивно, нежели в пасмурную погоду.

По своему составу весенний сок у разных растений значительно различается. У березы он содержит 0,5—1,2 процента сахара, яблочную кислоту, соли калия, кальция, железа и других элементов.

Первое время березовый сок бывает прозрачным. Однако в конце апреля из раны со-

чится мутноватая жидкость, иногда вспенивающаяся. Это связано с появлением в соке дрожжевых клеток, которые быстро размножаются. Подсчитано, что в начале сокодвижения в одном миллилитре березовицы их содержится несколько тысяч, к концу же — численность клеток достигает нескольких миллионов. Быстрому размножению дрожжей способствует повышение температуры воздуха. О влиянии тепла на увеличение численности их клеток говорит то, что на северной стороне ствола, которая хуже прогревается солнцем, сок всегда чище.

Благодаря дрожжевым клеткам имеющиеся в соке сахара подвергаются сбраживанию, в результате чего выделяется углекислый газ, который и вспенивает сок. Одновременно образуется этиловый спирт.

После того как распустятся листья, поранение березы уже не будет сопровождаться выделением сока. Причиной тому — уменьшение давления сока в сосудах ствола вследствие интенсивного испарения воды листьями. Если же березу спилить, то с поверхности спила будет сочиться жидкость. Это явление ученые называли «плачем». Этот «плач» обусловлен тем, что корни продолжают поглощать воду и под давлением нагнетают ее в надземные органы.

Издавна березовый сок имеет репутацию целебного на-

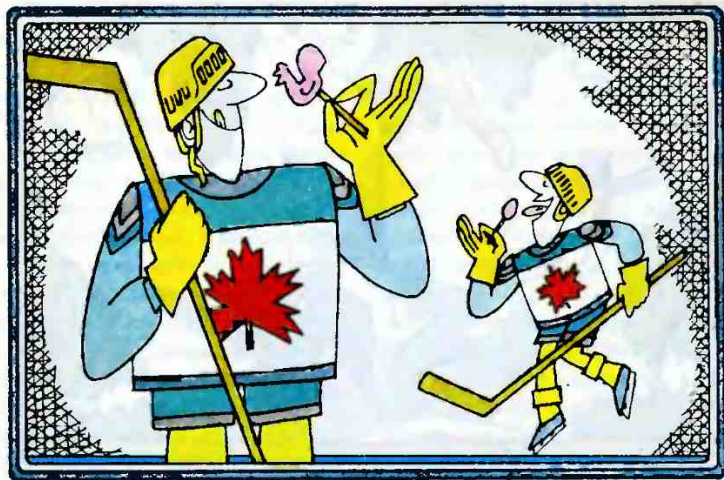
питка. В Финляндии его пьют как свежим, так и после сбраживания. В Белоруссии из него готовят квас. Из березового сока получают также сироп, который используют для приготовления киселей, добавляют в кондитерские изделия.

Лесозаготовители предпочитают собирать сок березы бородавчатой — в нем содержится больше сахара. Обычно подсечке подвергают те деревья, которые намечено срубить в ближайшие годы. В лесах для заготовки сока выбирают березовые посадки, расположенные, как правило, недалеко от дороги. При этом желательнее, чтобы деревья находились на разных уровнях: на возвышении и в низине. Это позволит вести заготовку березового сока более равномерно: сначала на высоких местах, где почва прогревается быстрее, а затем, спустя 10—15 дней, внизу.

Несмотря на то что березовый сок можно при желании купить в магазине, некоторые люди пытаются сами добывать его. При этом дерево выбирают стихийно, какое глянется. Сокодобытчики полагают, что эта операция проходит для березы бесследно. Однако это далеко не так.

Дело в том, что после взятия напитка на стволе, как правило, остается большая рана, которая не скоро заживает, и дерево из-за этого продолжает терять значительное ко-





эскиз с изображением кленового листа. Выбор этот не случайный.

Дело в том, что в лиственных лесах Северной Америки произрастает вид клена, сыгравший большую роль в жизни ее обитателей, — клен сахарный (*Acer saccharum*) высотой до 40 метров.

Чем же он знаменит? А тем, что сахаристость его сока составляет до пяти процентов. С давних пор североамериканские индейцы «гнали сладкий сок из клена». Джеймс Фенимор Купер в своей книге «Пионеры, или у истоков Саскуиханны» описал процедуру его изъятия: «В каждом дереве над самой землей была небрежно сделана глубокая зарубка и в нее вставлена маленькая трубочка, через которую сок стекал в грубую колоду, выдолбленную из липового

чурбана; такие колоды лежали под каждым деревом...»

Каждое большое дерево за период сбора может дать от 50 до 100 литров сока. Нетрудно подсчитать, что это около 2,5—5 килограммов сахара.

Понятны сожаление и надежда одного из героев «Пионеров», судьи Мармадюка, о том, что «мы еще очень мало знаем о свойствах дерева, которое служит источником такого богатства, и, может быть, нам удастся улучшить их, ухаживая за ними, обрабатывая почву мотыгой или плугом».

Если основным источником получения сахара во всем мире остаются сахарная свекла и сахарный тростник, то в Канаде видное место занимает производство кленового сахара. Из него делают различные

фигурки: петушков, лошадок, собачек. Кленовый сироп добывают в мороженое и кремы, начиняют им карамели. Однако чаще он используется в качестве приправы. Жители канадской провинции Квебек, например, употребляют его вместе с блинами, оладьями, фасолью, ветчиной и даже... с солеными огурцами.

Иностранные туристы, приезжающие в Канаду, нередко увозят с собой в качестве сувениров флаконы с темно-бурой тягучей жидкостью — кленовым сиропом. Предприимчивые фермеры открыли свои хозяйства для посещения туристов. За осмотр фермы и сахарокурни, а также за возможность на месте отведать свежего сиропа и изготовленных из него сладостей получают от каждого туриста по несколько долларов.

Так что совсем не случайно кленовый лист стал символом Канады.

Для производства сахара используется также сок некоторых других деревьев, например сахарной пальмы (*Agave ripinata*). Она сравнительно невысока — 6—15 метров при диаметре ствола 40 сантиметров. В диком виде сахарная пальма встречается во влажных лесах Юго-Восточной Азии. Как важное в экономическом отношении растение ее издавна культивируют по всей тропической Азии. Выращивают сахарную пальму ради по-

лучения из нее сладкого сока, который содержит до 14 процентов сахаров.

Сбор его производят перед цветением растений. При этом ось сформировавшегося соцветия перерезают, а вытекающий из надреза сок собирают в сосуды. После упаривания жидкости в сиропе происходит кристаллизация сахара. Один гектар сахарной пальмы (обычно 150—200 растений) может дать до 20 тонн сахара.

В Индии, Мьянме (Бирме), Малайзии для получения сахара используется сок винной, или жгучей, пальмы (*Caesalpinia*). По своим свойствам он напоминает кленовый. Жгучей пальма названа по той причине, что мякоть ее плодов из-за наличия многочисленных игловидных кристаллов оксалата кальция обжигает ротовую полость. Сбор сока ведут в течение нескольких месяцев: с января по июнь (до наступления сезона дождей). Свежесобранный сок из-за сравнительно низкой концентрации сахара не является деликатесом. Сахар получают путем упаривания сока и кристаллизации сиропа.

В Шри-Ланке и Индии сок жгучей пальмы сбраживается с целью получения слабоалкогольного напитка «тодди». Сбор пальмового сока — дело трудное. Из сосудов, прикрепленных к дереву (часто это высушенные тыквы), его дважды в день переливают в боль-

шие емкости, а ранку на цветоносе обновляют, чтобы ток не ослабевал. Поскольку цветоносы располагаются высоко над поверхностью земли, это отнюдь не простое дело. На острове Фиджи, например, все пальмы на плантации соединяют толстыми канатами, по которым сборщик сока и перемещается, держась за тонкую веревку.

Начало использования человеком сахаристых соков древесных растений уходит в глубь тысячелетий. Древнейшие жители смешанных лесов Европы, Азии и Америки умели добывать сладкий сок деревьев. Однако для населения Европы и Азии в отличие от обитателей Америки сбор пасоки не имел столь существенного значения. Дело в том, что здесь в достаточном количестве имелись другие источники получения сахара — сладкие фрукты, мед, сахарный тростник. По-иному обстояло дело в Северной Америке. Недостаток сахаристой пищи заставил древних обитателей этого материка обратить внимание на сладкий кленовый сок.

Мы уже говорили о том, что весеннее сокодвижение, а также «плач» растений обусловлены наличием корневого давления. Первым описал и измерил корневое давление виноградной лозы английский священник Стефан Гэльс. Срезав виноградную лозу и обвязав пенек куском бычьего пузыря,

он обнаружил, что перепонка стала раздуваться и даже лопнула. Чтобы измерить величину давления, Гэльс присоединил к срезу U-образную трубку, наполненную ртутью. Оказалось, что сок нагнетается корнями с силой, способной уравновесить ртутный столбик высотой 38 дюймов, что соответствует давлению в 1,25 атмосферы. Более поздние исследования показали, что корневое давление виноградной лозы может быть в два раза больше.

### **«Волшебная» роса**

Те, кто по-настоящему любит и ценит природу, часто встречают утреннюю зарю в поле или на лугу. В эти волшебные мгновения, по словам поэта И. З. Сурикова,

*От цветов на полях  
Льется запах кругом,  
И сияет роса  
На траве серебром.*

Вот эти капли росы нас сейчас и интересуют. Знаете ли вы, почему бывает роса? Роса — это влага, осаждающаяся на разных предметах при понижении температуры воздуха ночью. Но присмотритесь к растениям. У злаков капли почему-то сверкают на острых кончиках листьев. У земляники они размещаются по краям листовой пластинки, там, где оканчиваются жилки. То же



самое можно увидеть у лопуха, настурции, мать-и-мачехи. Роса ли это?

Обратите внимание и на другой факт. В теплые ночи роса не выпадает, однако, осмотрев растения, вы можете обнаружить на листьях капли влаги. Каким образом они появились? Если бы влага выделялась (конденсировалась) из воздуха, то на камнях и крышах также можно было бы увидеть ее. Но камни и крыши сухие...

Вопрос о происхождении этих капель на листьях еще в древности волновал алхимиков. Они собирали невесть откуда взявшуюся «росу», полагая, что она не иначе, как «волшебная», и использовали ее для приготовления эликсиров, возвращающих молодость.

Очень часто они обнаружи-

вали капли жидкости на «узорчатых листьях уснувшей манжетки» — дикорастущего растения, нередко встречающегося и поныне на лугах, в лесах и кустарниках. Вот почему это растение получило латинское название алхимилля (*Alchimilla vulgaris*). Способность листьев манжетки выделять капли жидкости привлекала внимание алхимиков.

Выделение капельно-жидкой воды на кончиках листьев носит название гуттации (от латинского слова «гутта» — капля). Гуттацию очень легко можно вызвать у проростков злаков, поместив их под стеклянный колпак в небольших сосудах. В замкнутом пространстве воздух быстро насыщается водяными парами, листья перестают испарять воду и избыток ее выделяется в виде капель. Явление гутта-

ции свидетельствует о том, что корни растений интенсивно поглощают воду и под давлением нагнетают ее в надземные органы.

Возможно, вы уже задумались над тем, какова роль гуттации в жизни растений. Значение этого процесса заключается прежде всего в обеспечении равновесия между поглощением и расходом воды. Усвоенная корнями влага в больших количествах испаряется. Чем сильнее растения испаряют воду, тем быстрее она движется вместе с растворенными веществами вверх по сосудам. Однако процесс испарения резко тормозится в туманную и дождливую погоду. В этих условиях замедляется и передвижение воды по растению. Благодаря гуттации имеется возможность избавляться от избытка влаги, нагнетаемой корневой системой, и осуществлять, хотя и ограниченно, передвижение воды с необходимыми растению растворенными веществами.

Известный австрийский физиолог растений Г. Молиш установил, что молодые побеги бамбука, пробивающиеся сквозь твердый сухой субстрат, размягчают его каплями, которые выделяют кончики его побегов. Не исключено, что такой же механизм увлажнения сухой почвы используют при прорастании и наши злаки.

Кроме того, при гуттации

растение избавляется от избытка некоторых солей, например хлоридов натрия и кальция.

Жидкость, выделяемая некоторыми мхами, имеет значение для нормального полового размножения. Ведь для перемещения сперматозоидов к яйцеклетке необходимо, чтобы прошел дождь или выпала роса. Ну а если длительное время стоит сухая погода? В этом случае оплодотворение происходит в каплях гуттационной жидкости, выделяемой мхами.

Гуттация осуществляется через гидатоды. Простые гидатоды (водные устьица) представляют собой отверстия над окончаниями сосудов, по которым движется вода с растворенными в ней веществами. Более сложное строение имеют так называемые эпитемные гидатоды, или водные железы. В них между окончаниями сосудов и водными устьицами лежит так называемая эпитема, состоящая из рыхло расположенных тонкостенных клеток. Межклетники эпитемы обычно заполнены водой. Эпитемные гидатоды активно секретируют воду.

Интенсивность гуттации зависит от внешних условий. Ей благоприятствует теплая и влажная погода. Неудивительно, что она очень часто наблюдается у растений, произрастающих в условиях влажных тропиков и субтропиков. Например, у таро древ-



него (*Colocasia antiquorum*) из семейства аронниковых верхушка каждого листа выдавливает в некоторых случаях до 200 капель в минуту! За ночь один лист может выделить до 100 миллилитров гуттационной жидкости.

Таро древнее — травянистое многолетнее растение, образующее клубни, богатые крахмалом (18—20 процентов). Ради них его и культивируют. Наибольшие площади под этой культурой находятся в Африке. Возделывается таро также в Японии, Океании, США.

Цезальпиния дождевая (*Cesalpinia pluviosa*), произрастающая во влажных тропиках, в отдельные дни гуттирует так активно, что под деревом как бы идет проливной дождь. Не случайно это растение называют еще плачущим деревом.

Большой интерес представляет гуттация у некоторых комнатных растений, например у монстеры, каллы. Из-за способности при наступлении ненастья особенно в сырых квартирах выделять на широких выемчатых листьях большие капли влаги монстера названа в народе плаксой.

В чем причина этого явления? Родина названных комнатных растений — тропические леса, воздух которых насыщен влагой. В таких условиях растения испарять влагу не могут. Поглощенная корнями вода нагнетается при помощи корневого давления в надземные органы, но выделение ее происходит не путем испарения (транспирации), а благодаря истеканию капель через гидатоды, расположенные у окончания жилок на краю листа. У монстеры кашли

сбегают по краю больших узорных листьев к заостренному кончику, с которого и падают вниз. Такой же кончик имеется у калы, а также у других растений влажных тропических лесов.

Выделение капельно-жидкой воды на кончиках листьев наблюдается у этих растений в наших широтах перед дождем. Почему? При приближении дождя (иногда за сутки до него) влажность воздуха повышается. Вследствие этого транспирация ослабляется, что приводит к выделению избытка воды через гидатоды в виде капель. Растения, у которых наблюдается это явление, по праву можно назвать живыми барометрами.

Из растений умеренной зоны активно гуттирует ива хрупкая, или ракита (*Salix fragilis*) и плакун-трава (*Lythrum salicaria*). Интенсивную гуттацию ивы удалось наблюдать ряду исследователей. Известный советский физиолог растений Н. Г. Холодный писал, что с раскинувшихся крон небольшой группы старых ив, стоящих у самого берега речки Трубежа, буквально потоками лилась вода. Казалось, что идет проливной дождь, однако на безоблачном небе ярко светило солнце. Вода в реке под этими ивами «кипела» от падающих на ее поверхность крупных капель, как это бывает во время ливня.

На сырых местах, по болотам, берегам рек и прудов, вдоль канав — повсюду в нашей стране произрастает густоопушенное растение — дербенник иволистный высотой 50—80 сантиметров. Цветет оно с июня по сентябрь пурпурными цветками, собранными в густое колосовидное соцветие. Видовое название «иволистный» дано из-за сходства листьев дербенника с ивовыми — они длинные и тонкие.

На листовой пластинке этого растения имеются большие щели, через которые выделяется избыток воды при повышении влажности воздуха. Ничего сверхъестественного в этом нет. Между тем раньше люди не могли объяснить это явление. Так возникла легенда о плакун-траве. В старину дербенник широко использовали для наговоров. Люди верили, что наговорная трава может прогнать нечистую силу, заставить ведьм и бесов плакать, а колдунов — снимать чары. Знахари готовили из дербенника порошки и настойки, с помощью которых лечили от грыжи, болей в желудке и даже от тоски. С помощью плакун-травы искали клады.

Как показали наблюдения украинского исследователя А. М. Гродзинского, гуттация — широко распространенное явление. В естественных условиях южных степей (в зависимости от влажности мес-

тообитания) этим свойством обладают от 30 до 80 процентов видов. Некоторые растения гуттируют довольно активно: хвощ полевой, осока ранняя, ива пурпурная, печеночница, мокрица, многочисленные представители семейства злаковых. У ряда представителей гуттация проявляется довольно своеобразно. Так, например, у молочаев капли появляются не на листьях, а на цветках, у тюльпана — не только на кончиках листьев, но и на середине наружных сторон листовых пластинок, а у некоторых растений гуттационная жидкость выделяется через волоски. У нута они покрывают листья, стебли, плоды. В жаркую погоду через них продуцируется сок, содержащий большое количество щавелевой (около 140 килограммов на гектар) и яблочной (около четырех килограммов) кислот. Маннй кустарник (тамаркс маннй — *Tamarix mannifera*) выделяет в жаркое время года похожий на мед сок, твердеющий на воздухе и принимающий при этом красноватый или коричневатый цвет. В таком виде он известен под названием персидской манны и употребляется в пищу.

В преддверии дождя у бальзамина запотевают стебли, за что растение величают у нас «Ванькой мокрым». Родина этого растения, названного распространенным русским



Дербенник иволистный.

именем, — тропические леса далекого острова Занзибар.

Капли сока появляются перед дождем на листьях конского каштана, канн, стреловидного клена. У клена капли возникают у основания черешков листьев. Таким способом он предвещает ухудшение погоды иногда за два-три дня.

Итак, если вы собрались в поход, взгляните на растения, не указывают ли они на скорое наступление ненастья.

Вода выделяется растениями не только в виде капель,

но и пара. Об испарении воды речь пойдет в следующем разделе.

### **Много ли воды испаряют растения!**

Обнаружить процесс испарения воды можно, поместив листья любого неповрежденного растения (например, герани) в колбу, закрепленную горизонтально в штативе. Отверстие следует закрыть ватой. Вскоре мы увидим, что внутренняя поверхность колбы покрылась каплями влаги. Это — конденсат водяных паров, выделенных листьями.

Попытаемся выяснить, какая сторона листа сильнее испаряет воду. Для этого приготовим 5 %-ный раствор хлорида кобальта и погрузим в него кусок фильтровальной бумаги. Влажная бумага имеет розовый цвет, однако при высушивании приобретает ярко-синюю окраску. Подсохшую фильтровальную бумагу приложим к обеим сторонам листа и прикроем сверху и снизу стеклами, которые закрепим резиной.

Спустя некоторое время бумага начнет розоветь. Это значит, что лист испаряет воду, под воздействием которой и изменилась окраска нашего индикатора. Особенно интенсивно порозовение идет на нижней стороне листа. Это обусловлено тем, что обычно здесь располагается больше устьиц

и, следовательно, сильнее происходит испарение.

Значительное количество воды транспирирует растительность лесов. Взрослая береза за сутки испаряет около 40 литров воды, а за весь вегетационный период — семь тысяч. Еще более интенсивным испарением обладают ивы и тополя. За вегетационный период лесные массивы Центральной Европы в ходе транспирации выделяют около 250—400 миллиметров влаги.

Лесоводы давно уже подметили, что на месте вырубленных лесов нередко образуются болота, которые исчезают в том случае, если на них вырастут новые леса, которые высосут из почвы избыточную влагу.

Вырубка лесов ведет к резкому поднятию грунтовых вод. На рисунке показано изменение их уровня под буковым лесом. В течение весенне-летнего сезона он постепенно снижался, достигнув своего минимума осенью. Зимой запасы грунтовых вод пополнялись. Но когда произвели сплошную рубку букового леса, грунтовые воды на протяжении всего года оставались приблизительно на одном уровне.

Чрезвычайно большое количество воды испаряют эвкалипты. В течение года одно растение эвкалипта способно испарить до 14 тонн воды. Возникает вопрос, почему именно эти растения являются рекор-

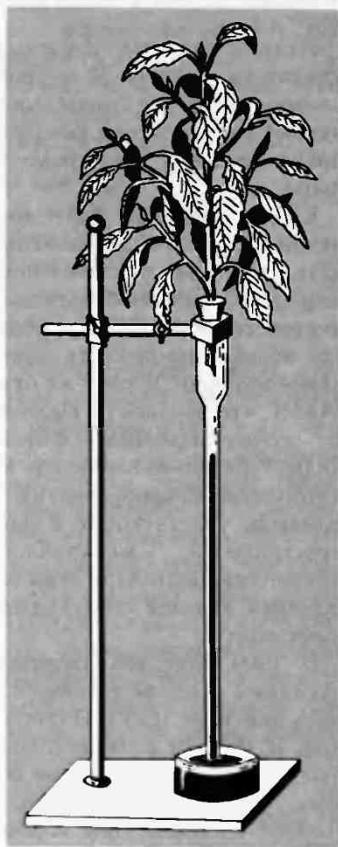


Уровень грунтовых вод под буковым лесом до и после сплошной рубки.

дистами по интенсивности транспирации? Это отнюдь не случайно. Эвкалипты — самые высокие цветковые растения. Так, в прошлом были описаны экземпляры высотой до 155 метров при диаметре ствола 25. Сейчас таких гигантов нет, но 100-метровые деревья в возрасте 350—400 лет сравнительно недавно еще можно было встретить во влажных лесах Австралии. Чтобы поднять воду так высоко, одного корневого давления мало — его едва хватает, чтобы доставить ее на десятиметровую высоту. Испарение — вот тот двигатель, который позволяет транспортировать влагу на более высокий уровень, и чем интенсивнее этот процесс, тем легче деревьям снабжать водой листья. Так что вовсе не случайно эвкалипты транспирируют так интенсивно.

Для некоторых читателей, возможно, осталось неясным, почему испарение воды способствует ее поднятию по стеблю. Поясним это на опыте. Возьмем небольшой отрезок стеклянной трубки, в один конец

которой герметично вставим срезанную ветку какого-нибудь дерева или кустарника, а через другой наполним ее водой. Затем зажем свободное отверстие пальцем и погрузим трубку в ртуть. Вскоре мы увидим, что последняя начинает подниматься, замещая всасы-



Всасывание воды веткой, вставленной в стеклянную трубку, конец которой погружен в чашку с ртутью.

ваемую веткой воду. Точно такое же явление наблюдается и в природе: листья дерева испаряют воду и одновременно поднимают жидкость, находящуюся в сосудах стебля, подобно ртути в стеклянной трубке. (Пары ртути ядовиты, поэтому делать этот опыт в домашних условиях не рекомендуется.)

Итак, эвкалипты, чьи корни уходят на глубину 30 метров, словно гигантские помпы выкачивают воду из почвы, бесперебойно снабжая ею огромную крону.

Еще в прошлом веке возникла мысль об использовании этих гигантов растительного мира для осушения болотистых местностей в южных широтах, где велика вероятность появления малярии. К тому же оказалось, что эвкалипты выделяют особые вещества — фитонциды, губительно влияющие на патогенные микроорганизмы и комаров, участвующих в распространении малярийного плазмодия. Благодаря этим веществам деревья обеззараживают воздух.

В 1909 году эвкалиптовые посадки с успехом использовались для этой цели в Португалии. В Италии с их помощью были осушены Понтийские болота. Высаженные на мысе Доброй Надежды, они в течение трех лет буквально преобразили нездоровый климат местности.

В 30-х годах большое коли-

чество эвкалиптовых деревьев было высажено в Грузии для уничтожения Колхидских болот — крупного очага распространения малярии.

Благодаря интенсивному росту очень быстро саженцы превратились в мощные деревья и местность стала здоровой.

К сожалению, эвкалипты теплолюбивы, поэтому их нельзя высаживать в северных районах, где почвы нередко переувлажнены.

Растения в засушливых районах транспирируют с различной скоростью. Те из них, которые достигают своими корнями грунтовых вод, испаряют обычно много влаги. Это — так называемые фреатофиты: финиковая пальма, верблюжья колючка. Американские геоботаники считают, что массовое развитие фреатофитов в районах, слабо обеспеченных водой представляет большую угрозу сельскому хозяйству, поскольку чревато непроизводительными потерями воды, поэтому солеустойчивый кедр принес немало бед в аридные районы юго-запада США. Это растение отличается чрезвычайно глубоко залегающей корневой системой и высокой интенсивностью транспирации. При прорастании семян и на начальных этапах развития оно нуждается во влажных условиях. В дальнейшем, кедр способен обеспечить себя водой из глубинных почвенных

горизонтов. Однако в результате сильной транспирации этот вид поглощает слишком большое количество влаги из почвы. Он обживает места, расположенные около естественных источников — ручьев и ключей. Впервые это растение появилось в Мертвой долине в районе Игл Боракс Сприг в 1930 году и уже к 60-м годам способствовало полному исчезновению поверхностных вод. Когда же кедр был уничтожен, вода снова вернулась.

Советские ученые тоже наблюдали понижение уровня грунтовых вод в результате деятельности фреатофитов. Так, например, по мере развития растительности в Кура-Араксинской низменности и в Ногайской степи грунтовые воды заглублялись, и этот процесс длился вплоть до ноября — декабря — времени, когда растения заканчивают свое развитие и перестают транспирировать. Выпадающие зимой дожди пополняют запасы подземных вод, и их уровень начинает вновь повышаться.

Относящаяся к числу фреатофитов финиковая пальма расходует на транспирацию до 1752 миллиметров влаги. И это в местах, где количество осадков не превышает 200 миллиметров! Ясно, что столь незначительное испарение воды обусловлено бесперебойным поступлением ее через корни.

Другие растения приспособились к существованию в за-

сушливых районах, наоборот, благодаря резкому сокращению транспирации. Их корни не могут в достаточном количестве поставлять воду, поэтому они погибли бы в случае интенсивного испарения от обезвоживания. Вот почему при недостатке влаги саксаул сбрасывает молодые побеги и таким образом регулирует свой водный режим.

Очень экономно расходуют воду кактусы, о которых Владимир Маяковский писал:

*Аж сам  
не веришь факту:  
Из всей бузы и вара  
Встает  
растенье-кактус  
Трубой от самовара.*

Действительно, форма кактусов необычна. Они похожи и на ребристые шары, и на многогранные зеленые колонны, иногда — на огромные канделябры (подсвечники). Особенности строения кактусов обусловлены необходимостью приспособляться к чрезвычайно засушливым условиям. Во-первых, у них очень небольшая поверхность тела и вместо листьев торчат колючки. Во-вторых, стебли покрыты плотной и толстой кожицей с небольшим количеством устьиц, которые почти всегда закрыты. Все это приводит в резкому сокращению транспирации.

О растениях, запасавших воду, мы поговорим особо.

## Наедине с пустыней

В настоящее время в пустынях работают люди многих специальностей: строители и геологи, нефтяники и чабаны, дорожники и метеорологи, газодобытчики и ботаники... Нередки случаи, когда человек остается наедине с пустыней. Антуан де Сент-Экзюпери в книге «Планета людей» прекрасно описал состояние человека, обреченного на умирание от жажды. Испытав на себе жестокое дыхание пустыни, он с полным правом мог сказать: «Вода дороже золота, малая капля воды высекает из песка зеленую искру-былинку». Известный поэт Т. С. Элиот (1888—1965) в поэме «Бесплодная земля» писал:

*Нет здесь воды всюду камень  
Камень и нет воды и в песках дорога  
Дорога которая вьется все выше в горы  
Горы эти из камня и нет в них воды  
Была бы вода мы могли бы напиться  
На камне мысль не может остановиться  
Пот пересох и ноги уходят в песок  
О если бы только была вода среди камней  
Горы гнилозубая пасть не умеет плевать.*

И все же, как бы ни была жестока пустыня, но и здесь есть скудная растительность. А растения, особенно фреатофиты, испаряют много воды. Нельзя ли использовать ее для нужд человека, оказавшегося наедине с пустыней? Оказывается, можно.

Нередко в пустынях можно встретить верблюжьую колючку

ку — растение из семейства бобовых, возвышающееся над поверхностью почвы на полметра. Ее легко опознать по пышной зелени и крупным колючкам, густо покрывающим растение. Корни верблюжьей колючки могут проникать в субстрат на глубину 15—18 метров и благодаря этому достигать уровня грунтовых вод. Будучи типичным фреатофитом, она испаряет огромное количество воды, что позволяет ей снижать температуру тела тогда, когда термометр показывает 50 °С в тени. Поэтому листья верблюжьей колючки даже в самое пекло сохраняют свежесть и успешно фотосинтезируют.

Сотрудники Института физиологии и экспериментальной патологии аридной зоны

АН Туркменской ССР попытались собрать испаряемую воду. Ведь в пустыне для человека бывает дорог каждый глоток. С этой целью на растения верблюжьей колючки плотнее одели обыкновенные полиэтиленовые пакеты. Результат превзошел ожидания. В зависимости от величины растения за час в пакете



собиралось от 30 до 50 миллилитров влаги. За световой день пять-шесть полиэтиленовых пакетов размером  $1 \times 1$  метр могут собрать 2—2,5 литра жидкости, которая по вкусу напоминает терпкий зеленый чай.

Таким же образом собирают воду и от других растений пустыни. Вот так на практике можно использовать знание физиологии растений.

### **Как ограничить транспирацию?**

В целом ряде случаев требуется ограничить транспирацию. Например, при пересадке деревьев и кустарников корневая система, как правило, повреждается и не может в достаточной степени снабжать растение водой. Между тем листья испаряют воду, и

это угрожает обезводить растение и вызвать его гибель.

Испарение происходит и при хранении растениеводческой продукции: капусты, картофеля, яблок и т. п. В результате ухудшается их качество: они становятся дряблыми, сморщенными, малопривлекательными на вид и менее вкусными.

Чтобы уменьшить транспирацию после пересадки, прибегают к удалению части побегов или листьев у деревьев и кустарников. Но использование этого приема нежелательно, так как он задерживает вступление растений в фазу продуктивного плодоношения: пока-то образуются новые побеги и листья!

Для предотвращения вредного действия транспирации при пересадке прибегают к использованию особых ве-

ществ-антитранспирантов, ограничивающих ее интенсивность. Обычно это растворы или эмульсии веществ, образующих на поверхности листьев, стеблей, плодов после обработки ими тонкие защитные пленки. В результате устьица оказываются закрытыми, и диффузия пара из межклетников значительно сокращается.

Первоначально в качестве антитранспирантов использовались воскообразные вещества растительного или животного происхождения, а также парафин. Но у них были существенные недостатки. В частности, перед нанесением парафина необходимо было расплавить, нагрев до 70° С. Обработка растений такой горячей жидкостью приводит к повреждению почек и листьев. Благодаря введению в парафин различных компонентов удалось значительно улучшить его качества как антитранспиранта. Во-первых, он стал разжижаться при менее высоких температурах, и, во-вторых, образуемые им пленки получаются более эластичными, долговечными, надежными, лучше прилипают к растительному материалу. Обработка таким парафином черенков винограда улучшает их укореняемость и приживаемость.

В настоящее время в качестве антитранспирантов стали применять растворы и

эмульсии различных полимеров. Существует множество пленкообразующих веществ, однако растениеводству необходимы только безопасные в отношении биосферы. Кроме того, желательно, чтобы они растворялись в воде — наиболее безвредном растворителе, были просты в эксплуатации, образовывались бы при обычной температуре, успешно противостояли ультрафиолетовым лучам, не окислялись кислородом воздуха. Существенное значение имеет и стоимость препаратов. Наконец, очень важно, чтобы по истечении срока надобности пленка отслаивалась бы от листа, иначе произойдет нарушение процесса фотосинтеза.

Широкое распространение в качестве антитранспирантов получили желатин, крахмал и их смеси с различными добавками, растворы полимеров, некоторые нефтепродукты.

С помощью антитранспирантов можно поистине творить чудеса. Известно, что в период цветения ни один садовод не будет пересаживать плодовое дерево: цветки все опадут, урожая не будет. Если же цветущую яблоню обработать антитранспирантом и пересадить, осенью она будет плодоносить. Благодаря этим препаратам стала возможной пересадка деревьев и кустарников в любое время года.

Использование антитран-

спирантов позволяет в пять-шесть раз увеличить срок хранения овощей и фруктов.

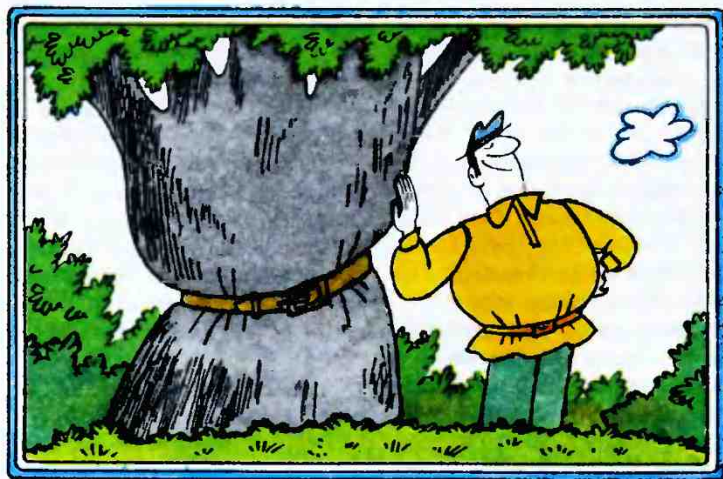
В Московском лесотехническом институте были созданы и испытаны антитранспиранты на основе дивинилметилметакрилатного латекса и поливинилового спирта с различными добавками. Антитранспирант под названием «Росток», созданный в 1984 году, имеется в продаже. Он предназначен для обработки саженцев или черенков деревьев и кустарников, но его нельзя использовать для повышения лежкости овощей и фруктов.

### **Деревья «худеют» и «поправляются»**

Возраст дерева устанавливается по количеству годовичных кругов. Ежегодно появляется

новое кольцо древесины, благодаря чему происходит увеличение толщины дерева. Однако у некоторых видов деревьев в отдельные годы толщина стволов не увеличивается, а... уменьшается. Так, например, лесничий Национального музея в Булавайо (Зимбабве) Г. Гай в течение 35 лет измерял окружность нескольких баобабов на уровне груди.

Исследователь заметил, что уменьшение диаметра ствола баобаба совпадает с засухами, а увеличение — с выпадением большого количества осадков. Возраст баобабов достигает нескольких тысячелетий, у них толстый ствол, древесина рыхлая, насыщенная водой. Изменение климатических условий, безусловно, сказывается на содержании влаги в стволах, в ре-



зультате чего толщина их варьирует.

Диаметр ствола меняется не только в отдельные годы, но и в течение дня, особенно если он солнечный и жаркий. Почему это происходит?

Из учебника ботаники известно, что вода движется по древесине, которая составляет основную часть ствола дерева и образована длинными узкими клетками, превратившимися в трубкообразные сосуды. В них она находится в виде сплошных столбиков, прочно сцепленных с эластичными стенками. В случае нехватки влаги связь между столбиками воды и стенками сосудов не нарушается благодаря существующему между ними сцеплению и эластичности сосудов. В жаркий летний полдень листья так интенсивно испаряют воду, что корни не успевают восполнить потерянную растением влагу. В результате водяные столбики становятся тоньше, но не отрываются от стенок сосудов.

При этом просветы сосудов становятся меньше и дерево «худеет» по сравнению с ночным показателем, когда транспирация незначительна и сосуды переполнены водой.

Наблюдения, проведенные в парке города Смоленска в июне, позволили установить, что толщина деревьев в полдень имеет тенденцию к уменьшению по сравнению с вечер-

ними и утренними часами. Различия, однако, незначительные.

Полученные данные не являются неожиданным, но представляют интерес вот в каком отношении. Уж если измерять толщину деревьев в течение ряда лет, то делать это нужно в одни и те же часы: тогда суточный ритм колебаний толщины дерева не будет накладываться на годовые показатели.

### **Растения — накопители воды**

Некоторые растения — обитатели засушливых районов — успешно переносят жаркое время года, запасая воду в особых тканях и органах.

Дерево-фляга, или моринга (*Moringa ovalifolia*), произрастает в горах Юго-Западной Африки. Это растение было впервые описано немецким ботаником Динтером в 1914 году. Сравнительно небольшое дерево (его высота от двух до шести метров) удивляет толщиной своего ствола, достигающего в диаметре одного метра. Благодаря этому дерево накапливает большое количество воды. Древесина его мягкая и сочная.

Интересно отметить, что в более влажных местах ствол остается мягким и губчатым. но не бывает таким толстым.

Резервуары для хранения воды имеют огуречное дерево (*Dendrosicyos socotrana*), адениум сокотранский (*Adenium socotranum*), дорстения гигантская (*Dorstenia gigas*). Все они растут на острове Сокотра, расположенном у восточного побережья Африки.

Огуречное дерево из семейства тыквенных очень своеобразно. Его ствол, покрытый светло-серой корой, имеет конусовидную форму. Он мясист и сочен, хотя растение произрастает на выжженной солнцем каменистой почве. Ствол служит резервуаром, запасующим воду на весь долгий засушливый сезон.

Две-три короткие толстые ветки поддерживают негустую крону, образованную тонкими колючими веточками с крупными дланевидными жесткими листьями. Мелкие однополые желтые цветки собраны в негустые соцветия. Дерево названо огуречным по той причине, что его плоды, усеянные шипами, похожи на огурцы. Плоды-то похожи, а вот само дерево едва ли напомнит своих ближайших родственников — тыкву или огурец.

В Кении произрастает «брат» адениума сокотранского — адениум тучный (*Adenium obesum*). У него клубнеподобный ствол, от верхней части которого отходят короткие, но довольно толстые вет-



Огуречное дерево.

ки. На ветвях располагаются сочные листья и красные цветки.

В безводных областях Центральной Австралии произрастает необычное по форме дерево из семейства стеркулиевых, напоминающее бутылку. Его так и называют «квинслендское бутылочное дерево», или брахихитон наскальный (*Brachychiton rupestris*). Этот родственник шоколадного дерева достигает высоты пятнадцати метров при диаметре ствола 1,8 метра. В дождливое время года в стволе накапливается большое количество влаги, которая в период засухи постепен-

но расходится. Вода, пригодная для питья, помещается в особом отделении, расположенном в нижней части ствола между корой и древесиной. Еще один резервуар находится в средней части дерева. В нем — сладковатый густой сок, который, по утверждению специалистов, очень питателен и быстро утоляет жажду.

«Бутылочное дерево» — собирательное название. Так именуют несколько разных видов. «Панамское бутылочное дерево» (*Cavanillesia plataniifolia*) из семейства бомбаксовых примечательно тем, что его древесина очень легкая, рыхлая. Она не может служить опорой огромному дереву. Поэтому функцию древесины выполняет толстая и

очень крепкая, гладкая кора серого цвета. Она значительно тяжелее и прочнее древесины. Издали такие деревья кажутся закованными в бетон.

В семействе молочайных также есть «бутылочное дерево», только оно значительно меньше названных. Речь идет об ятрофе (*Jatropha podagrica*). Он растет в тропической Америке.

Государственный герб Демократической Республики Мадагаскар украшает равенала мадагаскарская (*Ravenala madagascariensis*), или дерево путешественников. Внешний вид равеналы очень необычен — она напоминает распущенный павлиний хвост. Такое впечатление возникает из-за того, что все листья равеналы расположены в од-



Адениум тучный.

ной плоскости. Почему это растение назвали деревом путешественников? Влагалища, образованные черешками листьев, очень крупные, объемистые, с плотно охватывающими ствол краями. В них скапливается до одного литра воды. Утверждают, что если отогнуть толстый черешок огромного листа или сделать прокол у его основания, то потечет струйка прохладной и прозрачной жидкости, способной утолить жажду. Вот почему равенала получила такое название. Однако в литературе существуют самые противоречивые сведения относительно количества и качества жидкости, получаемой из равеналы.

Некоторые африканские деревья накапливают воду в особых резервуарах, расположенных на внешней стороне растения. Так, например, у ризинодендрона (*Ricinodendron gautapennii*), большого красивого дерева, произрастающего в Зимбабве и известного также под названием «замбезийский миндаль», «орех Манкетти», дождевая вода собирается в углублениях ствола.

У старых экземпляров босции (*Boscia albitrunca*) часто образуется дупло, которое служит естественным сосудом для воды. Охотники в случае необходимости пробивают в стволе отверстие, через которое она начинает вытекать.

В некоторых случаях резервуары для запасаания воды жители Африки изготавливают сами. С этой целью в Судане используют баобабы, в стволе которого выдалбливают емкости, заполняющиеся в сезон дождей влагой. Для облегчения доступа к «водоему» прямо в стволе делают ступени.

Утолить жажду в Западной Африке поможет мусанга Смита (*Musanga smuthii*) из семейства цекропиевых, называемая еще «пробочным» или «зонтичным» деревом. Оно растет очень быстро и широко распространено на вырубках, почва которых богата перегноем. Характерной особенностью мусанги Смита является способность образовывать ходульные корни, причем обычно в нижней части стебля на высоте до трех метров. Молодые ветки этого растения содержат пригодную для питья влагу, поэтому в случае нужды охотники и обезьяны обламывают их. Вода сочится из мест повреждения довольно долго. Если же выделение ее ослабевает, можно обновить срез.

Африканское дерево спатодеею колокольчатую (*Spathodea campanulata*) из семейства бигониевых в некоторых местах называют «деревом-источником», так как вода буквально переполняет его цветочные почки.

В Южной Америке, на северо-востоке Бразилии, встре-

чается дерево умбу, или спондиас, момбин (*Spondias tuberosa*) из семейства анакардиевых. На его корнях образуются большие подземные утолщения, своеобразные хранилища воды на случай засухи.

У мексиканского дерева сейбы мелколистной (*Seiba pavifolia*) из семейства бомбаксовых, произрастающего в местности, где краткий сезон дождей сменяется длительной засухой, корни не достигают глубоководных грунтовых вод. Тем не менее это небольшое дерево успешно вегетирует, цветет и плодоносит. Причина — наличие подземных резервуаров для воды на корнях в виде мягких шаровидных образований, достигающих в диаметре 30 сантиметров. Снаружи эти емкости покрыты грубой пробковой оболочкой, под которой находится мягкая, волокнистая и губчатая ткань. В начале засушливого сезона шаровидные утолщения корней содержат значительное количество воды, но к концу запасы ее почти истощаются. Такие корневые вместилища влаги могут функционировать много лет.

Каждый, кто хочет познакомиться с подземными хранилищами воды у растений, может сделать это, не совершая длительного путешествия в Африку, Австралию, Южную Америку. Для этого достаточно обследовать комнатное ра-

стение хлорофитум. При пересадке из одного горшка в другой нетрудно заметить, что корни у него белые и очень сочные, иногда похожие на удлиненные корни редьки. В них содержится большое количество воды. Родина этого растения — мыс Доброй Надежды. Там оно произрастает как эпифит на коре деревьев. В период засухи, когда и в воздухе, и в коре дерева-хозяина мало влаги, хлорофитум переходит на самообеспечение и живет за счет собственных запасов воды, накопленных в корнях.

Об эпифитах мы подробнее поговорим в следующей главе. Отметим лишь, что многие из них имеют очень разнообразные приспособления к запасению влаги, что, безусловно, определяется особенностями их биологии. У некоторых эпифитных папоротников, в частности у нефролеписа сердцевиднолистного (*Nephrolepis cordifolia*), в период дождей на коротких боковых разветвлениях корневищ развиваются особые, покрытые сухими тонкими серебристыми чешуйками клубни, ткань которых переполнена водой. Старые экземпляры нефролеписа в условиях теплицы могут образовывать свыше 200 клубней в год. Наиболее крупные достигают в длину 2—2,5 метра.

У других эпифитов роль внутренних резервуаров вы-

полняют особые утолщения стебля, ложнолуковицы и толстые листья.

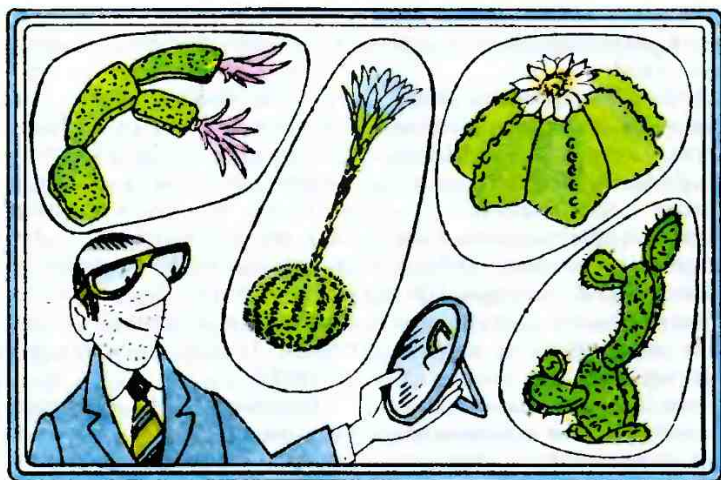
Примером наружных резервуаров служат мешковидные листья дисхидии Раффлеза (*Dischidia rafflesiana*) из семейства ластовневых. Эта эпифитная лиана нередко достигает значительной высоты, обвив стволы деревьев. Это растение имеет листья двух типов: одни обычные, немного мясистые, другие видоизмененные, напоминающие мешок или кувшин. Эти образования служат для сбора и хранения воды. От основания листа вовнутрь кувшина проникают сильноразветвленные воздушные корни. Они-то и всасывают попадающую в кувшин-мешок во время дождя влагу.

Бромелиевые — многочисленное семейство однодольных растений. Оно насчитывает не

менее 2100 видов, причем почти все они распространены в Новом Свете. Одни встречаются на песках, другие — на совершенно голых скалах, третьи, став эпифитами, поселились на стволах и ветвях растений, используя их лишь как место обитания. Виды тилландсии, произрастающие в Чили, вслед за лишайниками и мхами обжили скалы. А ведь это цветковые растения.

Любопытно, что у некоторых видов этого семейства функция корней несколько изменена — в основном они служат для прикрепления к субстрату. Есть, однако, среди бромелиевых и такие виды, например, из рода тилландсия, у которых корни утратили даже якорную функцию и атрофировались. У части бромелиевых корни не контакти-





руют с почвой и заканчиваются в пазухах листьев.

Каким же образом эти необычные бромелиевые снабжаются водой? У многих растений листовые влагалища плотно соединяются друг с другом, образуя сосуды в форме вазы или чаши, где во время дождя собирается довольно много влаги. Из этих емкостей она вместе с растворенными в ней питательными веществами всасывается придаточными корнями, вырастающими в основании листьев. У некоторых видов сосуды для сбора воды довольно объемистые. Так, например, у фризей гигантской (*Vriesea gigantea*) они вмещают более пяти литров воды, а у гломеропиткерии (*Glomeropitcairnia*) — даже около 20 литров жидкости.

У ворсянки лесной (*Dip-*

*sacus fullonum*) и ворсянки посевной (*D. sativus*), принадлежащих к семейству ворсянковых, супротивно расположенные листья основаниями своих черешков обхватывают стебель таким образом, что образуется небольшая чаша. Обычно в ней скапливается дождевая вода, запасы которой пополняются также за счет росы. Не случайно один из видов ворсянки, произрастающий в сухих степях Европы, народ метко назвал «ястребиным колодцем». Это растение служит источником воды для степных птиц.

Мощная внутренняя водоносная ткань имеется у суккулентов — растений с сочными, богатыми влагой вегетативными органами. У агав, алоэ и молодила она сосредоточена преимущественно в листьях, тогда как у кактусов

и некоторых молочаев — в стеблях. На своей родине — в засушливых условиях Мексики — листья агавы достигают трехметровой длины. После удаления молодой цветочной почки растение может давать до семи литров сока ежедневно. В безводной местности это бесценный подарок для человека.

В Мексике широко распространены кактусы. Их обилие, разнообразие и размеры производят сильное впечатление на путешественников. Шарообразные эхинокактусы и колонновидные цереусы, лопухие опунции и змеевидные кактусы придают местности фантастический вид.

Эти растения интенсивно запасают воду во время дождей. Особо крупные экземпляры накапливают до двух тысяч литров влаги. Свои водные запасы они очень экономно расходуют в ходе вегетации. Не случайно известный советский физиолог растений, академик Н. А. Максимов назвал засухоустойчивые растения из группы суккулентов «скопидомами», то есть «жадинами». В теле «скопидомов» содержится до 90 процентов воды.

Почему кактусы очень экономно расходуют влагу? Это обусловлено их химическим составом и особенностями строения. В теле кактуса содержится много веществ (сахара, органические кислоты,

слизи), которые связывают воду. Неудивительно, что даже после трехлетней засухи стебли опунции многоколючковой (*Opuntia polyacantha*) содержали 81 процент воды. Сохранению влаги способствуют и особенности строения кактусов: шаровидная форма, наличие «ребер», колючек, утолщение стенок наружных клеток, заглубленное расположение устьиц, а также густое опушение и мощный восковой налет.

Некоторые растения запасают воду в клубневидных утолщениях корней. У неопортерии реповидной (*Neoporteria repina*) такой корень достигает в диаметре 60 сантиметров. Масса его может доходить до 50 килограммов.

### **Друзья пожарников**

Печальное зрелище представляет собой лесное пожарище. Поэт А. Коваленков в стихотворении «Гарь» очень метко описал его:

*Станный, непонятный интерес,  
Оторопь и даже страх, пожалуй,  
Испытал я, встретив обветшалый,  
Черный и пустой горелый лес.  
Крематорий сказок и чудес,  
Погребенье песен недопетых  
Я нашел, узнал в твоих приметах,  
Черный и пустой горелый лес!*

Оказывается, некоторые растения успешно противостоят распространению огня. Их спе-

циально высаживают в лесах с этой целью.

...Одним из наиболее популярных и могущественных богов Древней Греции был Дионис — бог растительности, покровитель виноградарства и виноделия. Родителями Диониса были Зевс и дочь фиванского царя Кадма Семела. Гера, жена Зевса, из ревности к своей сопернице решила с помощью хитрости уничтожить ее в ту пору, когда та была беременной Дионисом. Она уговорила простодушную Семелу упросить Зевса явиться к ней во всем своем величии. Однажды Зевс поклялся Семеле водами подземной священной реки Стикс исполнить любое ее желание. Тут-то она и обратилась к нему со своей просьбой. Зевс не мог нарушить данной клятвы и явился во дворец Кадма в полном блеске своей славы. Во дворце фиванского царя засверкали молнии, оглушительно загрохотал гром. От молнии дворец загорелся. Беременная Семела упала на землю, пламя нещадно жгло ее тело. Так Гера отомстила своей сопернице. Во время пожара у умирающей Семелы и родился сын, казалось бы, обреченный погибнуть в пламени. Но тут из земли появились густые заросли плюща, которые прикрыли ребенка и спасли от неминуемой смерти. По этой причине Диониса называли еще «плющешумный», «плю-

щенокнолюбивый», «плющевенечный», «плющевой», «плющенокосный», «плющеволосый».

Способность плюща противостоять огню — не фантастическая выдумка греков. Повидимому, уже в глубокой древности люди заметили эту особенность растения. В настоящее время во Франции плющ наряду с розмарином широко используют для предохранения лесов от пожаров. На юге этой страны — наиболее пожароопасной зоне, в новых, а иногда и в старых лесопосадках высаживаются эти растения. Они — надежные помощники пожарников.

Если сухая погода устанавливается надолго, то в некоторых районах нашей страны, особенно в Сибири, также возникают лесные пожары. Они наносят колоссальный ущерб лесному хозяйству. Однако в ряде случаев разбушевавшееся пламя вдруг стихает, и пожар сам по себе прекращается, словно огонь наткнулся на непреодолимое препятствие. Такой преградой на его пути становятся некоторые растения. В Сибири в роли пожарников выступают кошачьи лапки и толокнянка (медвежья ягода). Заросли этих растений очень плохо горят и препятствуют распространению огня. Лесоводы специально высаживают толокнянку среди соснового молодняка.

Лиственничные леса также пожароустойчивы. Дело в том,

что крона лиственниц высоко поднимается над землей, поэтому пламя не может часто до нее «дотянуться». Вместе с тем ствол дерева покрыт толстой грубой корой, почти не содержащей смолы. При пожаре она обычно не загорается, а лишь обугливается.

Плохо горят и осины из-за большого содержания воды в тканях.

Сахалинская гречиха (*Polypodium sachalinense*) — высокая сочная трава с красивыми крупными листьями, нередко выращиваемая в декоративных целях, тоже очень успешно противостоит огню. Она не горит даже будучи облитой керосином. Причина огнестойкости та же — значительное содержание воды в тканях.

Из древесных пород высокой пожароустойчивостью обладает гинкго. Из этого растения создают противопожарные полосы.

Североамериканским секвойям вследствие очень плотной и плохо возгорающейся древесины огонь не страшен. К тому же деревья покрыты толстой волокнистой корой.

При извержении вулкана Толбачик на Камчатке потоки раскаленной лавы и горячий пепел уничтожили поблизости всю растительность. Однако совсем недалеко от выжженной зоны ученые обнаружили живые деревья. Устойчивыми к действию высоких темпера-

тур оказались ель Глена и береза каменная.

В ряде случаев для борьбы с пожарами используются вещества, образуемые растениями. Речь идет о сапонинах, которые, растворяясь в воде, дают обильную белую пену, что позволяет использовать их в качестве пенообразователя в огнетушителях. К примеру, очень богата сапонинами солодка голая, или лакрица. Это растение произрастает в Средней Азии. Порошок из ее коры находит самое широкое применение, в том числе и в качестве пенообразователя.

В некоторых американских штатах для борьбы с лесными пожарами используют глубоководные морские водоросли. Экстракт, полученный из них, добавляется в воду. При этом образуется студенистая масса, которая очень медленно испаряется. Ею и обрабатывают горящие предметы.

### **Основные добытчики воды**

В басне И. А. Крылова так охарактеризована роль корней и листьев:

*Чьи работают грубые руки,  
Предоставив почтительно нам,  
Погружаться в искусства, науки,  
Предаваться страстям и мечтам.*

Корни и в самом деле великие труженики, совершающие гигантскую работу по снабжению растения водой и минеральными солями. Для того

чтобы успешно выполнять эту работу, они должны развиваться в почве с очень большой скоростью. Установлено, что общая длина корней трехмесячного растения озимой ржи достигает 619 километров! За сутки они вырастают на 4,8 километра. Это происходит в основном за счет активного образования корневых волосков: в течение суток их количество увеличивается более чем на сто миллионов! Благодаря такой высокой скорости роста корневая система растения в случае пересыхания какого-то участка почвы может очень быстро перестроиться и начать усваивать воду с соседнего, имеющего запас влаги. Вследствие интенсивного роста корней происходит непрерывное перемещение всасывающей зоны корневой системы. Особое значение это имеет в засушливых местностях. Чем суше почва, тем медленнее перемещается в ней вода, поэтому корням приходится, как образно выразился академик Н. А. Максимов, буквально «ходить по воду» в более влажные, еще не использованные почвенные горизонты.

Корни, безусловно, являются основными добытчиками воды. Ну а если ее в почве мало, это еще не означает, что растение непременно погибнет. Некоторые виды приспособились к усвоению влаги из... воздуха.

## **Влага из воздуха**

Физиологи растений серией лабораторных опытов опровергли бытовавшее длительное время мнение, что вода, находящаяся в атмосфере в виде пара, недоступна растениям. Однако это, по-видимому, не так. Некоторые исследователи наблюдали поступление значительного количества парообразной воды в опытное растение, а затем передвижение и выделение ее в субстрат, в котором оно находилось. Согласно данным известного специалиста в области водного режима растений Р. Слейчера, поглощение паров воды растениями наблюдается как из атмосферы с влажностью воздуха около 100 процентов, так и из ненасыщенной водяными парами.

Одним из первых изучал поглощение паров воды листьями картофеля в полевых условиях советский исследователь А. Н. Бабушкин.

Поглощение паров воды листьями растений осуществляется одновременно с процессом испарения воды. Средняя интенсивность поглощения парообразной воды кукурузой составляет 30—50 процентов от величины испарения. Большие значения интенсивности поглощения паров листьями кукурузы позволяют предположить, что этот процесс играет важную роль в жизнедеятельности растения.

Когда физиологи растений в лабораторных условиях твердо установили, что растения могут усваивать парообразную воду, они заинтересовались, насколько распространено это явление среди дикорастущих растений. Оказалось, что есть немало видов, которые существуют преимущественно за счет парообразной воды, причем растения выработали несколько механизмов для улавливания такой влаги. Например, обитатель пустынь — американский карликовый кедр. Запасы воды он восполняет в ночные часы, когда даже в пустыне воздух насыщен влагой.

Каперсы колючие (*Carragis Spinosa*), произрастающие в пустыне Сахаре, также, по-видимому, приспособились улавливать влагу из воздуха. Несмотря на то что вокруг свирепствует сильная засуха, это растение прекрасно выглядит. Его зеленые плоды, несколько похожие на огурцы, раскрываются при созревании наподобие цветков тюльпана. При этом становится заметной ярко-красная окраска их мякоти.

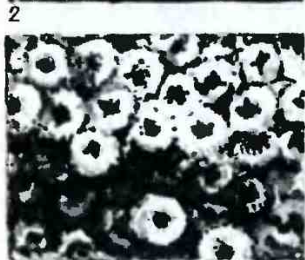
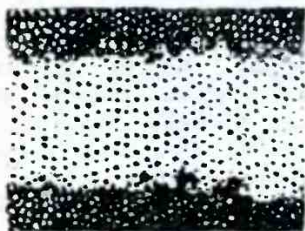
Какие же механизмы обеспечивают растениям возможность усвоения атмосферной влаги. У кактусов, например, — это колючки. И дело не только в том, что благодаря сокращению испаряющей поверхности им удалось ограничить расход воды. Одна

из важнейших функций колючек — способность к конденсации из воздуха водяных паров. Ф. Патури, автор книги «Растения — гениальные инженеры природы», считает, что это происходит следующим образом. Одревесневшие колючки и волоски кактусов в ветреную погоду накапливают электрические заряды, благодаря которым притягивают к себе из воздуха капельки воды и способствуют конденсации водяного пара, находящегося в атмосфере.

По-иному приспособились улавливать из воздуха влагу эпифиты — растения, обитающие на деревьях и кустарниках. Они используют их как опору, но питаются самостоятельно. Эпифитами богато семейство орхидных. Многие орхидеи живут в кронах высоких деревьев влажных тропических лесов. Их воздушные корни свободно висят в пространстве. Толстый слой гигроскопической ткани из мертвых клеток, заполненных воздухом, предохраняет их от высыхания и улавливает влагу из воздуха. Такие гигроскопические чехлы подобно промокательной бумаге жадно впитывают не только дождевую воду и утреннюю росу, но и мельчайшие капельки туманов и пар.

Третий механизм, пожалуй, наиболее эффективный и поразительный, мы обнаруживаем у представителей семей-

ства бромелиевых. Об удивительных свойствах этих растений мы уже упоминали. Они интересны не только особенностями своей корневой системы и произрастанием в суровых условиях, но и тем, что успешно удовлетворяют свои потребности в воде в основном за счет влаги ночных туманов.



Эхмея:

1 — общий вид растения; 2 — белая полоса листа под лупой; 3 — микроскопическое строение белых полосок.

Вот, оказывается, почему эти растения отказались от корней или используют их лишь в качестве инструмента прикрепления к субстрату.

Для поглощения влаги непосредственно из воздуха бромелиевые выработали особые приспособления. Это — микроскопические чешуйки, расположенные на листьях. При высыхании они сморщиваются, но это не мешает нормальному газообмену через устьица.

Для изучения этих чешуек можно взять комнатное декоративное растение эхмею (*Aechmea chantinii*). У нее узкие, длинные и сочные листья, украшенные белыми поперечными полосами. Под лупой можно рассмотреть, что полоса образована множеством мелких круглых пластинок, диаметр которых менее четверти миллиметра. Для более детального их изучения необходимо вооружиться микроскопом. Теперь отчетливо видно, что пластиночки на самом деле имеют форму воронок, середина которых погружена в ткань листа, а края свободно лежат на поверхности, не срастаясь с ней. Каждая воронка — это особая пустотелая клетка, которая в сухую погоду сжимается. При увлажнении ее стенки быстро набухают и распрямляются. Одновременно внутри клетки образуется разреженное пространство, благодаря

чему влажный воздух и конденсационная влага всасываются внутрь. Поступившая в клетку-воронку влага не остается в ней, а тут же отсасывается живыми клетками, находящимися с нижней стороны пластинок, и уже через них поступает внутрь листа. Одна сухая клетка-воронка может поглотить каплю воды. Неудивительно, что целое растение способно впитать значительное количество влаги, приносимой туманом или росой, так как воронки располагаются на листе довольно плотно.

К бромелиевым, усваивающим атмосферную влагу, принадлежат несколько сотен видов рода тилландсия. Они растут на деревьях, скалах, сухом песке. Корневая система у них обычно атрофирована, а иногда вообще отсутствует. Типичный пример таких растений — произрастающая в перуанских пустынях тилландсия пурпурная (*Tillandsia purpurea*). Она не имеет корня, поэтому просто лежит на сухом песке под палящими лучами тропического солнца. Растение довольствуется лишь влагой, регулярно приносимой со стороны Тихого океана густыми туманами.

А вот тилландсия уснеевидная (*Tillandsia usneoides*) очень похожа по внешнему виду на лишайник уснею, что и определило ее видовое название. Иногда ее называют



Тилландсия уснеевидная.

«испанским мхом» и используют для обивки дверей и в качестве упаковочного материала. С ветвей дерева-опоры она свисает в виде гигантских бород. В сухом состоянии тилландсия уснеевидная имеет ничтожную массу, но стоит бросить ее на поверхность воды, как клетки-воронки моментально впитают ее, масса растения резко увеличится и оно пойдет ко дну.

Так, благодаря различным приспособлениям растения засушливых местообитаний приспособились усваивать влагу из воздуха.

## В поисках воды

Среди высших растений, населяющих нашу планету, плауновидные — одни из самых древних. Наряду с плауном к ним относятся представители рода селлагинелла, а по русски — плауника. Селлагинеллы обитают чаще всего во влажных местах, но есть среди них и виды, хорошо приспособленные к жизни в сухих местах. Обводненность их тела зависит от увлажненности окружающей среды. Во время засушливого периода года они высыхают почти до воздушно-сухого состояния, но пройдет дождь — и растения полностью восстанавливают свой внешний вид и внутреннее строение.

В Южной Америке произрастает вид селлагинеллы, который во время засухи заворачивает боковые листья на верхнюю сторону, а побеги закручивает к центру образовавшегося шара. Растение вытягивает из почвы корень, отрывается от субстрата и, гонимое ветром, отправляется странствовать по белому свету. Когда оно попадает во влажное место, то начинает впитывать влагу и приобретает прежнее строение. Теперь уже ветру не согнать его с облюбованного местечка. Селлагинелла выпускает корень и закрепляется.

Нечто подобное можно наблюдать и у кактусов. «Пры-

гающим» кактусом называют в Мексике один из видов цилиндропунции (*Cylindropuntia tunicata*). Вы можете пройти мимо, не прикоснувшись к нему, и тем не менее он прицепится с помощью колючек к вашей одежде, совершив для этого настоящий прыжок.

В чем причина этого явления? Ф. Патури в книге «Растения — гениальные инженеры природы» предположил, что здесь действуют силы электростатического притяжения. И хотя механизм подобных движений кактуса неясен, необычная «страсть» этого небритого и нахального бродяги к перемене мест, безусловно, не что иное, как приспособление к суровым условиям пустыни.

## Оригинальный способ получения воды

Корневая система фреатофитов достигает уровня грунтовых вод и обеспечивает подобно насосу бесперебойное снабжение растений водой. Если культурные растения смогут развивать такую же корневую систему, то пустыни и полупустыни не будут для них запретной зоной.

Между тем мечта эта не столь уж несбыточна. Ведь человек поистине творит чудеса. Ему ничего не стоит привить на корневую систему

какого-нибудь растения-насоса культурное растение.

В жаркой, знойной Туркмении чабаны так и делают. Они срезают стебель верблюжьей колючки, остающийся пенек расщепляют, а в расщеп вставляют семя арбуза или дыни. Корни верблюжьей колючки, как известно, достигают уровня грунтовых вод, расположенных на глу-

бине 10 и даже 20 метров. После удаления надземной массы вода поступает к посаженным в расщеп семенам, увлажняет их и способствует прорастанию. Возникающий затем проросток прочно срастается с питающей его корневой системой. Благодаря этому сочные, сладкие и душистые дыни вырастают на раскаленном песке.

## КАК ПИТАЮТСЯ РАСТЕНИЯ?

---

«Нынче, сударь, все молодежь пошла. Химии да физики в ходу... Такое уж нынче время настало, что в церкву не ходят, а больше, с позволения сказать, в удобрения веруют».

**М. Е. Салтыков-Щедрин**  
«Благонамеренные речи»

### **На первое — макро-, на второе — микроэлементы**

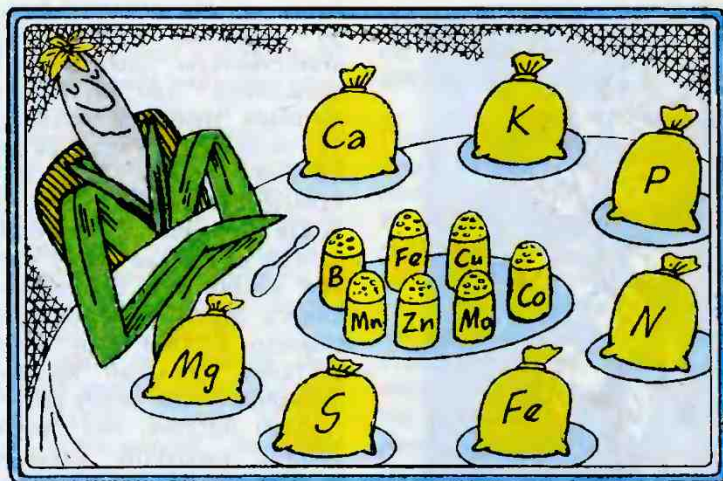
С водной теорией питания растений, предложенной голландцем Ванн Гельмонтом, мы познакомились ранее на примере опыта с ивой. Эту теорию поддерживали многие ученые, но она оказалась верной лишь отчасти. Мы теперь знаем, что вода необходима для протекания процесса фотосинтеза: из углекислого газа и  $H_2O$  образуются органические вещества. Фотосинтез принято считать воздушным питанием растений, и, следовательно, вода необходима для их питания. Вспомните, голландец не учел ничтожные по сравнению с массой всей почвы 57 граммов, которые она потеряла в ходе опыта. А ведь это не что иное, как минеральные соли, которыми также питается растение. Раздел физиологии растений, изучающий поглощение и усвоение минеральных веществ, назван корневым питанием растений.

Если высушенное растение сжечь, то останется зола, на

долю которой приходится около пяти процентов сухой массы, включающей в свой состав разнообразные минеральные соединения. Эти вещества, а также азот, улетучивающийся при сжигании в виде газообразных окислов, поступают в растения в основном из почвы.

Химические элементы, содержащиеся в растительных тканях в относительно большом количестве, принято считать макроэлементами. Это — азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера. Другие элементы нужны растениям в относительно небольшом количестве, например бор, марганец, медь, цинк, молибден, кобальт. Их называют микроэлементами. Железо одни физиологи относят к макроэлементам, другие — к микроэлементам.

Содержание какого-либо элемента в тканях растений весьма непостоянно. Оно изменяется под действием многих факторов. Так, количество фосфора может колебаться от 0,14 до 2,5 процента.



Минеральное питание играет исключительно важную роль в жизни растений. Научившись управлять этим процессом, человек стал регулировать рост и развитие растений. С этой целью он использует удобрения.

### **«Безжизненный» элемент — основа жизни**

Азот — существеннейший фактор почвенного плодородия. Он входит в состав жизненно важных соединений — аминокислот, белков, нуклеиновых кислот... Между тем слово «азот» переводится как «безжизненный» (греческое «а» — отрицание, а «зоэ» — жизнь).

Атмосфера Земли содержит колоссальное количество азота — 79,2 процента, однако он недоступен для растений. В этом нетрудно убедиться на

опыте. Если вырастить два растения подсолнечника — одно на полной питательной среде, то есть на растворе солей, содержащем все необходимые растению элементы, а другое на субстрате без азота, то между ними возникает резкая разница. На среде без азота вырастает крошечное карликовое растение. И это несмотря на то, что оно в течение всего эксперимента было буквально окружено азотом воздуха. С помощью химического анализа можно установить, что в «карлике» этого элемента содержится ровно столько, сколько было в семени. Выходит, для растений важен не атмосферный азот, а содержащийся в почве. Между тем запасы доступных для растений форм азота даже в черноземных почвах не так



Подсолнечник, выращенный на полной питательной среде (1) и без азота (2).

велики, чтобы бесперебойно обеспечивать высокие урожаи сельскохозяйственных культур.

В почве азот находится в связанном состоянии в основном в виде солей азотной кислоты (нитратов) и солей аммония. Еще в XVII веке немецкий химик Иоганн Глаубер (1604—1670) обратил внимание на исключительную важность этих соединений для роста растений. В своих сочинениях он назвал селитру солью плодородия. Действи-

тельно, ученые довольно быстро выяснили чрезвычайно ответственную роль азота в повышении продуктивности растений. Началась интенсивная эксплуатация залежей чилийской селитры. Поскольку запасы связанного азота на Земле ограничены, некоторые ученые разделили точку зрения английского священника Томаса Мальтуса, провозгласившего в 1824 году свою доктрину, согласно которой народонаселение Земли растет гораздо быстрее, чем производство продуктов питания. Известный натуралист Томас Гексли в 1887 году предсказал скорый конец цивилизации из-за азотного голода, который должен начаться после выработки месторождений чилийской селитры.

Мрачные прогнозы, однако, не оправдались. Человечество освоило искусственную фиксацию атмосферного азота, создало мощную азотную индустрию. В настоящее время использование природной селитры составляет ничтожно малую величину от количества производимых на заводах азотных удобрений — 1,5 процента.

Однако огромные масштабы промышленного производства связанного азота вселяют в нас не только уверенность в устойчивости высоких урожаев, но и обоснованную тревогу в связи с загрязненностью природной среды азо-

тистыми соединениями. Чрезмерное внесение в почву азотных удобрений нарушает естественный круговорот веществ. К тому же растения усваивают только 40—50 процентов внесенного в почву азота, а остатки попадают в водоемы и, грунтовые воды, вызывая их загрязнение. Нитраты и нитриты чрезвычайно опасны для здоровья людей.

В связи с остротой нитратной проблемы ученые еще настойчивее изучают процессы естественной фиксации атмосферного азота клубеньковыми бактериями, а также некоторыми свободноживущими микроорганизмами, в том числе клостридиями, азотобактерами, цианобактериями. Именно благодаря этим микроорганизмам содержание азота в почвах в случае их рационального использования сохраняется или даже несколько увеличивается. На каждом гектаре почв, занятом бобовыми растениями, имеющими на корнях клубеньки, фиксируется от 100 до 250 килограммов атмосферного азота. Часть его используется самими бобовыми для синтеза азотсодержащих веществ (аминокислот, белков, нуклеиновых кислот...), а около 30 процентов остается с пожнивными остатками в почве, обеспечивая тем самым повышение ее плодородия.

## **Можно ли перевести знаки на самообеспечение азотом!**

Процесс связывания атмосферного азота микроорганизмами контролируется генами. В последние годы в изучении этих материальных носителей наследственности достигнут значительный прогресс. Ученые научились извлекать отдельные гены из одних организмов и вводить в другие, где они нормально функционируют. Это открывает поистине фантастические возможности. Например, удалось выделить ген, ответственный за синтез в человеческом организме гормона роста, и ввести его в клетки бактерий, заставив их тем самым продуцировать этот гормон. Аналогичный ген извлекли из клеток крыс и ввели в организм мышей. В результате выросли мыши, размеры которых были в два раза больше обычных. В последние годы возникла даже особая отрасль знания — генетическая инженерия.

Специалисты в области генетической инженерии поставили перед собой задачу — перенести гены азотфиксации из микроорганизмов в небобовые растения, чтобы они усваивали атмосферный азот подобно клубеньковым бактериям. Успешное решение этой проблемы откроет поистине поразительные возможности: пшеница и хлопчатник, под-

солнечник и сахарная свекла смогут обходиться без азотных удобрений, поскольку сами будут обеспечивать свои потребности в этом элементе. Станут не нужны многочисленные заводы по производству этих удобрений, не потребуются многочисленные составы для транспортировки их к местам использования, не будет загрязняться природная среда, сэкономятся колоссальное количество энергии и т. д.

Работы в этой области стали возможны благодаря достижениям генетической инженерии, созданию банка определенных генов и разработке чувствительного метода определения скорости процесса азотфиксации. Поставленная задача чрезвычайно сложна, но исследования в этом направлении уже начаты.

В 1971 году удалось перенести гены азотфиксации из бактерии клебсиеллы пневмонийной (*Klebsiella pneumoniae*), усваивающей атмосферный азот, в бактерии того же вида, но не обладающие этим свойством. На новом месте перенесенные гены продолжали нормально функционировать и обеспечивали связывание азота бактериями.

Через год удалось перенести гены усвоения атмосферного азота из клебсиеллы в бактерии кишечной палочки, которые вообще не относятся к азотфиксаторам.

Один из путей обогащения высших растений азотом — введение генов азотфиксации в микоризные грибы. Микориза (грибокорень) довольно часто встречается в природе. Симбиоз растений с грибами, поселяющимися на их корнях, позволяет лучше обеспечивать потребности первых в воде и минеральных веществах. В свою очередь, гриб получает от растения органические вещества, образуемые им в ходе фотосинтеза. Если микориза будет обладать способностью фиксировать атмосферный азот, то проблема снабжения растений связанным азотом в значительной степени будет решена. Исследования в этой области проводились в Новой Зеландии. Они свидетельствуют о возможности переноса генов азотфиксации в микоризные грибы. Все эти эксперименты приближают нас к желанной цели — переносу генов азотфиксации в клетки высших растений. Для этого предполагается использовать изолированные протопласты, то есть клетки, лишенные целлюлозной оболочки. Однако трудностей здесь еще очень много. Ведь клетки высшего растения значительно сложнее бактериальных. Так что работы впереди еще немало. Исследователи постепенно выясняют основные направления и способы достижения поставленной цели.

## **Да здравствуют бактериальные удобрения!**

Бактериальные удобрения представляют собой препараты, содержащие естественные почвенные микроорганизмы. Микроорганизмы, используемые для производства бактериальных препаратов, способствуют снабжению растений не только элементами минерального питания, но и физиологическими активными веществами (фитогормонами, витаминами и др.). Частичная замена дорогостоящих минеральных удобрений бактериальными дает возможность получать прирост растениеводческой продукции при значительно меньших затратах и без загрязнения природной среды. Однако, как считают специалисты, переход на использование бактериальных удобрений идет недостаточно быстро.

Первые бактериальный препарат (культура клубеньковых бактерий на почвенном субстрате) под названием нитрагин был приготовлен в 1911 году на бактериально-агрономической станции в Москве, но только в последние годы у нас в стране интерес к практическому использованию таких удобрений усилился. Это обусловлено рядом причин. Во-первых, в разных странах разработаны новые формы бактериальных удобрений, отличающиеся

удобством применения и дающие большой экономический эффект. Во-вторых, созданы формы клубеньковых бактерий с повышенной азотфиксирующей активностью и устойчивостью к неблагоприятным условиям среды, успешно конкурирующие с другими микроорганизмами.

В СССР наиболее перспективной формой препарата клубеньковых бактерий признан ризоторфин. Это простерилизованный гамма-излучением торф, пропитанный клубеньковыми бактериями. Ризоторфин оказался более эффективным, чем нитрагин.

Торфяной препарат клубеньковых бактерий был приготовлен еще в 30-х годах, однако его промышленное производство тогда не было организовано. И лишь в 1973 году вновь начались исследования по разработке этого препарата. В 1973—1977 годах была создана технология производства ризоторфина.

Для приготовления ризоторфина заготовленный торф сушат при температуре не выше 100 °С и размалывают в порошок. В таком виде его хранят в мешках или кучах в неотопляемых помещениях. Наиболее эффективным способом стерилизации торфа оказалось облучение его гамма-лучами. Перед стерилизацией размолотый, нейтрализованный мелом и увлажненный

до 30—40 процентов торф расфасовывают в полиэтиленовые пакеты, которые укладывают в ящики. Затем его облучают и заражают клубеньковыми бактериями. Для этого в полиэтиленовый пакет вводится полая игла от шприца. Через нее в торф впрыскивается питательная среда, содержащая клубеньковые бактерии. Прокол после введения бактерий заклеивают клейкой лентой. Каждый грамм ризоторфина должен содержать не менее 2,5 миллиарда жизнеспособных клеток, обладающих высокой конкурентоспособностью и интенсивной азотфиксацией. Препарат хранят при температуре от 0 до 6 °С и влажности воздуха 40—55 процентов. Срок годности шесть месяцев. В одном пакете может содержаться 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 или даже 1,0 килограмма ризоторфина. Доза препарата независимо от вида бобовой культуры на гектарную норму семян составляет 200 граммов.

Заражение семян бобовых растений клубеньковыми бактериями осуществляется следующим образом. Ризоторфин разбавляют водой и процеживают через двойной слой марли. Полученной суспензией обрабатывают семена. Высев семян целесообразно производить в день обработки или на следующий.

Длительные и всесторонние

испытания ризоторфина показали, что это эффективный препарат. Прибавка урожая зерна зернобобовых культур после обработки семян ризоторфином составила в среднем 1,5—3,5 ц/га, зеленой массы — 18—100 ц/га и сена многолетних бобовых трав — до 7 ц/га.

Особенно важно проводить такую обработку в новых районах возделывания бобовых культур: сои — в Краснодарском и Ставропольском краях, Ростовской области и Поволжье, люцерны — в Северо-Западном районе страны.

Обработка семян бобовых культур клубеньковыми бактериями прочно вошла в мировую сельскохозяйственную практику. США и Австралия — крупнейшие производители этих препаратов. В США ежегодно выпускается 16—20 миллионов гектарных порций. Часть произведенной продукции экспортируется, в пределах страны препараты клубеньковых бактерий используются на 65 процентах всей площади посевов бобовых культур.

Наряду с клубеньковыми бактериями в ряде стран производятся препараты, в основе которых свободноживущий микроорганизм азотобактер. В нашей стране это азотобактерин. Раньше он выпускался в полулитровой таре на плотной агаризованной (то есть содержащей агар — агар —

вещество, добываемое из морских водорослей) питательной среде. На ее поверхности азотобактер, относящийся к аэробным микроорганизмам, образует густую слизь, которая со временем изменяет свой первоначальный белый цвет и становится коричневой.

Развитие биотехнологии положительно сказалось на производстве азотобактерина. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте бактериальных препаратов в течение ряда лет ведутся исследования по разработке сухого азотобактерина с целью повышения его эффективности.

Активное изучение воздействия азотобактерина на ряд зерновых культур проводится в Индийском сельскохозяйственном институте в Нью-Дели. В опытах с кукурузой (1978—1989 гг.) было установлено, что заражение семян увеличивает урожай с 14,3 ц/га (контроль) до 18,0 ц/га. При этом прибавка урожая зерна кукурузы составила 26,4 процента, а сбор белка с 1 гектара (в пересчете на азот) возрос соответственно с 39,3 до 53,3 килограмма.

### **Цианобактерии повышают урожай**

В Индии придается большое значение исследованию и практическому использованию

в рисоводстве азотфиксирующих цианобактерий (сине-зеленых водорослей). Эти микроорганизмы очень широко распространены по всему земному шару. Их можно встретить в водоемах и на влажных почвах, особенно в тропиках. Наиболее благоприятные условия для роста и азотфиксации цианобактерий создаются в нейтральных и слабощелочных средах. Независимо от вносимого в почву минерального азота они стимулируют рост растений, увеличивают урожай зерна.

Обследование рисовых полей Индии показало, что только 30 процентов посевных площадей имеют активные в отношении азотфиксации формы синезеленых водорослей. После же внесения в почву высокоактивных форм цианобактерий урожай риса увеличивается на 10—15 процентов. В настоящее время синезеленые водоросли применяются на двух миллионах гектаров.

Многочисленные исследования, проведенные в различных районах Индии, показали, что применение цианобактерий соответствует внесению в почву приблизительно 25, а в отдельных случаях 50 килограммов азота на гектар. При этом получают выгоду не только за счет некоторого повышения урожая рисовых полей, но и от частичного сокращения применения азот-

ных удобрений, поскольку синезеленые водоросли усваивают атмосферный азот и снабжают им высшие растения.

Цианобактерии оказывают положительное влияние не только на рис, но и на другие культуры (сахарный тростник, кукурузу, томаты). Так, например, внесение их под томаты повысило урожай на 40—50 процентов. Эффективность препаратов цианобактерий в значительной степени зависит от содержания в почве фосфора. И это не случайно. Ведь в процессе фиксации атмосферного азота потребляется энергия, а для образования АТФ необходим фосфор. Поэтому одновременно с синезелеными водорослями рекомендуется вносить повышенные дозы фосфорных удобрений.

В настоящее время цианобактерии широко применяются не только в Индии, но и в Японии, Китае, Египте. В странах тропического и субтропического климата, особенно в районах рисосеяния, обогащение полей культурами синезеленых водорослей позволяет уменьшить дозы минеральных удобрений и повысить урожай возделываемых культур.

В почвах нашей страны преобладают следующие цианобактерии: анабена, носток, цилиндроспермум, калотрикс; реже встречаются толипот-

рикс, стигонема, нодулярия. Основная их масса сосредоточена в почвенном слое, равном 0—0,5 сантиметра, — ведь им для фотосинтеза необходим свет. Они встречаются во всех почвах, но в умеренной зоне наибольшее накопление азота в результате их жизнедеятельности отмечено только в пойменных. В них цианобактерии накапливают 10—20 кг/га азота в год. В отдельные годы эта цифра может возрасти до 30 кг/га.

Опыты, проведенные в нашей стране, показали, что общий объем азотфиксации в почвах рисовых полей за счет цианобактерий может достигать 50—60 кг/га азота в год. Однако зачастую накопление азота бывает меньше. Причина низкой эффективности цианобактерий в перенасыщенности почвы минеральными удобрениями и гербицидами. К сожалению, эти вещества отравляют не только сорняки, но и синезеленые водоросли.

### **Священный папоротник**

В провинции Тхай-Бинь, расположенной на севере Вьетнама, в деревне Ля-Ван некогда жила бедная крестьянка Ба-Хян. Эта наблюдательная женщина первой заметила, что широко распространенный во Вьетнаме папоротник азолла повышает плодородие почвы. Ба-Хян научилась разводить это растение, чтобы

использовать его в качестве удобрения. Результаты применения папоротника азоллы были замечательные. Когда Ба-Хян умерла, ее стали почитать наравне со святым. В деревне, где она жила, соорудили пагоду, посвященную богине со странным вьетнамским именем Азолл. Имя этой богини образовано от латинского названия водного папоротника, использованного Ба-Хян. Осенью в пагоде устраиваются молебны с жертвоприношениями.

Длительное время вьетнамские крестьяне скрывали от иностранцев секрет повышения плодородия почв.

Азолла — небольшой папоротник, плавающий на поверхности воды, широко встречается на рисовых полях Вьетнама и других рисосеющих стран тропического и субтропического пояса. Тонкие ветвистые стебли несут парные, подобно черепице или рыбьей чешуе, мелкие листочки. Длина стеблей 8—10 (иногда до 25) сантиметров. От некоторых узлов стебля в воду свисают длинные придаточные корни. Растение обладает высокой жизнестойкостью и способностью к быстрому размножению. Водный образ жизни существенно сказался на внешнем облике растения, которое в значительной степени отличается от других папоротников.

Интересно строение листьев



Азолла мелколистная:

1 — общий вид растения; 2 — лист.

азоллы. Каждый состоит из двух лопастей или сегментов. Верхний сегмент, выступающий из воды, имеет зеленую окраску. Устьица располагаются на обеих сторонах листа. Нижняя лопасть погружена в воду. Ученые предполагают, что она служит для всасывания воды. На некоторых нижних сегментах развиваются сорусы (от греческого слова «сорос» — куча, множество), представляющие собой скопление спорангиев — образований, в которых происходит формирование спор.

Представители рода азолла появились на Земле давно, еще в меловом периоде. Некогда они были широко распространены. Ископаемые остатки этих растений найдены в третичных и четвертичных отложениях в Евразии и Северной Америке. В настоящее время семейство азолловых представлено только одним родом, насчитывающим всего шесть видов. В реке Нил обитает азолла нильская. Остальные виды встречаются на земном шаре более широко. Иногда их можно увидеть в зоне умеренного климата. Так, например, в СССР представителей рода азолла можно встретить на поверхности водоемов Килийского гирла Дуная на территории Украины. Здесь специалистами Института ботаники АН СССР им. Н. Г. Холодного обнаружены два вида — азолла каролинская и азолла папоротниковидная с общим запасом биомассы 12,5 тысячи тонн. В Одесской области азолла занимает площадь 3,5 тысячи гектаров, однако, как считают ученые, ее можно увеличить в три раза.

Азолла размножается вегетативно. Главный стебель обламывается, и его части течение переносит на новое место, где они и укореняются. Иногда отрезки стеблей азоллы разносят водоплавающие птицы, животные или человек.

Важнейшая особенность

растения — способность усваивать атмосферный азот в симбиозе с синезеленой водорослью анабеной. Эта растительная система фиксирует азот так же эффективно, как и клубеньковые бактерии в симбиозе с бобовыми. К сожалению, специфика выращивания риса (на затопляемых водой полях) не позволяет использовать бобовые растения в качестве дополнительного источника азота. Это еще более повышает ценность азоллы.

Симбиоз папоротника с цианобактериями имеет некоторые особенности — не происходит формирования клубеньков. Микроорганизмы развиваются в полости, расположенной в основании верхней лопасти (сегмента) листа. Размеры этих образований невелики — 500—1000 микрометров, внутри равномерно распределены нити цианобактерий и похожие на них волоски, представляющие специализированные структуры — выросты клеток, выстилающих стенки полости. Здесь также находится слизь, выделяемая, по-видимому, волосками папоротника.

Первоначально полость листа бывает открытой, и цианобактерии, свободно проникая в нее, располагаются вдоль стенок. По мере роста листа происходит увеличение их численности, отверстие, ведущее в полость, посте-

пенно уменьшается, а затем и совсем исчезает. Таким образом, симбионты папоротника оказываются в замкнутом пространстве. Но это не отражается на цианобактериях: внешне они не отличаются от своих собратьев, находящихся на свободе. Обитатели закупоренной полости также интенсивно делятся, постепенно заполняя все свободное пространство. В отличие от клубеньковых бактерий цианобактерии в ходе симбиоза не проникают в клетки растения-хозяина, не инфицируют его. В симбиотических взаимоотношениях важное значение имеют волоски, возникающие в полости листа азоллы. Под микроскопом они выглядят длиннее и толще цианобактерий. Ученые предполагают, что с их помощью растения поглощают азот, усвоенный и связанный цианобактериями. Транспорту веществ из листа в цианобактерии и из бактерий в лист способствует то, что волоски и микроорганизмы тесно контактируют друг с другом.

Папоротник снабжает микроорганизмы минеральными и энергетическими ресурсами, необходимыми для азотфиксации. Запасы энергии создаются в ходе процессов фотосинтеза и дыхания. Как известно, цианобактерии способны самостоятельно фотосинтезировать, однако их энергетический потенциал, по-види-

мому, недостаточен для эффективного осуществления азотфиксаций, поэтому они заимствуют недостающую энергию и минеральные вещества у папоротника.

Вещества, вырабатываемые азоллой, имеют важное значение для цианобактерий. Так, если в субстрат, на котором выращиваются эти микроорганизмы, добавить экстракт азоллы, то их жизнеспособность сразу же возрастает: они начинают интенсивно делиться. Следовательно, вне связи с азоллой цианобактерии лишаются каких-то биологически активных веществ, необходимых для нормального протекания жизненно важных процессов, в том числе и для поддержания высокого уровня активности азотфиксации.

Но микроорганизмы — не только потребители. Они, оказывается, необходимы для нормального развития папоротника. Без них растение хуже растет, медленно развивается, имеет бледно-зеленую окраску, содержит значительно меньше общего азота и белка, и этого не удается избежать даже при условии полного обеспечения его элементами минерального питания. Таким образом, наличие цианобактерий — залог успешного существования азоллы.

Между папоротником и его «квартирантами» создаются

чрезвычайно выгодные симбиотические взаимоотношения, благодаря чему система азолла — цианобактерин представляет собой уникальное природное явление. По мнению специалистов, в благоприятных условиях культивирования производительность азоллы достигает от 100 — 1000 килограммов азота на 1 гектар. Понистине фантастические цифры. Неудивительно, что применение этого растения на полях в качестве удобрения оказалось весьма эффективным: урожай риса возрос на 10—20 процентов. Кроме того, папоротник подавляет рост сорных растений на рисовых плантациях. Азолла стала в последние годы объектом самого пристального внимания ученых разных стран мира.

Существуют два способа выращивания азоллы: вместе с растениями риса и отдельно. При выращивании методом двойной культуры папоротник вносят в дозе 100—200 кг/га обычно через неделю после высадки риса. Довольно быстро происходит значительное увеличение его биомассы. В Индии азоллу вначале выращивают в небольших бассейнах, куда вносят суперфосфат, коровий навоз и пестициды. С бассейна площадью 10 м<sup>2</sup> собирают около 10 килограммов биомассы, что достаточно для заселения 0,1 гектара площади,

предназначенной под рис. Папоротник раскладывают по чекам, залитым водой, и выращивают в течение 20 дней. За это время его биомасса достигает 10 т/га и в ней содержится 20—25 килограммов азота. На этой стадии папоротник запахивают, и через неделю высаживают рис.

Используют азоллу в качестве удобрения и в других рисосеющих странах. Вьетнамские специалисты установили, что использование 20 т/га азоллы равноценно внесению 20—40 кг/га минерального азота. При такой агротехнике прибавка урожая составляла 5 ц/га, или 30 процентов по отношению к контролю. Положительные результаты получены в Китае, Бразилии, США. Расчеты специалистов ФАО показывают, что разведение азоллы только на 10 процентах всей площади планеты, занятой под посевы риса, сэкономит 208 тысяч тонн азота и даст прибавку урожая зерна в 5 миллионов тонн, что достаточно для пропитания в течение года 15 миллионов человек.

Следует иметь в виду, что азолла используется не только как удобрение, но и как кормовая культура, содержащая значительное количество белка. В некоторых местах это растение рассматривается как сорняк: благодаря интенсивному вегетативному раз-

множению она очень быстро покрывает плотным ковром поверхность воды, затрудняя движение лодок. Иногда азоллу каролинскую выращивают в аквариумах.

В настоящее время ученые активно работают над совершенствованием технологии использования уникального папоротника, широко применяя методы селекции, моделирования, математического анализа. Благодаря этому удалось получить невиданный урожай сухой растительной массы — 28 т/га в год. Исследования азоллы ведутся даже из космоса. Во время совместного полета советско-вьетнамского экипажа были проведены эксперименты по наблюдению за азоллой.

### **Растения без почвы**

Еще К. А. Тимирязев выращивал растения не в почве, а на водном питательном растворе. Это было настолько необычно, что растения, выращенные таким способом, демонстрировались в 1896 году на Всероссийской промышленной и художественной выставке в Нижнем Новгороде. Их поместили в особый красновыпуклый стеклянный вегетационный домик. В те времена кое-кто посчитал такой метод выращивания растений кощунственным, поэтому практического значения он не имел.

Сегодня выращивание рас-

тений в водных культурах никого не удивляет и доступно каждому. Давайте и мы попробуем вырастить растения без почвы. Для этого возьмите банку емкостью от одного до трех литров. Оберните ее слоем светонепроницаемой бумаги. Это делается для того, чтобы световые лучи не проникли внутрь и не угнетали рост корней. Кроме того, на свету в банке легко могут развиваться водоросли, которые станут потреблять питательные вещества, предназначенные для высших растений, подавлять их рост и развитие. Если мы будем выращивать растения в сосуде, накрытом черным чехлом, это отрицательно скажется на растениях. Почему? Дело в том, что темная поверхность усиленно поглощает тепловые лучи, поэтому питательный раствор может перегреться и корни начнут отмирать. Это происходит по двум причинам. Во-первых, высокая температура вызывает свертывание (коагуляцию) белков цитоплазмы клеток корневых волосков. Во-вторых, при нагревании из питательного раствора улетучиваются газы, в том числе кислород, необходимый для дыхания. А без дыхания не могут обходиться ни клетки животных, ни клетки растений. При его ослаблении клетки корневой системы растения не поглощают элементы минерального пита-

ния. Вот почему темную поверхность сосуда нужно покрыть белой бумагой, которая будет отражать тепловые лучи, и питательный раствор в сосуде не перегреется.

Сверху банку нужно закрыть пробкой. Лучше всего для этой цели подходят большие корковые, но за неимением таковых можно использовать выточенные по размерам деревянные или даже полиэтиленовые крышки. Последние с внутренней стороны покрывают черным лаком для задержки световых лучей.

В пробке должно быть три отверстия. Центральное — самое большое — предназначено для растения.

Сначала проросток закрепляют в дырке при помощи ваты. В другое вставляется стеклянная или деревянная палочка, к которой впоследствии подвязывается разросшееся растение. Третье отверстие служит для продувания водной культуры. В него вставляется стеклянная трубка с присоединенной к ней резиновой грушей от пульверизатора, с помощью которой ежедневно в течение пяти—десяти минут нагнетают воз-

духа. Кроме того, струи воздуха способствуют перемешиванию раствора и тем самым улучшению снабжения их минеральными солями.

После того как сосуд для водной культуры смонтирован, можно приступить к его наполнению. Существуют разные типы питательных смесей, несколько отличающиеся по своему составу. Общим для них служит обязательное присутствие семи основных макроэлементов — азота, фосфора, калия, кальция, магния, серы, железа. Читателям, безусловно, знакомы микроэлементы. В некоторые питательные среды они входят в качестве составной части. В другие же их специально не вносят. Это связано с тем, что соли, применяемые обычно для приготовления питательных смесей наряду с макроэлементами содержат в качестве примесей такое количество микроэлементов, которого бывает достаточно для нормального роста растений. В практике работ с водными культурами широко используют питательную смесь, составленную немецким физиологом растений Кнопом.

Нитрат кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	— 1,00
Фосфат калия однозамещенный $\text{K}_2\text{HPO}_4$	— 0,25
Сульфат магния $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	— 0,25
Хлорид калия $\text{KCl}$	— 0,125
Хлорид железа $\text{FeCl}_3$	— 0,0125

дух для насыщения питательного раствора кислородом необходимым для дыхания

Состав (в граммах) рассчитан на один литр дистиллированной воды (можно взять

кипяченую, дождевую или снеговую). Если объем сосуда равен двум или трем литрам, указанное количество солей увеличивается в два или три раза. Соли тщательно растворяют путем перемешивания.

Различные растения неодинаково относятся к кислотности почвенного раствора. Одни лучше растут на кислой почве, другие — на слабощелочной. Например, комнатное растение азалия требует обязательного присутствия кислоты. Вот почему ее выращивают на почве, смешанной с еловой хвоей. Хвоя способствует подкислению почвенного субстрата. Кроме того, азалию поливают слабым раствором серной кислоты (на литр поливочной воды берут одну каплю концентрированной серной кислоты). В этом случае она успешно растет. Наоборот, мать-и-мачеха требует для нормального роста слабощелочной реакции почвенного раствора. Большинство же культурных и дикорастущих растений нуждается в нейтральной питательной смеси. К сожалению, приготовленный для водных культур раствор обычно не бывает таким. Кроме того, по мере роста растений разные компоненты солей поглощаются с неодинаковой скоростью, в результате чего питательный раствор становится либо кислым, либо щелочным. Между тем изменение показателя

кислотности (рН) резко скачивается на темпах роста, а иногда приводит даже к гибели растений. Поэтому необходимо с самого начала опыта следить за тем, чтобы кислотность питательного раствора была более или менее постоянной. Для ее определения используют различного рода индикаторы, в частности универсальный, снабженный цветными пластинками. Если вы хотите определить кислотность вашего раствора, отлейте несколько капель в фарфоровую чашечку и добавьте одну-две капли универсального индикатора. После перемешивания сравните цвет раствора с окраской цветовой шкалы и найдите соответствующий по тону квадрат. Цифра, стоящая около него, укажет кислотность раствора.

Поскольку наилучший рост большинства растений происходит при кислотности, равной шести-семи, добивайтесь сдвига показателя в нужную сторону. Если рН вашего раствора больше семи, добавьте кислоту, если меньше шести — щелочь.

После достижения желаемой величины рН растение закрепляется в пробке, а корневая система погружается в банку. Крышка плотно закрепляется на горле банки, и сосуд с растением выставляется на свет.

Как уже отмечалось, питательную смесь для водных

культур необходимо ежедневно продувать воздухом. При уменьшении объема питательного раствора вследствие поглощения его корневой системой следует подливать воду до исходного уровня. Через пять—семь дней раствор заменяется новым, так как растение поглотило из него часть солей. Кроме того, при длительном использовании водной культуры в ней накапливаются вещества — продукты жизнедеятельности растения, которые угнетают его рост.

В 1929 году в Калифорнийском университете У. Ф. Герикке применил воздушный метод водных культур для промышленного выращивания овощей. Свой метод он назвал гидропоникой. В настоящее время такой способ их культивирования получил широкое распространение. При этом почва заменяется инертным субстратом, который служит только для закрепления растений. Питательные же вещества корням получают из водного раствора солей, который подается по асбестоцементным трубам, имеющим отверстия для растений. Питательный раствор в отличие от баночной водной культуры перемещается по трубам, орошая корни, и все время обновляется.

Гидропоника применяется не только для выращивания овощей, но и для производства витаминной подкормки для животных в зимнее вре-

мя, а также декоративных культур. Этот метод имеет ряд преимуществ перед традиционным выращиванием растений в почве, поскольку устраняется целый ряд операций, связанных с обработкой почвы (рыхление, полив, борьба с сорняками и возбудителями болезней растений).

### **Огурцы на окне**

Многие горожане не прочь выращивать на окнах, балконах и в лоджиях своих квартир овощные и декоративные растения. Смущают, однако, два обстоятельства: отсутствие достаточного количества почвы и связанное с ее использованием загрязнение. И дело не только в пыли и грязи, но и в выделении почвенными микроорганизмами углекислого газа — нежелательного компонента воздуха в условиях квартиры. Всех этих недостатков лишен гидропонный способ. Познакомлю читателей с апробированным способом выращивания огурцов на окнах.

Для этого нужно взять стеклянный или пластмассовый сосуд емкостью не менее десяти литров. Если сосуд стеклянный, необходимо покрыть его бумагой или тканью так, как это было описано в предыдущем разделе. В пластмассовый — во избежание взаимодействия его стенок с солями и выделения ими в пи-

тательный раствор вредных веществ — можно поместить герметичный полиэтиленовый мешок соответствующего размера. Сверху сосуд закрывается деревянной крышкой с двумя отверстиями, в котором закрепляется достаточно объемистые керамические горшки. В днище каждого горшка следует вырезать широкое отверстие, в которое вставляется полиэтиленовая сетка, подобная тем, которые хозяйки нередко вставляют в отверстия раковин для задержки разного мусора. В горшки насыпается субстрат для закрепления растений. Это может быть щебень, гравий, керамзит, вермикулит, дробанка из битых горшков.

Питательный раствор готовится из комплексного удобрения для подкормки цветов,

которое продается в магазинах «Природа». Оно содержит необходимые растению макро- и микроэлементы. На десять литров раствора следует брать 16 граммов удобрения. Раствор можно готовить на обыкновенной воде из-под крана. Сначала уровень питательного раствора должен доходить до середины горшка. Наклюнувшиеся семена огурцов высаживаются в субстрат на глубину, соответствующую этому уровню. Когда же корни достигнут сетки, следует понизить уровень питательного раствора в сосуде таким образом, чтобы жидкость была несколько ниже дна горшка. Эта операция, а также слив в случае замены раствора производится через сифон — стеклянную или резиновую трубку, один конец ко-



торой опускается до дна, а другой выводится наружу, причем ниже уровня дна сосуда.

Для того чтобы огурцы могли подниматься вверх, от крышки, в отверстия которой вставлены горшки с растениями, до верхней планки оконной рамы следует натянуть несколько рядов веревки или толстой капроновой лески. Таким способом автору удавалось успешно культивировать огурцы сорта Гибрид майский. Если их посадить в марте, то в мае уже созревают первые огурцы. Можно использовать и другие сорта, предназначенные для выращивания в закрытом грунте, например ТСХА-77 («Зозуля»).

Культивирование растений в домашних условиях всегда доставляет радость от общения с природой. На подоконниках, балконах и лоджиях можно выращивать не только огурцы, но и томаты, лук, перец, ремонтантную землянику, а также различные декоративные растения<sup>1</sup>.

### **Золото — из пылини, алюминий — из плауна**

Растения обладают неодинаковой способностью поглощать и накапливать в своих тканях различные химические

элементы. Несмотря на то что ионы калия и натрия имеют одинаковый заряд и незначительно отличаются по массе, растительные клетки охотно поглощают из раствора ионы калия и «равнодушные» к ионам натрия. Неудивительно, что в водоросли валонии натрия содержится в пять-шесть раз меньше, а калия в 44 раза больше, чем в морской воде.

Избирательное поглощение веществ приводит к тому, что некоторые растения становятся вместилищами ценных химических элементов. О присутствии металлов в растениях было известно с XVI века. На это указывает тот факт, что в начале XVIII века шведский химик У. Иерне, ссылаясь на труды своих предшественников, писал о наличии в растениях золота, свинца, меди, ртути и железа. Современные исследователи подтверждают это. Так, например, зола плауна булавовидного содержит 52 процента оксида алюминия, поэтому она употребляется в качестве протравы при крашении. Показательно высокое содержание глинозема (до 79,6 процента) было обнаружено в золе древесины шелковистого дуба, произрастающего в Австралии.

В Западной и Южной Австралии обитает хибантус флорибундус, который, как выяснилось, поглощает в огромных

<sup>1</sup> О выращивании декоративных растений методом гидропоники можно прочитать в книге Н. П. Бедриковской «Гидропоника комнатных цветов».



количествах никель. В золе из листьев этого растения его содержится 23 процента, в то время как почвы, на которых оно растет, как правило, небогаты этим металлом.

Селен относится к числу редких, дефицитных элементов. Он используется в производстве нержавеющей стали, для вулканизации резины и т. д. В США, в местности, называемой Долиной Духов, его получают из растений. С этой целью там выращиваются травы, которые на почве, богатой селеном, накапливают его в своих тканях. Затем траву скашивают, высушивают и сжигают, а из золы извлекают ценный элемент. Этот металл накапливают в больших количествах некоторые астрагалы — растения из семейства бобовых.

Германий — один из наибо-

лее ценных материалов, используемых в современной электронной промышленности. Он идет на изготовление диодов, триодов, кристаллических детекторов и силовых выпрямителей. Его применяют в дозиметрических приборах и в аппаратах, измеряющих напряженность магнитного поля. Минералы этого элемента встречаются очень редко. По этой причине его получают преимущественно из побочных продуктов переработки металлов. Существуют, однако, растения, которые при сжигании дают золу, богатую этим элементом.

Установлено, что в золе некоторых растений засушливых местностей содержится в 40—150 раз больше золота, чем в почве. Причем количество золота в полыни, произрастающей на месторождении,

колеблется от 4,7 до 85 г/т золы, тогда как в полыни, собранной за его пределами, оно не превышает 4,0—5,0 г/т. В Малой Азии золото накапливают хвощ, зайцегуб, а в Австралии — жимолость.

Издавна известна способность некоторых морских водорослей концентрировать йод. В тонне водорослей содержится несколько килограммов чистого йода. В 20-е годы в Японии добывали из них ежегодно около 100 тонн йода, а иногда — даже 250. В последующем этот промысел резко сократился из-за использования других способов его получения. Имеющиеся минеральные ресурсы йода могут истощиться. Если не будут найдены новые методы добычи йода, то, вероятно, придется восстановить «старый» промысел — из водорослей.

Концентрация в фукусе (морская водоросль) титана в 10 000 раз превышает количество его в морской воде. Ученые считают, что бактерии и микроскопические зеленые водоросли, населяющие моря и океаны, могут быть использованы для извлечения из морской воды золота, платины и других ценных металлов. Так, например, установлено, что по истечении некоторого времени водоросли могут превращать растворимое золото в металлическую форму. С помощью электронного мик-

роскопа видно, что они как бы покрываются золотым панцирем. А ведь в морской воде миллионы тонн самых различных металлов.

### **Не бойтесь: деревьев-людоедов не существует!**

У Герберта Уэллса есть фантастический рассказ «Странная орхидея», герой которого мистер Уэдерберн попал в объятия дерева-людоеда. Поводом для написания этого рассказа послужили газетные публикации, сообщавшие о подобных случаях, якобы имевших место в ряде стран, например в Бразилии, Никарагуа.

Основоположник отечественной физиологии растений К. А. Тимирязев еще в 1876 году недвусмысленно высказался по этому поводу: «Общее внимание может обратить на себя разве какая-нибудь диковинка вроде той газетной утки о плотоядном растении, пожирающем живых людей, которая недавно появилась на страницах многих иностранных и наших газет и даже попала в специальные издания».

В примечании ко второму изданию книги «Жизнь растений» Климент Аркадьевич добавил по этому поводу: «Замечание это относится к 1876 году, но любопытно, что на днях та же старая утка вынырнула в некоторых иностр-

ранных и наших газетах».

«Утка», о которой говорил наш великий соотечественник, оказалась удивительно живучей. Спустя сто лет после критического высказывания К. А. Тимирязева в смоленской областной газете «Рабочий путь» вновь можно было прочитать о дереве-людоеде из Конго: «Ствол его имеет четыре-пять огромных листьев длиной около четырех метров, твердых, шероховатых и покрытых колючками. Под ними висят белые цветы. Они испускают вокруг густой аромат. Если дотрогнуться до цветов, листья изгибаются и охватывают смертельными объятиями жертву. Это дерево опасно и для человека». Сообщая о другом дереве-хищнике родом из Индии, та же газета писала: «В дневное время оно абсолютно безвредно. Однако с наступлением ночи превращается в кровожадное».

Прочитает подобное наивный человек, и волосы у него встанут на голове дыбом, когда он представит себе, как вооруженные когтеобразными колючками огромные листья тянутся в темноте к его горлу. Приведенный пример показателен, он подтверждает мысль, высказанную во введении, о нашем вопиющем ботаническом невежестве.

Вездесущие репортеры поведали миру о том, что во время войны между Парагваем и Боливией под неким

деревом часто находили останки раиеных, завернутые в огромные листья этого растения. Цветки дерева-людоеда обладают сильным ароматом, который подобно наркотику усыпляет людей. Крупные листья обвивают со всех сторон потерявшего сознание человека и высасывают его кровь.

Исследователи решили выявить, действительно ли существует дерево-людоед. Оказалось, что речь идет о вполне реальном растении, хорошо известном ботаникам и совершенно безобидном для человека, — филодендроне дваждыперистонадрезанием (*Philodendron bipinnatifidum*) из семейства аронниковых, представителей которого мы упоминали в связи с повышением температуры соцветий початков. Еще в 1883 году датский ботаник И. Э. Варминг отметил, что, когда раскрывается покрывало соцветия у филодендрона дваждыперистоадрезанного, температура пыльников повышается на 12,5 °C по сравнению с температурой окружающей среды. При этом действительно распространяется очень сильный одурманивающий запах, привлекающий, однако, множество насекомых-опылителей, которые проникают в соцветие и остаются там некоторое время. После опыления формируются кисло-сладкие плоды, охотно поедаемые животными.

У филодендрона дважды-перистонадрезанного — оригинального древовидного растения — на верхушке прямо стоячего невысокого узорчатого ствола имеются крупные листья с длинными черешками. Растение очень декоративно, поэтому часто разводится в оранжереях ботанических садов. Оно широко распространено в лесах Южной Бразилии на высоте 200—300 метров над уровнем моря. Местные жители вовсе не боятся его и используют для разных надобностей: жгучий млечный сок употребляется в качестве лекарственного средства, из воздушных корней делают грубые веревки, а ягоды — признанное лакомство.

Почему же раненые умирали под этим деревом, в цветах и плодах которого нет ядовитых или наркотических веществ? Причина весьма прозаична — раненные во время военных действий стремились укрыться от зноя в тени этого дерева, где нередко умирали естественной смертью от потери крови.

С уверенностью можно утверждать: деревьев-людоедов на нашей планете нет.

### **Растения, поедающие насекомых**

Почему же так устойчивы слухи о деревьях-людоедах? Питательной почвой для них служит существование насе-

комоядных растений: уж коли есть виды, поедающие насекомых, почему бы не быть где-то в тропических дебрях дереву, пожирающему поросенка? Вот поэтому нам следует разобраться, что же это за насекомоядные растения, почему они возникли в ходе эволюции?

Наш рассказ начнем с растения, которое наиболее знакомо и доступно читателям. Поэт Вс. Рождественский в стихотворении «Росянка» писал о нем:

*Во мху рыжеватом, у кочки,  
Раскрылась росянка-краса.  
На крохотном красном листочке  
Прозрачная блещет роса...*

Присмотримся к этому удивительному растению. При помощи лупы можно увидеть, что округлые листья росянки покрыты множеством красноватых волосков, отчего они похожи на крошечные щеточки для расчесывания волос. На одном листе их может быть до 200, причем по краям они длиннее, а в середине — короче. Кончики волосков выделяют капельки липкой вязкой, прозрачной жидкости. Насекомое, привлеченное большими, как роса, капельками, садится на лист и прилипает к нему, да так сильно, что не может уже оторваться. Дело, по-видимому, не только в клейкости жидкости. Не так давно из росянки удалось выделить два вещества, кото-

рые обладают паралитическим действием. Одно из них — конииин — хорошо знакомо токсикологам — это ядовитый алкалоид болиголова, растения из семейства зонтичных.

Как только насекомое прилипает к листу, боковые волоски наклоняются к нему. Капельки на их концах начинают быстро увеличиваться. Охваченное волосками насекомое оказывается погруженным в жидкость, сходящую с пищеварительным соком желудка. Под ее воздействием мягкие части насекомого перевариваются, при этом белки распадаются до аминокислот, которые легко впитываются растением. Через два-три дня волоски снова разгибаются. Первое время они остаются сухими, на них нет липкой жидкости. Временное прекращение ее секреции необходимо, так как иначе непереваренные остатки прилипли бы к растению и мешали бы росянке захватывать новые жертвы. С сухих же листьев они легко сдуваются ветром.

В жидкости, выделяемой волосками, содержится муравьиная кислота, которая способствует как активации ферментов, участвующих в расщеплении белков, так и уничтожению гнилостных микроорганизмов, развивающихся обычно при наличии органического вещества. Если бы ее не было, то интенсивное размножение микробов, участ-

вующих в процессах гниения, отрицательно сказалось бы и на самом растении.

Чувствительность волосков росянки к прикосновению очень велика, она превосходит реакцию нервных клеток, расположенных на кончике языка человека. Так, отрезок человеческого волоса в 0,2 миллиметра длиной и массой в 0,000 822 миллиграмма, положенный на железку, вызвал движение волосков росянки — они изогнулись в сторону. Если такой же волос поместить на кончик языка — самое чувствительное место человеческого тела, то никакого ощущения мы не испытаем. Говоря о чувствительности росянки, следует отметить, что это растение по-разному реагирует на раздражители. Если на его лист положить «несъедобный» предмет (кусочек стеклышка, песчинку), то волоски сначала несколько изогнутся к нему, но очень быстро возвратятся в исходное положение.

Листья росянки содержат хлорофилл и способны осуществлять фотосинтез. Однако если ее полностью лишить животной пищи, то она хотя и не погибает, но хиреет и слабо развивается. С этим растением можно проделать много интересных опытов. Так, растущую на болоте росянку аккуратно вместе со мхом выкопайте и поместите в глубокую тарелку. Время от вре-

мени поливайте ее водой, чтобы мох был все время сырым. С помощью лупы наблюдайте за тем, как растение поедает мелких комаров, тлей, а также кусочки мяса, крутого яичного белка, капельки молока. Поместив одновременно на разные листочки по кусочку той или иной пищи, выясните, какие органические вещества оно усваивает быстрее. Установите, как реагирует росянка на несъедобные предметы: мелкие камешки, кусочки бумаги, стекло, дерево. Интересен вопрос о «прожорливости» росянки. Сколько насекомых может поймать одно растение за определенный промежуток времени? Не так давно во Франции были проведены соревнования насекомыхоядных растений. Победу в них одержала росянка, принадлежащая коллекционеру Эмилю Марсье. Она обогнала всех — за три часа поймала 51 комара. Это 17 комаров в час!

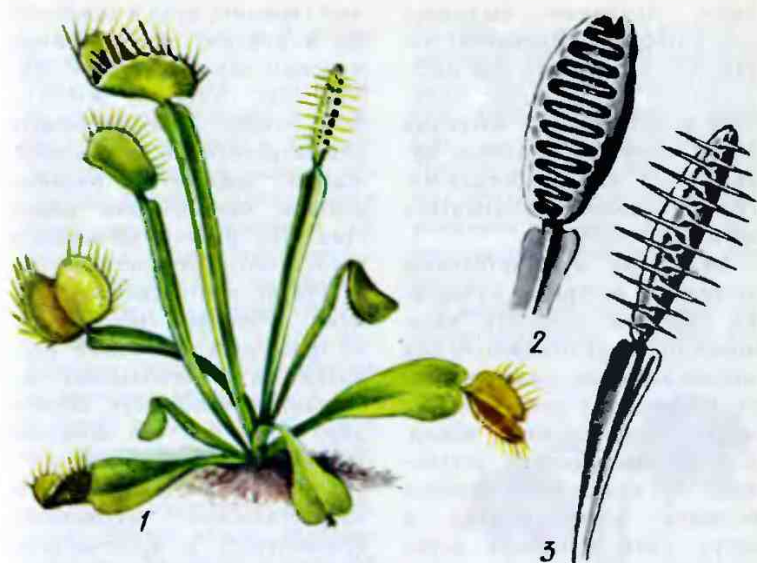
В Вологодской области листьями росянки моют горшки из-под молока. Дело в том, что они содержат вещество, которое растворяет мельчайшие остатки этого продукта, скопившегося в порах и трещинах сосуда. Народная медицина использует это растение для выведения бородавок. Сушеную росянку заваривают и пьют как лекарство от простуды. Учитывая тот факт, что в листьях расте-

ния обнаружены ядовитые вещества, заниматься самолечением не следует.

Тот вид, о котором мы рассказали, называется росянка круглолистная (*Drosera rotundifolia*). Это самый распространенный представитель рода росянка. Однако известны и другие виды, в частности с продолговатыми листьями. Всего в разных местах земного шара (в Европе, Азии, Африке, Америке, Австралии) их насчитывается около сотни, причем только в Австралии произрастает больше половины представителей этого рода. У обитающей там росянки гигантской (*Drosera gigantea*) стебель достигает высоты 60—100 сантиметров. Он до самой верхушки покрыт узкими листьями, причем самые нижние приобрели шиловидную форму. Несколько меньших размеров достигает росянка королевская из Южной Африки. Она способна переварить даже улиток и мелких лягушек.

Помимо рода росянка семейство росянковых включает еще три: венерина мухоловка, росолист и альдрованда. Каждый из них представлен всего одним видом.

Венерина мухоловка (*Dionaea muscipula*) хорошо известна биологам. Она обитает на болотах или открытых торфяниках Северной и Южной Каролины в США. Листья этого редкого растения, обра-



**Венерина мухоловка:**

1 — общий вид растения; 2 — полузакрытый лист; 3 — закрытый лист.

зующие розетку, состоят из двух частей: нижняя предназначена, как и у других зеленых растений, для усвоения углекислого газа при фотосинтезе, а верхняя — для ловли насекомых. В отличие от росянки у венериной мухоловки нет липкой жидкости. Ее ловчие аппараты устроены по типу капкана.

Верхняя часть листа расчленена центральной жилкой на две половинки, обладающие способностью складываться. Каждая из них снабжена по краям 16—20 тонкими, слегка загнутыми зубцами. В центре обеих половинок торчат три заостренных

щетинки, которые выполняют функцию чувствительного механизма капкана. Насекомое, благополучно миновав нижнюю безопасную долю листа, смело вступает на одну из половинок верхней части и касается заостренных шипиков. Лист мгновенно захлопывается, подобно тому, как закрывается раскрытая книга. При этом зубцы, расположенные по его краям, не позволяют упустить добычу. Складывание долей происходит очень быстро, всего за 0,02—0,05 секунды, и так надежно, что «капкан» нельзя открыть, не повредив сам лист. Красноватые железки, бывшие до этого су-

хими, начинают выделять сок, который переваривает насекомое. После того как растворенные питательные вещества будут усвоены клетками листа, ловушка медленно открывается. «Переработка» насекомого может продолжаться несколько дней.

Благодаря чувствительным щетинкам венерина мухоловка способна отличать насекомое от таких предметов, как мелкие камешки, палочки. Они не вызывают у нее такой реакции, как, скажем, комар. Еще Чарльз Дарвин установил, что венерина мухоловка остается «равнодушной» к ветру (для имитации ветра исследователь дул на лист растения через трубочку) и струям дождя. Лист не складывался, пока не были тронуты поочередно все волоски или один и тот же волосок дважды. Так что совсем не случайно великий шведский ботаник Карл Линней назвал венерину мухоловку чудом природы.

В Испании, Португалии и Марокко по склонам сухих каменистых и песчаных холмов встречается росолист луситанский (*Drosophyllum lusitanicum*) — метровой высоты растение с узкими длинными мясистыми листьями, густо покрытыми каплями вязкой липкой слизи. К этой слизи, выделяемой особыми мелкими грибовидными железками, прилипают разные насеко-

мые (комары, мухи и даже оводы и цикады), привлеченные медовым запахом. Кроме грибовидных, имеются железки без ножек. Они выделяют пищеварительный сок, содержащий ферменты, расщепляющие органические вещества. Их работа начинается после того, как растение почувствует, что насекомое поймано. Росолист прожорлив: за один день он может расправиться с несколькими десятками крупных мух. Благодаря тому что его ловушки действуют очень эффективно, это растение под названием «португальская мухоловка» используется в крестьянских домах для избавления от мух. Один ботаник насчитал на небольшом растении, росшем в ботаническом саду, до 233 пойманных и убитых росолистом насекомых.

Полагают, что в течение лета одно растение может уничтожить несколько тысяч насекомых.

Альдрованда пузырчатая (*Aldrovanda vesiculosa*) — представитель четвертого рода семейства росянковых. Она отличается от своих родственников тем, что обитает в воде. Ареал этого растения огромен — от Западной Европы до Индии и от Западной Африки до Восточной Азии, но повсюду альдрованда встречается редко. В нашей стране ее иногда можно найти в европейской части, на Кавказе,

в Средней Азии и на Дальнем Востоке.

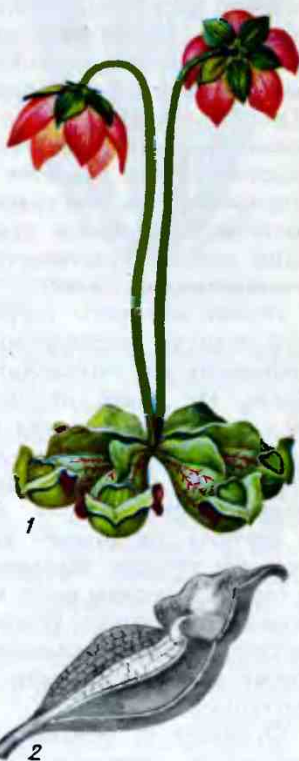
Не имея корней, альдрованда свободно плавает в воде. Ее тонкий длиной в 15 сантиметров стебель всегда погружен в воду. Длина листа всего около сантиметра, он имеет на своем конце пузырьки, величиной с чечевичное зерно. Эти пузырьки состоят из двух округлых половинок. Каждая половинка снабжена маленькими волосками. Стоит мелкому рачку дафнии задеть за такой волосок, как половинки листа захлопываются и жертва оказывается в капкане. Время между восприятием раздражения и началом ответной реакции составляет всего 0,09 секунды. Само захлопывание происходит за 0,2 секунды. Особые железки выделяют сок, растворяющий добычу. Чем моложе лист, тем он энергичнее работает, поэтому «охотятся» в основном листья, образующие верхние две — четыре мутовки.

Альдрованда — цветковое растение. Цветки у нее мелкие одиночные. Поскольку у самой воды насекомых бывает мало, они часто остаются неопыленными и не дают семян. Поэтому размножается растение в основном вегетативно.

Еще одно семейство, объединяющее насекомоядных растений — семейство саррацениевых. Оно состоит из трех родов и 17 видов, распространенных на западе и

востоке Северной Америки и на северо-востоке Южной Америки. Это также обитатели болот, причем наиболее крупные растительные хищники. Ловчие аппараты саррацениевых представляют собой трубковидные кувшины или урны с широкими отверстиями наверху.

Самый многочисленный род этого семейства, давший ему



Саррацения пурпурная:  
1 — общий вид растения; 2 — продольный разрез кувшина.

название, — саррацения. Он насчитывает десяток видов, растущих в Северной Америке. Саррацения пурпурная (*Sarracenia purpurea*) — обладательница красивых крупных цветков с красными лепестками — некогда была завезена в болота Центральной Ирландии, где хорошо освоилась. Цветки ее пахнут, как фиалки. К самым редким видам рода можно отнести саррацению горолюбивую, около восьмисот экземпляров которой произрастают в некоторых местностях штатов Алабама и Джорджия (США). В то же время саррацения желтая на болотах иногда образует обширные заросли. Это красивое растение с крупными кувшинами нередко культивируется в комнатных условиях.

Ловчие аппараты саррацений отходят вертикально от корневища или полулежат на земле. Их длина от 10 до 80 сантиметров. Окраска часто пестрая — пурпурно-желто-зеленая. Особенно щедро природа «раскрасила» вход в ловушку: он заметен издали. На стороне, обращенной к стеблю, кувшины несут крыловидную оторочку, усеянную нектароносными железками, также привлекательными для насекомых.

Отяжелев от обилия сладкой пищи, насекомое оказывается на краю кувшина. Внутренняя поверхность края покрыта воском и лоснится, как

натертый паркет. Одно неловкое движение — и жертва начинает скользить вниз. На дне кувшинов саррацений постоянно обитают бактерии, участвующие в пищеварительном процессе. Переваренная пища всасывается клетками дна кувшина, лишенными кутикулы. Наряду с насекомыми ученые находили в кувшинах саррацений остатки мелких древесных лягушек.

Однако среди насекомых нашлись виды, приспособившиеся жить в урнах саррацений. Это ночная моль и ее личинки, личинки мясной мухи, оса сфекс. Последняя освоилась там настолько, что устраивает свои гнезда. Эти насекомые умудряются даже повреждать ловушки.

Другой род семейства саррацениевых представлен всего одним видом — дарлингтонией калифорнийской (*Darlingtonia californica*). Это растение незначительно отличается от саррацений строением цветков и ловчего аппарата. Впервые его обнаружили в 1841 году в графстве Шаства (штат Калифорния, США). Но не только на болотах произрастает дарлингтония. Ее можно встретить по склонам гор, но обязательно около ключей или родников.

По внешнему виду это растение очень похоже на группу приподнявшихся над землей и приготовившихся к прыжку кобр: из травы видны пятни-

стые «головы» с длинными раздвоенными «языками». Это не что иное, как ловчие аппараты насекомоядного растения. Длина шлемовидных кувшинов — 10—15 сантиметров, но иногда она достигает 50 сантиметров. Кувшины очень напоминают цветки еще тем, что над их отверстием располагаются два яркоокрашенных лепестковидных выроста (то, что мы первоначально приняли за раздвоенный змеиный «язык»). Насекомых привлекают яркие желтые пятнышки на светлой зелени шлемика, а также своеобразный аромат нектара с примесью запаха гнили, доносящегося из кувшина. Насекомое опускается на растение и осторожно ползет под шлемик — туда, где многочисленные нектароносные железки выделяют сладкий ароматный сок. Двигаться насекомое может только в одном направлении — внутрь кувшинчика, потому что шлемик покрыт короткими колючими волосками, наклоненными острием к отверстию кувшина.

Оказавшись под шлемиком, жертва, даже если и «одумается», не сможет уже выбраться из ловушки. То, что казалось ей привлекательными желтыми пятнами, — на деле не что иное, как более тонкостенные участки, своего рода «окна», через которые легко проникает свет. Незадачливое насекомое непременно



Дарлингтония калифорнийская.

но стремится вылететь через них наружу, но ударяется о твердую поверхность и соскальзывает по гладким отвесным стенкам ловушки вниз.

На дне листа имеется жидкость, в которой живут бактерии, участвующие в переваривании жертвы. Насекомое погружается в нее и постепенно растворяется. Растение же усваивает продукты его распада. При разложении органики и возникает малоприятный запах, распространяющийся из отверстия кувшина.

Менее известен читателям

третий род семейства саррацениевых — гелиамфора (*Heliamphora*), он знаком, пожалуй, только специалистам. Шесть его представителей произрастают на высокогорных болотах Гайаны и Венесуэлы. Их ловчий аппарат — срост-

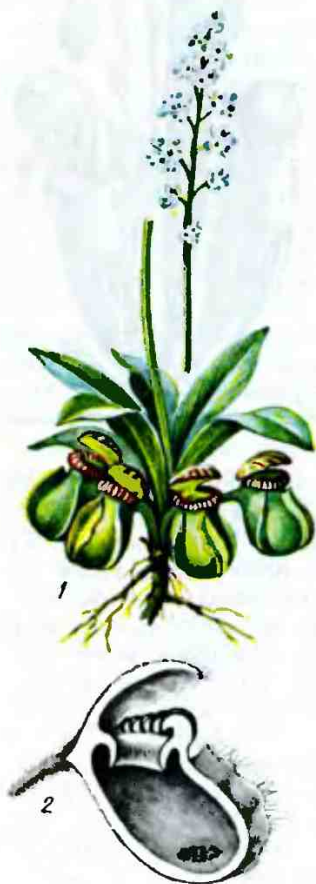
шийся в виде трубки лист с сомкнутыми краями. В верхней части трубки располагаются нектароносные железки.

В секреторной жидкости на дне кувшина обитают бактерии, выделяющие пищеварительные ферменты. В этом отношении гелиамфоры сходны с саррацениями и дарлингтонией.

Среди семейств растений есть такое, которое имеет всего один род, а тот, в свою очередь, только один вид. Речь идет о семействе цефалотовых, единственный представитель которого — цефалотус мешочковый (*Cephalotus follicularis*).

Это эндемик юго-восточной части Западной Австралии, встречающийся лишь на ограниченной территории, протянувшейся вдоль морского побережья. Он растет на относительно сухих местах по окраинам торфяных болот, среди густых зарослей кустарников и осоки.

Цефалотус мешочковый — многолетнее травянистое растение с подземным корневищем, образующее розетку из тесно расположенных листьев. Верхние листья розетки плоские, цельные, толстые, с железками, расположенными на черешках и на нижней стороне листовых пластинок. Другие листья превращены в ловчие кувшины. Они начинают свое развитие еще зимой, но актив-



Цефалотус мешочковый:  
1 — общий вид растения; 2 — продольный разрез кувшинчика.



Непентес гибридный

но функционируют летом, когда особенно много насекомых. Приблизительно в это же время растение образует длинный безлиственный цветонос, на верхушке которого образуются мелкие беловатые цветки без лепестков. В феврале или марте созревают плоды, рас-

пространяющиеся с помощью животных.

В настоящее время цефалотус включен в список растений Австралии, нуждающихся в охране.

И еще у одной группы растений ловчие аппараты представлены кувшинчиками. Речь

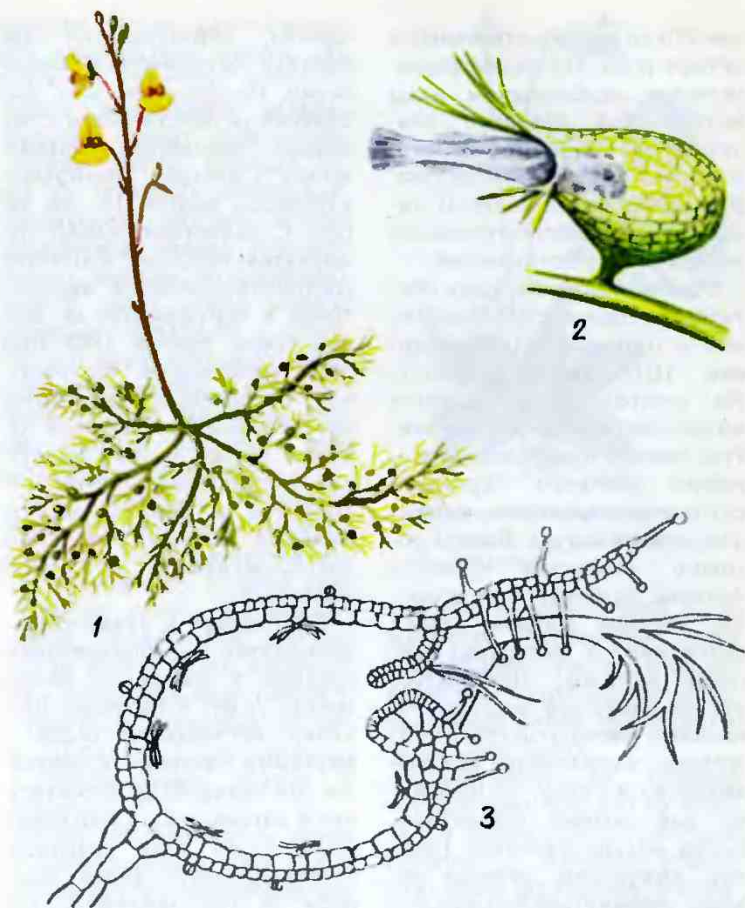
идет о семействе непентовых, единственный род которого — непентес (*Nepenthes*), или кувшинконос, включает более семи десятков видов, обитающих в тропической Азии, на Сейшельских островах, Мадагаскаре, в Новой Гвинее, Северной Австралии и Новой Каледонии. Это лианы, взбирающиеся с помощью усов по деревьям на десятки метров. У них широкие листья с оттянутым кончиком, стебли заканчиваются невзрачными соцветиями, состоящими из мелких цветков.

Видоизмененные листья непентеса имеют форму кувшинчиков, окрашенных в яркие, хорошо заметные в тропическом лесу тона: огненно-красные, матово-белые, зеленые с пурпурными пятнами. Не случайно местные жители называют их цветами. Каждый кувшин сверху, как зонтик, прикрывает кончик листа. Эта крышка также отликает пестрыми фиолетовыми, розовыми и бурными красками. Она предохраняет кувшинчики от попадания внутрь воды. Насекомых так сильно влекут к себе эти ярко разрисованные, смазанные нектаром «цветы», что они набиваются в них чуть ли не до половины. А ведь некоторые кувшины достигают в длину 40—45 сантиметров. Вообще же она колеблется от 2,5 до 30 сантиметров. Верхняя часть внутренней стенки покрыта восковым налетом, по

которому насекомые соскальзывают внутрь, откуда уже не могут выбраться. Непентес нередко не в состоянии переварить всех пленников. В этом случае ему на помощь приходят птицы и даже небольшие млекопитающие, вроде макидомового или полуобезьян, которые поедают избыток попавших в ловушки насекомых.

Непентес выделяет фермент непентесин, активный только в кислой среде. По этой причине растению приходится вырабатывать муравьиную кислоту, которая не только активизирует непентесин, но и выполняет роль антисептика. Железки, продуцирующие ферменты, располагаются в нижней части ловушки. Они погружены в жидкость, объем которой иногда доходит до двух литров. Попавшая в нее добыча уже за пять—восемь часов растворяется и всасывается стенками кувшина.

Среди кувшинконосов наиболее известен непентес раджах. Он произрастает в Восточной Малайзии в национальном парке Кинабалу, на горе с таким же названием. Это самый крупный представитель рода. Длина его кувшинчиков достигает полуметра. Численность растения постоянно сокращается. Вырастить его из семян чрезвычайно трудно, поэтому любители экзотических растений предпочитают приобретать взрослые экземпляры, нередко изъятые из природы.



Пузырчатка обыкновенная:

1 — веточка; 2 — пузырек с добычей; 3 — продольный разрез кувшинчика.

Популярностью у цветоводов пользуется и другой редкий вид — непентес Раффлеза. Он имеет крупные зеленые кувшины, покрытые красными пятнами. Растет непентес Раффлеза на острове Калимантан и полуострове Малак-

ка. Есть среди кувшинконосов эпифиты и виды, растущие на поверхности почвы.

Совершенно по-иному устроены ловчие аппараты у представителей довольно многочисленного семейства пузырчатковых. Оно насчитывает бо-

лее 275 видов, объединенных в четыре рода. По своим биологическим особенностям виды различаются довольно значительно. Главный род этого семейства — пузырчатка. В нем более 200 видов. В нашей стране зарегистрировано восемь его представителей.

Один из интереснейших обитателей болотистых водоемов — пузырчатка обыкновенная (*Utricularia vulgaris*). На листьях этого растения можно легко заметить множество мелких пузырьков, это — ловчие аппараты. Пузырьки снабжены клапанами, открывающимися внутрь. Вокруг ротового отверстия имеются длинные разветвленные волоски, которые Дарвин назвал антеннами, и несколько жестких щетинок. Любопытно, что на наружной поверхности клапана располагается много железок, выделяющих клейкое вещество и сахар, — приманку для водных обитателей. Когда мелкое животное (циклоп, инфузория, личинка комара, дафния) прикасается к клапану, он приоткрывается и струя воды увлекает жертву внутрь пузырька, наполняя его водой. В момент заполнения водой клапан занимает первоначальное положение и закрывает входное отверстие, так что животное не может выбраться наружу.

На стенках пузырьков располагаются небольшие железки, которые впитывают ве-

щества, образующиеся при распаде органических соединений. Расщепление этих соединений осуществляется с помощью ферментов, находящихся внутри пузырьков. «Трапеза» длится 12—48 часов. С животной пищей пузырчатка получает азотистые соединения, которых недостаточно в окружающей ее водной среде. Еще в 1888 году было установлено, что растение, питающееся животными, растет вдвое быстрее, чем живущее только за счет продуктов фотосинтеза. Цветет пузырчатка в июле и августе мелкими желтыми цветками, расположенными на тонких цветоносах.

Обитающие в Подмоскowie пузырьчатки — обыкновенная, средняя и малая — не приметны. А вот в тропиках Бразилии встречаются особи с крупными листьями и цветками: это пузырчатки почколистная и лотоллистная. Одно время выдвигалась идея широкого культивирования видов этого рода в тех водоемах, где сильно размножаются комары. Уничтожая их личинки, пузырчатки могли бы способствовать оздоровлению местности.

На влажных известковых скалах крайнего севера Соединенных Штатов, в Канаде, на северо-западе европейской части Союза можно встретить жирянку (*Pincularia vulgaris*), названную так по той

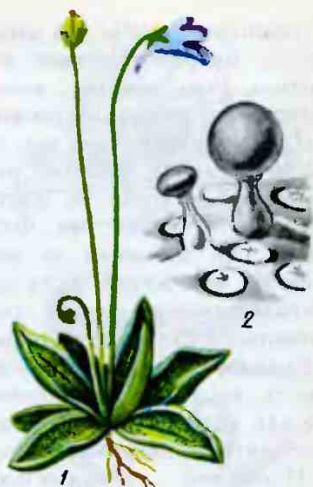
причине, что ее эллиптические или языковидные листья, образующие розетку, лоснятся словно намазанные жиром. Жирянка имеет фиолетово-голубые цветки, которые сидят на стройных стебельках. Поверхность листьев усеяна множеством мелких грибообразных железок, выделяющих липкую слизь. Едва мелкое насекомое прилипнет к листу, как его края начинают заворачиваться внутрь в виде трубочки. Другие еще более мелкие железки выделяют сок, парализующий жертву.

Сок жирянки обладает очень сильным растворяющим действием, поэтому листья могут переваривать кусочки хряща, хлеба, гриба. Жители Северной Скандинавии использовали листья этого растения для створаживания молока, идущего на производство сыра. Полученный сыр отличался оригинальным вкусом и запахом.

Всего насчитывается около 45 видов жирянки. Они, как и многие другие насекомоядные растения, произрастают на болоте. Но есть виды, поселяющиеся, подобно эпифитам, на деревьях, например жирянка древесная.

В семейство пузырчатковых входят еще два рода — генлисея и полипомфоликс, ловчие аппараты которых сходны с ловушками пузырчатки.

Всего на земном шаре насчитывается около 500 видов



Жирянка обыкновенная:

1 — общий вид растения,  
2 — железки.

насекомоядных растений. К сожалению, численность этих оригинальных растений сокращается из-за проведения мелиоративных работ, связанных с осушением болот.

Особенности их питания обусловлены тем, что на болотах, а также там, где обитают росолист и жирянка древесная, мало доступного для растений азота. В связи с этим насекомоядность, безусловно, позволила решить проблему азотного питания.

### Хищники из мира грибов

Насекомоядные растения — настоящие хищники, они способны поймать, убить и использовать в пищу насекомых. Оказалось, что этим «грешат»

и некоторые грибы. Их добыча — микроскопические животные типа нематод, коловраток или мелких насекомых.

Грибные нити, или как говорят ботаники, мицелий, развиваются в почве на растительных остатках, но часть пищи они добывают из пойманных ими жертв. Если для паразитических грибов тело животного является не только источником питательных веществ, но и средой обитания, то для хищных оно представляет интерес только как пища.

Изучением грибов-хищников ученые занялись сравнительно недавно — в 30-е годы нашего столетия. За прошедшее время были изучены их биология, распространение и систематика. Оказалось, что эти организмы могут быть полезными для человека, например, в борьбе с вредными нематодами, патогенными для человека, животных и растений.

Многие виды этих червей наносят большой ущерб сельскому хозяйству. Так, галловые нематоды, образуя на корнях опухоли (галлы), тем самым нарушают нормальные физиологические процессы, что приводит к резкому снижению урожайности или полной гибели растений.

Размеры круглых червей, улавливаемых грибами, — 0,1—1,0 миллиметра, тогда как толщина грибных нитей хищников не более 8 микро-

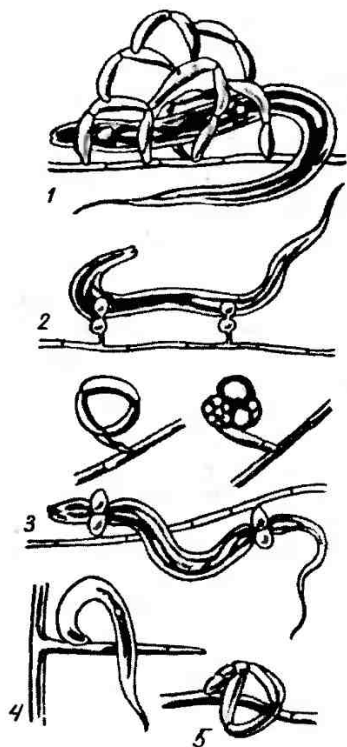
метров. Как же такие тонкие нити удерживают огромных по сравнению с ними животных? Для того чтобы поймать жертву, грибы-хищники образуют из нитей грибницы (гиф) ловчие петли. Петли соединяются друг с другом и образуют сеть. Едва червь попадает в такую петлю, как гифы мгновенно набухают и сжимают его. Гриб удерживает жертву благодаря клейким веществам, находящимся на поверхности гиф. Попавшая в ловчие сети нематода очень быстро перестает сопротивляться. Предполагают, что гриб вырабатывает какой-то яд, умертвляющий или парализующий ее. Ферменты, выделяемые грибом, растворяют покровы нематоды. Через образовавшееся отверстие в тело проникает гифа, которая, разрастаясь, поглощает органические вещества жертвы.

Известно около 20 видов грибов, улавливающих нематод при помощи клейких сетей.

У некоторых хищников ловчие аппараты устроены более просто. Это короткие клейкие отростки, отходящие от мицелия. Существуют ловчие аппараты, действующие без клейкого вещества, по принципу пассивного кольца: нематода вклинивается в кольцеобразную структуру и не может из нее выбраться. Более интересен механизм активно сжимающегося кольца.

Когда очередная жертва попадает в кольцо, последнее очень быстро набухает, увеличиваясь в размерах примерно в три раза, в результате чего просвет кольца практически исчезает и нематода бывает схвачена и лишена какой бы то ни было возможности освободиться.

В настоящее время хищные грибы используют для борьбы с опасными нематодами (галловой, картофельной, рисовой, земляничной). Для этого их культивируют на мертвых растительных субстратах, например на стерильной соломенной сечке, а затем вносят в почву, зараженную нематодами. Хищники хорошо растут на питательных средах, однако в отсутствие нематод они обычно не образуют своих ловушек. Если в культуру добавить нематод, то буквально уже через сутки гифы гриба дают начало ловчим аппаратам.



Типы ловушек хищных грибов:  
1 — клейкие трехмерные сети; 2 — клейкие головки; 3 — сжимающиеся кольца; 4 — клейкие выросты гиф; 5 — несжимающиеся кольца.

### Овечья легендами... паразит

Не счесть легенд, созданных народами разных стран об омеле. Публий Вергилий Марон в «Энеиде» писал:

*Слушай, что сделать тебе придется. В чаще таится  
Ветвь, из золота вся, и листья на ней золотые.  
Скрыт златокудрый побег, посвященный дольней Юноне,  
В сумраке рощи густой, в тени лощины глубокой.  
Но не проникнет никто в потаенные недра земные,  
Прежде чем с дерева он не сорвет заветную ветку.  
Всем велит приносить Прозерпина прекрасная этот  
Дар для нее.*

Так наставляла Энея страшная прорицательница Сивилла, когда тот решил проникнуть в царство мертвых Аид,

чтобы встретиться со своим отцом. В лесу Эней увидел двух голубей, которые указали ему путь к нужному дереву.

*Золота ответ сверкал меж ветвей его темно-зеленых, —  
Так средь зимы, в холода, порой на дереве голом  
Зеленью чуждой листвы и яркостью ягод шафранных  
Блещет омель побег, округлый ствол обнимая.  
Так же блестяли листья золотые на падубе темном,  
Так же дрожали они, дуновеньем колеблемы легким.*

Хотя растение считалось священным еще в античную эпоху, однако культ его достиг наивысшего своего развития у кельтов и германцев. С помощью ветки омелы, как повествует скандинавское сказание, был убит мудрый и кроткий Бальдер — бог плодородия, весны и растительности, добрый и прекрасный сын бога Одина и богини Фригг.

Анализируя представления разных народов относительно омелы, исследователи пришли к выводу, что в древности у этого растения была двойная символика: оно олицетворяло смерть и возрождающуюся жизнь. Именно по этой причине омела посвящалась Персефоне (Прозерпине) — богине плодородия и подземного царства. В северных странах, в германской и кельтской мифологии она была символом смерти и зимнего оцепенения природы. И это вряд ли случайно. Ведь именно зимой омела хорошо заметна среди голых веток деревьев, впавших в состояние покоя. Поверья и обряды, связанные с этим растением, еще в XIX ве-

ке были широко распространены среди европейцев. Причина такого отношения к растению в том, что оно в от-

личие от других вырастает удивительным образом, между небом и землей, на ветвях какого-нибудь дерева. Люди думали, что она падает с неба на ветки священного дерева (дуба, ясеня, акации и др.).

По своей природе омела — паразит. Вместо корней у нее присоски, в которых развиваются сосуды, присоединяющиеся к проводящей системе растения-хозяина, чтобы поглощать его соки.

Род омелы включает около сотни видов, распространенных в основном в тропиках и субтропиках. На юге и юго-западе европейской части СССР встречается омела белая. Особый интерес представляет омела ожереловая, которая обитает на омеле восточной, а та, в свою очередь, — на лиственных деревьях. Это тот самый случай, о котором писал Джонатан Свифт (1667—1745) в сатирической балладе:

*Под микроскопом он открыл, что  
на блохе  
Живет блоху кусающая блошка;  
На блошке той — блошинка-  
крошка;*

*В блошинку же вонзает зуб  
сердито  
Блошиночка...*

Виды омелы, растущие в умеренной зоне, незначительно повреждают своих хозяев. В тропиках же дело обстоит иначе. В связи с интенсивным потреблением воды омелами растения-хозяева часто погибают.

Хотя легендарное растение и имеет в своих листьях немного хлорофилла, благодаря чему обладает способностью к фотосинтезу, его лишь с натяжкой можно причислить к полупаразитам, поскольку оно, как и типичные паразиты, не в состоянии развиваться самостоятельно.

В Новой Зеландии произрастает еще один интересный вид — омела красная, которая значительно крупнее своих

сородичей, обитающих у нас. Это огромный шар, достигающий в диаметре двух метров. В период цветения растение поражает обилием красных цветков: при этом шар приобретает яркую багряную окраску, становится настоящим украшением леса.

Если омела имеет желтовато-зеленые листья, то все представители семейства заразиновых, насчитывающего около 200 видов, полностью лишены хлорофилла. Это многолетние корневые паразиты. Для того чтобы проросток мог превратиться во взрослую особь, семя должно прорасти возле корня нужного растения. Это обстоятельство называется на свреобразии семяношения. Семена заразиновых очень мелкие, они легко проникают в почву. Кроме



того, их образуется огромное количество — одна особь заразики за сезон может дать до полумиллиона семян. И еще одна особенность — их прорастание резко активизируется под воздействием веществ, выделяемых корнями растения-хозяина.

Из семени заразики обра-

зуется тонкий нитевидный проросток, который углубляется в землю, совершая винтообразные движения. Встретив на пути подходящий живой корень, он плотно прирастает к нему, проникая внутрь до древесины, затем дает вверх почку, из которой развивается толстый мясистый стебель с мелкими чешуйчатыми листьями, лишенными хлорофилла. Паразит срастается с корнем растения-хозяина настолько плотно, что трудно наметить границу между их клетками. В месте соединения образуется утолщенная узловатая ткань.

На Чукотке на корнях ольхи поселяется иногда представитель семейства заразиковых — бошнякия русская. У этого растения также нет зеленых листьев. Они превратились у нее в невзрачные чешуи. Питается бошнякия при помощи присосок соками растения-хозяина.

В Средней Азии встречается родственница заразики — цистанхе желтая, высотой 120—150 сантиметров. Она имеет мясистый стебель, значительная часть которого скрыта в песке. Цистанхе поселяется на корнях пустынных растений: саксаула, тамарикса, джужгуна, отнимая у них воду и минеральные вещества. Даже если буря сломает высокий стебель цистанхе, растение не погибает. Через некоторое время на



Растения-паразиты:  
1 — омела; 2 — заразики.

поверхности земли показывается новый стебель, который по мере развития образует огромное колосовидное соцветие. Сначала венчики цветков желтые, но по мере отцветания становятся фиолетовыми.

Многие виды заразных — злостные сорняки, снижающие урожай культурных растений.

Большой ущерб сельскохозяйственным культурам (клеверу, льну и др.) наносят повилики — быстро размножа-

разита с растением-хозяином образуются расположенные рядами бородавки, из которых развиваются сосочки, врастающие в стебель жертвы. Через них повилика получает необходимые для нее органические вещества. Вскоре она теряет всякую связь с землей и становится нахлебником растения-хозяина.

На Руси давно уже подметили характерные особенности повилики. В одной из народных песен поется:

*Не свивайся, не свивайся, трава, с повиликой,  
Не свыкайся, не свыкайся, молодец, с девицей,  
Хорошо было свыкаться, тошно расставаться...*

ющиеся и трудноискоряемые паразиты. Вред, наносимый ими, велик: гибнут целые массивы культурных растений, сено, содержащее повилику, может вызвать заболевание животных. Кроме того, это растение участвует в переносе фитопатогенных вирусов, например вируса табачной мозаики.

В семействе повиликовых только один род, насчитывающий, в свою очередь, 150—170 видов, широко распространенных на всех континентах.

Из семени повилики поздней весной вырастает тонкая желтая нить, устремляющаяся вверх. Поднимаясь над землей, она совершает круговые движения. Прикоснувшись к какому-нибудь растению, проросток начинает обвивать его. В местах соприкосновения па-

Поэтическое описание этого растения мы найдем в романе П. И. Мельникова-Печерского «В лесах»: «Не гибкая повилика белорозовы цветочки вокруг зеленого дуба обвивает, не хмелинушка вокруг тычиночки вьется — обвивает белоснежными руками красавица желанного гостя... И млеет и дрожит в сладкой истоме».

Петров крест издавна поражал воображение людей. Корневище этого растения образует форму креста, отсюда и его название. Его цветочные побеги появляются на поверхности земли в апреле — мае. В это время людей в лесу редко встретишь — ведь нет еще ни ягод, ни орехов. За петровым крестом укрепилась репутация растения, которое прячется от людей,



Петров крест.

потому что основная его масса, достигающая иногда 5 килограммов, скрыта под землей. В отличие от большинства цветковых растений петров крест вместо листьев имеет слегка розоватые чешуйки.

Все эти особенности породили у людей веру, будто растение-отшельник обладает волшебными свойствами и помогает отыскивать клады, охраняет от нечистой силы. «Сведующие» люди утверждали, что железом копать это растение нельзя, только руками.

В настоящее время тайны растения раскрыты. Оказалось, что все его особенности

обусловлены паразитическим образом жизни. Именно по этой причине петров крест лишен зеленого пигмента, осуществляющего у других растений процесс фотосинтеза. Ему вовсе не обязательно тянуться к солнцу, можно затаиться в земле, к тому же здесь и пища ближе — в корнях орешника, вяза, ольхи, липы и некоторых других деревьев и кустарников. Стоит только прикрепиться к ним своими цепкими присосками — и питательные вещества растения-хозяина устремятся в мясистое корневище.

Лишь во время цветения петрову кресту необходимо показаться на поверхности земли, чтобы осуществить перекрестное опыление своих цветков с помощью насекомых или ветра и затем рассеять по белу свету образовавшиеся очень мелкие семена. После плодоношения надземные побеги его отмирают, и жилец подземелья возвращается в свою обитель.

Развевалась еще одна легенда, совсем недавно приписываемая петрову кресту. Считалось, что некоторые насекомые, попав в полости его листьев, перевариваются, обеспечивая растение дополнительным азотом. На деле же оказалось, что разложение насекомых осуществляет не растение, а почвенные бактерии.

Говоря о паразитических

растениях, нельзя не упомянуть об оригинальных представителях семейства раффлезиевых. Около 12 видов рода раффлезия произрастает в Юго-Восточной Азии. Наиболее известна раффлезия Арнольди, названная в честь натуралиста Жозефа Арнольди, впервые обнаружившего это «чудо растительного мира». В 1818 году Ж. Арнольди писал английскому ботанику Роберту Броуну: «С радостью сообщаю Вам о том, что мною открыто здесь чудо растительного мира. Я случайно удалился на несколько шагов от моих спутников, как вдруг мой слуга-малаец бежит ко мне с вытаращенными от удивления глазами и кричит: «Иди, иди сюда, господин! Тут цветок очень удивительный, очень красивый!» Я тотчас же углубился вслед за ним в чащу шагов на сто, где он и показал мне под кустом, на самой земле, действительно поразительный цветок. Он сидел на тонком, не толще двух пальцев горизонтальном корне. Я отделил его ножом и снес в палатку. Я тотчас же заметил целый рой мух над отверстием нектарника, которые, вероятно, откладывали в него свои яички. Цветок издавал запах гнилой говядины... Сказать правду, если бы я был один и не было бы со мной товарищей, я струсил бы, увидев такой громадный цветок, до того размеры его пре-

вышали все виденное и слышанное мною».

Раффлезия Арнольди действительно впечатляет. Все растение, по существу, представляет собой гигантский цветок, достигающий в диаметре одного метра, массы шесть килограммов. Он имеет пять громадных мясистых лепестков, покрытых белыми бородавками. Толстое кольцо окружает центральную впадину, где расположились тычинки и пестики. Цветок раффлезии издает ужасное зловоние, которое привлекает большое количество мух и жуков, опыляющих его.

Из цветка образуются мягкие плоды, которые едят слоны и дикие свиньи. При этом семена, приставшие к их конечностям, переносятся в другие места. Некоторые из них попадают на обиженные корни циссуса и прорастают. У проростка возникают присоски, проникающие в корень растения-хозяина и высасывающие его соки. На этом месте образуются огромные почки размером с крупный кочан капусты. Эти почки дают начало цветкам-гигантам. Прорастание семян раффлезии стимулируется выделениями циссуса.

На Яве растет раффлезия Рохуссена, имеющая самый мелкий среди своих сородичей цветок. Диаметр этого «малыша» 14 сантиметров.

Среди цветковых растений

паразитизм наблюдается лишь у нескольких сотен видов. Однако есть группа растений, которая включает тысячи паразитических видов. Это — грибы.

### **Чем питаются эпифиты!**

Об эпифитах мы уже неоднократно упоминали в предыдущей главе. Но сейчас нас интересует не водообеспечение их, а питание: откуда они получают элементы минерального питания?

Эпифиты весьма широко распространены в тропических лесах, где они произрастают на стволах деревьев, свешивая вниз свои воздушные корни. В отличие от паразитов они используют древесные растения лишь как место прикрепления, но не получают от них питательных веществ.

Воздушные корни эпифитов очень различаются по внешнему виду, но по внутреннему строению они сходны. Снаружи они покрыты рыхлой тканью, которая жадно адсорбирует влагу, углекислый газ, кислород, а также пылевые частицы, взвешенные в воздухе. Эти вещества служат основой питания и дыхания удивительных растений. В дождевой воде, стекающей по стволам и ветвям деревьев, имеются кусочки древесной коры, в которой содержится небольшое количество минеральных солей, необходимых

для жизни эпифитов. Связи с почвой они обычно не имеют. Некоторые тилландсии из семейства бромелиевых поселяются даже на телеграфных проводах, где успешно цветут и плодоносят.

Некоторые эпифиты живут в симбиозе с муравьями, которые улучшают снабжение их минеральными солями. Так, например, в тропических лесах Юго-Восточной Азии произрастают виды мирмекодии. Стебли этих полукустарников образуют крупные клубни, нередко покрытые шипами. Муравьи поселяются в этих клубневидных пористых стволах. Помет, оставленный ими, мирмекодии используют для питания.

В тропических лесах Бразилии некоторые виды муравьев (ацтеки, кампонотусы) устраивают настоящие висячие сады из эпифитов. Сначала они натаскивают на деревья плодородную землю, которую складывают в развилки сучьев. Затем в эти «грядки» зарывают семена эпифитов. Когда же появляются всходы, муравьи ухаживают за ними, присыпают нежные корешки влажной почвой. Здесь сооружают они свое гнездо. Развившиеся растения защищают муравейник от горячих солнечных лучей и тропических ливней.

Очень большое количество эпифитов встречается в семействах орхидных и броне-

лиевых. Имеются они в других семействах цветковых растений, а также среди папоротников, мхов, печеночников, водорослей и лишайников.

В горных тропических лесах Западной Африки произрастает папоротник платициерум ангольский. Это растение при-

мечательно тем, что имеет иерассеченные листья двух видов. Сначала развиваются небольшие пластинчатые округлые листья. Затем появляются листья большего размера. Их нижняя часть плотно прижата к стволу и ветвям дерева-хозяина, а верхняя —



Асплениум гнездовой.

постепенно отходит от ствола. В результате образуется «воронка», в которой собирается дождевая вода. Сюда же попадают опавшие листья, которые, разлагаясь, служат источником элементов минерального питания. Когда папоротник достигает определенного размера, на нем появляются свободно свисающие листья, на которых образуются споры, предназначенные для размножения платициериума ангольского.

Ряд эпифитных папоротников накапливает гумус в... самих себе. В тропических лесах Старого Света произрастает папоротник асплениум гнездовой, или птичье гнездо (*Asplenium nidus*), — типичный представитель папоротников-гнезд. Он очень светолюбив, поэтому обычно поселяется высоко над землей в кронах тропических деревьев. Асплениум гнездовой предпочитает места, где суточные колебания температуры незначительны, а сухой сезон непродолжителен. За многие годы существования папоротник накапливает значительную массу, под тяжестью которой ветви нередко обламываются. Ведь цельные кожистые листья асплениума, похожие на листья банана, достигают в длину двух метров при ширине 20 (иногда до 60) сантиметров. Они образуют плотную розетку на верхушке толстого прямого коричневого корне-

вища, от которого отходят многочисленные сильно разветвленные корни. Эта розетка представляет собой своеобразное хранилище, где скапливаются опавшие листья, кусочки коры, пыль. В этой разлагающейся массе развиваются отходящие от корневища корни. Они поглощают из нее необходимые растению питательные вещества. На верхушке корневища появляются новые листья. Они сначала ориентированы вертикально, но затем отклоняются в стороны, к стенкам «корзины». Пронизанные корнями органические остатки прочно удерживаются основаниями старых и новых листьев. Благодаря этому растение накапливает огромное количество гумуса, в котором даже заводятся дождевые черви. На Яве в таких «корзинах» нередко можно обнаружить червей длиной до 60 сантиметров. Рыхлая масса органики, как губка, впитывает атмосферную влагу. Папоротники-гнезда производят сильное впечатление. Нередко их разводят в тропических странах как декоративные растения, а в умеренных широтах их часто можно видеть в оранжереях ботанических садов.

Усложненный вариант гумусовой «корзины» образуют папоротники из рода платициериум, или «олений рог» (*Platyserium*), произрастаю-

щие в тропических лесах Старого Света. Это также крупные эпифиты, которые образуют листья двух типов — спороносные и стерильные. Стерильные листья широкие, вертикальные, а спороносные более узкие, направленные в сторону от ветвей растения-хозяина.

Широкие листья отходят от опоры под углом, образуя нишу, в которой скапливается перегной. Основным источником органики в «корзине» платициериума — его же собственные неспороносные листья, которые довольно быстро отмирают. С возрастом размеры ниши увеличиваются, а ее масса у некоторых особей иногда достигает центнера.

Спороносные листья по форме очень похожи на оленьи рога. Нижняя поверхность их разветвлений словно покрыта кирпично-красным налетом из-за обилия спорангиев — органов неполового размножения, в которых созревают споры. Отдельные представители рода платициериум достигают в диаметре 1,8 метра. Во время ураганов деревья, приютившие таких огромных «квартирантов», иногда выворачиваются с корнями.

Семейство орхидных, насчитывающее 20—25 тыс. видов, — крупнейшее среди однодольных растений. Значительная часть тропических орхидей относится к эпифитам. Они развивают воздушные



Платициериум оленерогий.

корни, покрытые толстым слоем гигроскопической ткани, так называемым веламеном. Он образуется из мертвых клеток, заполненных воздухом, и имеет белую или серую окраску. В сухую погоду веламен сжимается и становится белым из-за многочисленных пустот, заполненных воздухом (об этом эффекте говорилось при объяснении происхождения окраски лепестков черемухи, белой сирени). Во время дождя он, как губка, впитывает влагу, а вместе с ней и питательные вещества, смываемые с расположенных выше растений. И этой скудной пищи бывает вполне достаточно для орхидей — самого яркого украшения тропического леса.

Удивительные создания —

эпифиты. Потребляя очень мало элементов минерального питания, они создают значительную биомассу и производят огромное количество органических веществ. Изучить бы их биологические особенности и полученные знания использовать для выведения таких сортов культурных растений, которые, подобно им, очень экономно использовали бы минеральные удобрения! К сожалению, физиологические и биохимические особенности эпифитов мало изучены. Что же касается селекции, то в последние годы ориентир взят на выведение сортов интенсивного типа, которые потребляют огромное количество азота, фосфора, калия. Для удовлетворения их потребностей работают тысячи предприятий по выпуску минеральных удобрений. Это производство поглощает колоссальное количество энергии, загрязняет природную среду окислами азота, углекислым газом, фтором, хлором, двуокисью серы, требует транспортных расходов. Такие затраты, чтобы прокормить «прожорливые» сорта интенсивного типа! Как же мало мы знаем о том, что лежит в основе нашего благосостояния, — о зеленом растении!

Достижения в области генетической и клеточной инженерии открывают новые блестящие возможности в деле создания принципиально но-

вых растений, которые экономно расходовали бы минеральные питательные вещества и в то же время давали бы высокие урожаи. Гены эпифитов, перенесенные в клетки культурных растений, могли бы укротить их непомерный аппетит.

### **Выращивание растений в воздухе**

Изучение условий питания растений позволило создать принципиально новую технологию их выращивания — аэропонику. Этот метод используется при производстве овощей в совхозе «Марфино» Московской области.

При аэропонном способе корневая система растений развивается не в почве и не в питательном растворе, а в воздухе, в сетчатых стаканах или в полом пространстве стеллажей, представляющих собой корытообразные сооружения. Стеллажи закрыты крышками с отверстиями, в которые вставляются стаканы с высаженными в них растениями или последние просто закрепляются в отверстиях при помощи ваты. В зону корней воздух проникает через сетку стаканов или боковые отверстия стеллажей.

Корни опрыскиваются питательным раствором при помощи распылителей. Подача питательных веществ и влаги в соответствии с потребностями

ми растений регулируется автоматикой.

Предполагают, что аэропонный способ выращивания растений может найти применение на морских кораблях и космических летательных аппаратах.

### Почва для космоса

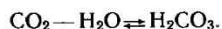
Современные программы космических исследований рассчитаны уже не на дни и недели, а на месяцы. Как обеспечить космонавтов свежими овощами и фруктами?

Конечно, транспортный корабль может доставить их на орбитальную станцию, правда, дороговато обходятся такие «посылки» с Земли. Выходит, целесообразнее выращивать растения в космосе. Только вот непростое это дело в условиях невесомости: начнешь поливать «грядку», а капли воды расплываются по всему космическому кораблю.

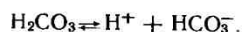
Как же можно обеспечить нормальное корневое питание растений в космосе? Ученые пришли к выводу, что для этой цели нужно создать принципиально новую почву. Специалисты Института физико-органической химии АН Белорусской ССР успешно справились с этой задачей. По внешнему виду искусственная почва представляет собой мелкие гранулы на полимер-

ной основе. Внутри гранул в связанном состоянии находятся ионы, необходимые для нормального роста растений. Эти ионы не вымываются водой, их нельзя извлечь механическим путем. А вот растения могут усваивать их, обменяв на ионы, вырабатываемые ими в процессе дыхания корней.

Как известно, при дыхании выделяется углекислый газ. Растворяясь в воде, он образует угольную кислоту:



Эта кислота диссоциирует на ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{HCO}_3^-$ :



Ионы поступают на наружную поверхность корневых волосков, контактирующих с искусственными частицами почвы, содержащими полезные для растений ионы  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{PO}_4^{--}$ ,  $\text{NH}_4^+$  и др.

Вот тут-то и происходит обмен ионов  $\text{H}^+$  на ионы  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , а ионы  $\text{HCO}_3^-$  замещаются ионами  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{PO}_4^{--}$ .

Ученые пытаются ввести нужные растениям ионы и в другие материалы, например в особую ткань, на поверхности которой предполагается культивировать растения в космосе.

Когда ростками брызжут семена,  
Им радуются люди, как открытию.

Л. Татьяничева «Письмена  
берез»

### **Рост и развитие — не одно и то же**

Растения, как и животные, обладают способностью к росту. В течение своей жизни, иногда очень продолжительной, деревья увеличиваются в массе и объеме, у них появляются новые ветки и листья. Что же такое рост? Под ростом ученые понимают необратимое увеличение размеров растения, в основе которого лежит новообразование органов, тканей, клеток или клеточных элементов (цитоплазмы, пластид, митохондрий).

А можно ли считать ростом набухание сухих семян, помещенных в воду? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно высушить набухшие семена. Оказывается, их масса полностью соответствует массе сухих семян. Следовательно, в данном случае увеличение массы и объема семян — явление обратимое. За столь короткий промежуток времени, пока вода поступала в сухие семена, в них не возникли какие-то новые структуры. Таким образом, набухание семян не относится к ростовым процессам.

Очень часто мы говорим: растение растет и развивается, не задумываясь, чем различаются эти два понятия. Между тем они не тождественны. Если рост — это количественное нарастание массы растения, увеличение числа листьев, корней, побегов, объема и числа клеток, то развитие — это качественные морфологические и физиологические изменения, которые происходят в растительном организме в течение жизненного цикла.

Примером роста может служить появление на ветке новых листьев. Однако у некоторых видов (подробнее мы поговорим о них в разделе «Двуличные растения») происходит смена одних, так называемых ювенильных (от латинского слова «ювенис» — молодой), листьев другими, которые значительно отличаются от своих предшественников. Это, безусловно, пример развития, поскольку налицо качественное изменение.

Появление цветка — это качественно новое состояние растительного организма, свидетельствующее о том, что в нем произошли глубокие био-

химические и физиологические сдвиги. Неудивительно, что цветение — показатель развития растений.

Вместе с тем следует сказать и о единстве этих двух процессов. В самом деле, появление цветка или качественно новых листьев всегда сопровождается увеличением размера цветочных или листовых зачатков, при этом происходит увеличение числа клеток, то есть мы наблюдаем явление роста. Учение о росте растений — одно из наиболее активно развивающихся направлений физиологии растений. Оно тесно связано с такими отраслями знаний, как растениеводство, биотехнология.

### **Как быстро растут растения!**

Еще Плиний писал в «Естественной истории», что деревья растут с различной скоростью: «Некоторые деревья по природе растут медленно, и прежде всего те, которые рождаются только из семян, и отличаются долговечностью. Те же, которые быстро гибнут, быстро и растут, как, например, смоковничное и гранатовое деревья, слива, яблоня, груша, мирт, ива».

Большинство растений растет со скоростью 0,005 миллиметра в минуту, что составляет около 0,7 сантиметра в сутки. Скорость роста цветочной стрелки гиацинта не-

редко превышает три сантиметра в сутки. Такой взрыв роста возможен благодаря интенсивному использованию в период цветения накопленных в луковицах питательных веществ.

В Мьянме (бывшей Бирме) растет представитель семейства бобовых амхерстия благородная (*Amherstia nobilis*) — одно из самых декоративных растений мира, названное «королевой цветущих деревьев». На фоне ее темно-зеленой листвы очень красиво выглядят крупные 30-сантиметровые соцветия, состоящие из двух десятков ярких крупных цветков. Из-за высокой декоративности амхерстию нередко культивируют в тропиках. Листья ее всего за несколько дней достигают метровой длины.

Еще более быстрыми темпами растет бамбук. Так, например, побеги этого растения увеличиваются за минуту на 0,6 миллиметра, за час — на 3,6 сантиметра, за сутки — на 86,4. Бывает так, что за одну ночь на пустом месте появляется молодая бамбуковая роща высотой по колено. Анекдотичный случай произошел с неким охотником, расположившимся на ночлег в бамбуковых посадках. Перед сном он повесил свою шляпу на соседнее растение, а утром никак не мог ее достать. Константин Паустовский в повести «Бросок на юг» писал:

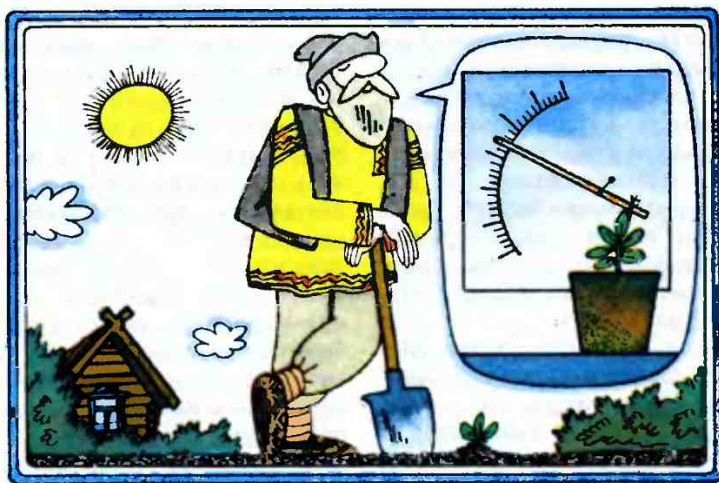
«Побеги бамбука проламывали мостовые. За одну ночь они вытягивались на метр, а то и больше».

Почему же между отдельными видами растений существует такая значительная разница в темпах роста? Может быть, у быстрорастущих особей клетки интенсивнее делятся? Оказалось, дело не в этом (как правило, в течение суток каждая клетка зоны роста удваивается как у быстрорастущих, так и у медленнорастущих видов), а в необычайно большой длине зоны роста. Так, например, у медленнорастущих растений в росте участвует лишь кончик стебля длиной всего 0,6 сантиметра, в то время как у бамбука задействован иногда 60-сантиметровый участок стебля.

Следует уточнить, что у бамбука, как и у всех других злаков, участок роста располагается не в одном месте, а в нижней части каждого междоузлия. Благодаря этому стебель растения достигает своей окончательной величины (30 метров) за несколько месяцев, тогда как многим деревьям для достижения той же цели понадобилось бы несколько десятков лет.

Очень быстро растет и эвкалипт. За семь лет его семя превращается в дерево высотой 19 метров и окружностью ствола 1,5 метра. О высоте этих гигантов говорилось в разделе «Много ли воды испаряют растения?».

Еще один представитель быстрорастущих деревьев — альбиция серповидная из семейства мимозовых (*Albizia*



falcataria). Ее ближайшая родственница альбиция молуккская (*A. moluccana*) всего за год достигает высоты пять-шесть метров, а в возрасте шести лет — 25 метров при толщине ствола на уровне человеческого роста 20—25 сантиметров.

Настоящий рекордист по темпам роста — гриб диктиофора, о котором мы говорили в разделе «Лесные и морские фонари».

Для наблюдений за скоростью роста растений обычно используют особые приборы — ауксанометры. Простейший ауксанометр представляет собой крепкую соломинку, закрепленную на вертикально ориентированной доске. Булавка служит осью, вокруг которой она поворачивается. Длинный конец соломинки движется вдоль шкалы, начерченной на бумаге, а короткий закрепляется на верхушке быстрорастущего растения при помощи мягкой нитки. Если в комнате достаточно тепло и почва хорошо увлажнена, то через некоторое время можно увидеть, что соломинка передвигается вдоль шкалы, а это указывает на наличие роста.

Ученые используют более совершенные ауксанометры, позволяющие измерить рост растений в течение непродолжительного промежутка времени. Особенно чувствительные приборы сконструированы

индийским физиологом растений Джагдишем Чандрой Босом. Они фиксируют изменения в росте растений за несколько минут.

### **«Поющие» и «рыдающие» растения**

Александр Трифонович Твардовский в стихотворении «За распахнутым окном» писал:

*Слышал, как едва-едва  
Прошумела липа,  
Как внизу росла трава  
Из земли со скрипом.*

Слова о растущей со скрипом траве воспринимаются как поэтический образ, гипербола, хотя достопочтенный барон Мюнхгаузен утверждает, что это истинная правда:

— Что ты тут делаешь? — спросил я его.

— Слушаю, как в поле растет трава! — ответил он.

— И слышишь?

— Отлично слышу! Для меня это сущий пустяк!

Оказывается, прославившийся своими фантастическими выдумками барон не так уж далек от истины. В бамбуковой роще во Вьетнаме в теплое влажное утро можно услышать повизгивания, стенания и плач. Местные жители утверждают, что эти звуки издают молодые быстрорастущие побеги, пробивающие себе путь сквозь кроющие листья и влагища.

Бамбук растет очень быстро, и из-за возникающего трения появляются эти пугающие звуки. Правда, звуки, раздающиеся в бамбуковых зарослях, могут возникать и по другой причине. В малайской и яванской классической литературе часто упоминается поющий бамбук. Так, в «Сказании о Санг Боме» говорится: «Шмели слетались высасывать нектар из цветов, их жужжание было похоже на звуки поющего бамбука и трогали сердце тех, кто слышал его». В данном случае речь идет об особом виде бамбука, издающем нежные звуки при дуновении ветра. В старину его применяли в качестве любовного зелья.

Некоторые растения издают звуки во время роста цветков. На острове Бугенвиль в Тихом океане в болотах растет рыдающее дерево, или заурауйя (*Sauvaia rugans*). Его цветки, раскрываясь, порождают характерный рыдающий звук.

Люди давно уже подметили, что некоторые растения «музыкальны», и сложили о них легенды. Так, по-видимому, родилась сенегальская народная сказка «Говорящее дерево».

А нельзя ли в самом деле с помощью чувствительных звукоулавливателей «подслушать», как растет трава, или, допустим, как прорастают в почве посеянные семена? Возможно, по характеру звуков

удастся определить физиологическое состояние проростков.

### Сад Тартарена

В Японии с давних времен распространено искусство выращивания в домашних условиях карликовых растений. Оно получило название «бонсай», то есть «растущий на подносе». Абрикос, ель, клен, сосна, кедр, выращиваемые в небольших сосудах, достигают в возрасте 400 лет 50—100 сантиметров. Культура карликовых деревьев настолько популярна в стране восходящего солнца, что стала неотъемлемой частью японского быта и культуры. Рассказывают, что, когда одному знатному самураю пришлось бежать из своей страны, он пренебрег многими сокровищами, предпочтя им несколько карликовых деревьев, полученных в наследство.

Впервые японские карликовые деревья появились в Европе во второй половине XIX века на всемирных выставках в Вене, Париже и Лондоне, где вызвали большой интерес. По-видимому, Альфонс Доде видел их, и они послужили прообразом обитателей сада Тартарена, описанного в «Тартарене из Тараскона»: «О сад Тартарена! Другого такого не было во всей Европе! Ни одного местного дере-



Японские карликовые деревья.

ва, ни одного французского цветка, сплошь одни экзотические растения: камедные деревья, бутылочные тыквы, хлопчатник, кокосовые пальмы, манго, бананы, пальмы, баобаб, индийские смоковницы, панданусы, берберийские фиговые деревья, — можно было подумать, что вы в Центральной Африке за десять тысяч миль от Тараскона. Конечно, все это не достигало здесь своей естественной величины: так, например, кокосовые пальмы были ничуть не выше свеклы, а баобаб (дерево-великан, *Argos gigantea*) превосходно чувствовал себя в горшке из-под резеды».

Карликовое садоводство зародилось не в Японии, а в Китае более тысячи лет назад. Почему же мы называем карликовые сады японскими? Дело, по-видимому, в том, что в Японии выращивание карликовых деревьев стало нас-

тоящим искусством. Что же касается Китая, то утверждают, будто бы карликовые сады заботливые мужья создавали для своих жен, ноги которых, изуродованные пеленанием, не были приспособлены для прогулок по настоящим садам.

Австрийский физиолог Г. Молиш считал, что карликовость в данном случае обусловлена физиологическими причинами — недостатком питания и воды, а также ограниченным размером сосудов, в которых выращивались растения. Поскольку между размером корней и величиной надземной части существует определенная зависимость, то и крона получается очень небольшой. Кроме того, почву японцы утрамбовывают и добавляют в нее щебень. Слишком быстрорастущие ветви обрезают, причем кроне придается специфическая форма.

Несмотря на недостаток питания, карликовые растения (слива, вишня, айва, жасмин и другие) очень обильно цветут.

Изучение растений в естественных природных условиях подтверждает мнение Г. Молиша. И в самом деле, у многих растений, обитающих на сухих каменистых почвах, обычно очень жалкий рост. В этих условиях они зацветают, развив лишь очень небольшую надземную массу. Наблюдения за природными карликами, по-видимому, и послужили основанием для разведения декоративных карликовых садов. Поскольку в данном случае в основе карликовости лежат физиологические, а не генетические причины, этот признак не передается по наследству и семена, полученные от карликовых растений, дадут проростки, которые в нормальных условиях выращивания станут обычными высокорослыми особями. Таким образом, для бонсай не требуются какие-то особые экзотические растения, достаточно взять семена обычных деревьев — яблони, сливы, сосны, пихты, дуба, можжевельника и, пользуясь несложными инструментами и имея определенные навыки, сформировать из появившихся всходов карликовые деревца. Особенно популярна у японцев слива. Их не смущает даже то, что она зацветает

только на 18-м году жизни. Долгое ожидание компенсируется обилием цветков, образующихся в разгар зимы. Слива — олицетворение жизнерадостности среди невзгод. Вишня, камелия, мелкоплодная яблоня, цитрусовые — также любимые японцами породы.<sup>1</sup>

Помимо японских карликовых деревьев к физиологическим карликам можно отнести целый ряд других, возникающий под действием тех или иных внешних факторов. Так, например, семена персика, которые выдерживали при высоких температурах в первую неделю проращивания, дали карликовые растения, которые сохраняли это свойство в течение десяти лет. Развитие карликовости у персиков можно предотвратить как действием низких температур, так и обработкой прорастающих семян раствором гиббереллина — регулятора роста растений.

Если выделить зародыш из свежесобранных семян яблони, вишни, персика, дурнишника, лимонника, бересклета и некоторых других растений и культивировать их на искусственной питательной среде, то

<sup>1</sup> Читателям, пожелавшим более подробно ознакомиться с искусством бонсай, можно порекомендовать книгу Ф. Эрголл «Выращивание карликовых деревьев по японскому способу» (М.: Лесная промышленность, 1978).

вырастут карликовые растения. Карликовость в этом случае — результат недоразвития зародыша. Под влиянием низких температур в семенах происходят физиологические изменения, способствующие нормальному росту и развитию зародышей.

Карлики возникают также в условиях очень интенсивного освещения. Под действием сильного света в растениях накапливаются особые вещества, которые ингибируют (задерживают) рост и приводят к формированию карликовых особей.

В отличие от физиологических генетические карлики обладают внутренне обусловленным механизмом этого явления и при размножении порождают себе подобных. Известны сорта гороха, кукурузы и других растений, которые дают очень небольшую вегетативную массу. Такие формы встречаются также среди декоративных растений: гераней, цинерий, незабудок, циний, тагетесов и других. Поскольку причина их появления не установлена, а признак карликовости у этих растений передается по наследству, можно полагать, что мы имеем дело с наследственными изменениями — мутациями.

В природе карликовые растения встречаются в большом количестве в тундре, образуя низкорослые «леса» высотой

до полуметра и даже ниже. Обитательница этих «лесов» — береза карликовая (*Betula nana*) достигает высоты 20—80 сантиметров и лишь в исключительных случаях — 120. Это низкорослый ветвистый кустарник с узловатыми приподнимающимися побегами, с округлыми листьями длиной до 1—1,5 сантиметра и короткими (до одного сантиметра) сережками, произрастает он на сфагновых болотах. Интересно, что в этих местах грибы подберезовики иногда выше берез, поэтому их называют надберезовиками. Растут тундровые растения очень медленно. Так, например, карликовый можжевельник в возрасте 544 года имел при основании толщину стебля, равную всего 8,3 сантиметра.

Карликовость характерна не только для древесных, но и для травянистых растений тундры, которые нередко образуют плотные подушки (камнеломка бесстебельная, крупка альпийская и др.). И это не случайно. Такая форма имеет наименьшую поверхность, и поэтому растение выделяет в окружающую среду тепло и влагу в незначительных количествах.

Карликовые растения тундры возникли в ходе длительной эволюции. Они лучше приспособлены к суровым условиям существования, чем высокорослые деревья, кус-

тарники и травы. Зимой их тело покрывается слоем снега, который предохраняет ткани от обезвоживания под влиянием сорокаградусных морозов и сильных ветров.

Высоко в горах также встречаются растения-карлики, например карликовые ивы. Обитающая в высокогорьях Центральной Европы ива травянистая (*Salix herbacea*) вырастает не выше 10 сантиметров. Ее деревянистый стебель извивается среди мхов и камней, наружу выставлены лишь округлые зубчатые листья длиной 1—2 сантиметра и небольшие сережки. Лишь немногим крупнее ива тимьянолистная (*S. serpyllifolia*) и ива притупленная (*S. hexusa*), произрастающие в Альпах.

Растения, обитающие высоко в горах, находятся в трудных условиях. Короткий сезон вегетации, низкие температуры почвы, иссушающее действие ветров создают весьма неблагоприятную обстановку для их роста. Кроме того, здесь высокая интенсивность освещения, обилие ультрафиолетовых лучей. В результате этого деревья в возрасте нескольких сотен лет достигают размеров сильно ветвистых кустов («деревья эльфов»). Выше границы леса в горах травянистая растительность также становится карликовой. Там можно встретить горечавку бесстебельную (*yentiana*

*asaulis*), возвышающуюся над землей на два-три сантиметра. Во время цветения из середины ее листовой розетки поднимается большой (высотой до 6 сантиметров) великолепный синий цветок.

Карлики тундры передают признак низкорослости по наследству. При выращивании арктических растений в других географических зонах они сохраняют этот признак. Иными словами, он является наследственно закрепленным.

Почему растения-карлики имеют очень замедленные темпы роста? Установлено, что рост человека регулируется системой гормонов — веществ высокой физиологической активности, которые вырабатываются железами внутренней секреции. Из школьного курса анатомии, физиологии и гигиены человека известно, что гипофиз — железа, расположенная под основанием головного мозга, — вырабатывает гормон роста. Недостаток его в организме приводит к тому, что взрослый человек достигает лишь размеров ребенка 5—6-летнего возраста. Нечто подобное происходит и с растениями. У них точно так же, как у человека и животных, вырабатываются гормоны, которые носят название фитогормоны (от слова «фитон» — растение), то есть растительные гормоны. К их числу относятся и гиббереллин. Растения кар-

ликовых сортов гороха, кукурузы, ипомеи и других видов обладают слабой способностью к синтезу этого фитогормона. Особенно сильно тормозит образование гиббереллина у этих растений свет. Вот почему разница в росте между карликовыми и нормальными растениями особенно заметна при выращивании на свету высокой интенсивности, тогда как в темноте она незначительна.

При опрыскивании карликовых растений раствором гиббереллина у них начинается настолько сильный рост стебля, что они быстро догоняют по высоте нормальные экземпляры. В связи с этим карликовые формы широко используются в качестве биологической пробы для обнаружения гиббереллиноподобной активности различных химических соединений, а также для определения гиббереллина в растительных тканях.

Не следует думать, что карликовость связана только с недостатком этого фитогормона. В некоторых случаях она может быть вызвана избытком особых веществ, названных ингибиторами роста. Установлено, что эти соединения образуются в самих растительных тканях и играют важную роль в регуляции ростовых процессов. Однако, когда их образуется очень много, рост растений резко тормозится и они становятся карли-

ками. Так, например, исследователи считают, что подавление ростовых процессов растений на больших высотах связано с накоплением фенольных ингибиторов роста в их тканях.

Следует добавить, что многие явления, связанные с карликовостью растений, изучены недостаточно. Между тем знание этого вопроса имеет не только важное теоретическое, но и практическое значение. В последние годы селекционеры особое внимание уделяют карликовым и полукарликовым формам, которые позволяют значительную массу органических веществ, образуемых в ходе фотосинтеза, накапливать в наиболее ценных органах, например в колосе. В ряде мест начали выращивать так называемые сады короткого цикла плодоношения, которые зацветают не на 12—15-м году жизни, как обычно, а значительно раньше. В основе новой технологии использование карликовых яблонь типа «Парадизка-9». Это позволяет делать очень густые посадки — девять тысяч деревьев на гектар.

Такие сады значительно экономнее используют почву, влагу и удобрения. Высокая урожайность и экономичность — главные их достоинства.

Надо также отметить, что в садах короткого цикла

плодоношения значительно облегчается труд садовода, особенно при уборке урожая. В связи с этим познание физиологических, экологических и генетических механизмов карликовости стало очень актуальным.

### **Сказочная репка на современных полях**

Многие читатели помнят, очевидно, сказку о том, как из посаженного в подполе семени гороха выросло растение таких размеров, что пришлось прорубать крышу. В мифах и сказках разных народов очень часто фигурируют растения, поражающие воображение своими исключительными размерами. По-видимому, они вдохновили Э. Распэ, автора книги «Приключения барона Мюнхгаузена», и он привел следующий случай из жизни бывалого барона: «К счастью, я вспомнил, что в Турции есть такой огородный овощ, который растет очень быстро и порой достигает до самого неба. Это — турецкие бобы. Ни минуты не медля, я посадил в землю один из таких бобов, и от тотчас же начал расти. Он рос все выше и выше и вскоре дотянулся до луны!».

В пятидесятой саге сборника финских народных сказаний «Калевала» описывается необычайная ситуация. Девушка Марьятта

*Видит ягодку на горке;  
На полянке та брусничка  
И похожа на бруснику,  
Но стоит она так странно:  
Снизу брать — высоко слишком,  
С дерева — так слишком низко.*

По-видимому, речь идет о брусничнике высотой выше человеческого роста. Между тем обычная брусника бывает не выше 8—15 сантиметров и лишь в случае произрастания побегов по гнилому пню вытягивается до одного метра.

В «Правдивой истории» римского писателя Лукиана описываются корабли тыквопиратов, которые были сделаны из плодов тыквы и имели в длину 60 локтей<sup>1</sup>. Листья же этого растения служили парусами. Разумеется, это вымысел. Удивительно то, что и в сказках индейцев Латинской Америки можно встретить сюжет на тему о гигантской тыкве: один из героев вырастил тыкву, которую нельзя было поднять. Она так придавила его тещу, что вредная старуха не могла даже шевельнуться и чуть не погибла.

В китайской легенде о Хоу И говорится, что в древние времена у Восточного моря произрастало дерево с двумя стволами. Обхватить его ствол могли только несколько сотен

<sup>1</sup> Локоть — древнерусская мера длины (XI—XVI вв.), равная 38—46 сантиметрам.

человек. Каждый лист этого дерева был величиной с маленькую лодку, а жилки на нем — толще руки человека. Это священное дерево называлось «фусан».

В древнеиндийской эпической поэме «Махабхарата» один из сыновей богини Винаты Гаруда стал царем пернатых. Обладая исключительной силой, он схватил когтями одной лапы слона, а другой — черепаху и высоко взмыл в воздух. Обычные деревья не могли принять на себя такую тяжесть, и тогда Гаруда направился к деревьям-гигантам. Очень высокое и огромное дерево предложило спускавшемуся со скоростью мысли Гаруде сесть на его большую ветку. Однако, когда птица с грузом опустилась на указанную ветку, та сломалась. Чтобы не навредить людям, Гаруда подхватил ее и, выбрав пустынное место, выпустил гигантскую ветвь. С шумом падая, она сломала множество деревьев.

Подобных примеров о гигантских растениях, созданных воображением разных народов, можно привести немало. Люди издавна мечтали о выращивании «больших-пребольших» растений, которые могли бы полностью удовлетворить их потребности в пище. Так родилась русская народная сказка о репке, которую никак не могли вытащить из

земли дедка, бабка, внучка, Жучка и кошка. Если бы не прибежала им на помощь ловкая Мышка-иорушка, пришлось бы репке оставаться на зиму в земле. Поводом для таких мечтаний служили редкие случаи появления гигантских растений на полях и огородах.

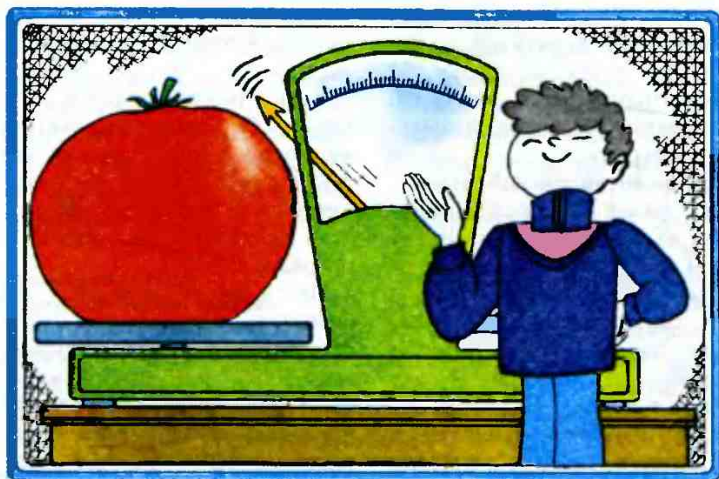
Не следует думать, что огромные растения под стать сказочным богатырям вырастали лишь в былые времена. И сейчас время от времени в газетах публикуются сообщения о неожиданном появлении на свет гигантских растений. Приведу несколько примеров.

В газетах сообщалось, что французский овощевод вырастил небывалого размера спаржу: длина гиганта была 122 сантиметра, а масса 6 килограммов 480 граммов. Хотя спаржа культивируется во многих странах с незапамятных времен, однако овощ такого размера был зарегистрирован впервые.

А в пленочной теплице жителя Петропавловска-Камчатского вырос кабачок длиной 107 сантиметров. Рекордной массы — 24 килограммов — достигла капуста на поле в Западной Германии.

Гигантский помидор массой почти 2 килограмма снял зоотехник из болгарского города Свиштова.

Пенсионер из села Горки Куйбышевской области взрас-



тил свеклу, вытаскивать которую из земли пришлось всей семьей: она весила 10 килограммов.

В Бразилии в местечке Жарагуаду-Сул штата Санта-Катарина у крестьянина вырос огурец массой 30 килограммов и длиной 132 сантиметра.

Путешествуя по Японии, известный советский ученый академик Н. И. Вавилов непременно хотел увидеть знаменитую сахурадзимскую редьку, которую он называл шедевром мировой селекции. Лучшие ее экземпляры достигают массы пуда и даже больше. Прибыв на остров Сахурадзима, ученый увидел, как рабочие на тачках везли по две-три редьки. Корнеплоды можно было принять за крупных поросят.

Не так давно в газетах сообщалось, что на ферме,

расположенной на острове Кюсю, выросла редька массой 20 килограммов. Ею можно угостить сто человек. Это растение отличается огромными нижними листьями, достигающими метровой длины.

В книге «Пять континентов» Н. И. Вавилов писал, что, путешествуя по арабским базарам и огородам, он натолкнулся на огромные луковицы обыкновенного лука, масса каждого из которых достигала двух килограммов. Проблема гигантизма культурных растений очень занимала ученого. К сожалению, он не успел обобщить свои наблюдения, а после его смерти никто обстоятельно не занимался этой проблемой.

Ну а какой бывает репка? Одной работнице обогатительной фабрики свинцово-цинкового комбината в городе

Адрасмане Таджикской ССР удалось вырастить репу мас-сой восемь килограммов. Однако это местный рекорд. На одной из ферм в пригороде Бильбао (Испания) выросла репка, масса которой составила 12,5 килограмма.

А теперь познакомимся с примерами гигантизма у дикорастущих представителей. Первое, что бросается в глаза, — связь этого явления с определенными районами земного шара.

Травянистые и древесные растения-гиганты можно наблюдать на Дальнем Востоке. Каждый, кто был на Сахалине, мог заметить, что травы здесь растут буквально не по дням, а по часам. Благодаря интенсивному росту за короткое время они достигают таких размеров, что несведущий человек легко путает их с кустарниками.

Очень трудно назвать травой стройное, похожее на пальму растение высотой до трех-четырёх и даже до пяти метров. Толщина его стебля у основания почти такая же, как у телеграфного столба. Пышные листья простираются на два метра. Между тем это растение из семейства зонтичных — дудник медвежий (*Angelica ursina*). Местная крапива вырастает выше человеческого роста. Непролазные заросли, скрывающие людей, образует на Сахалине, Курильских островах и в

Японии белокопытник японский (*Petasites japonicus*). Его родовое латинское название образовано от греческого слова «петасос», в переводе — «широкополая шляпа от солнца». О нем рассказывается в древней легенде аборигенов айнов: «Шалаши айнов прочь унесло, мокли под дождем женщины и старики, мокли дети. И вдруг из воды трава поднялась высотой в шалаш. Сел каждый айн под лист, а дети по четверо уместились...»

Листья белокопытника и в самом деле велики. Они достигают в диаметре 150 сантиметров, и жители Дальнего Востока в случае дождя нередко используют их вместо зонта. Листовые пластинки располагаются на двухметровых полых внутри черешках. По вкусу гигант напоминает слегка подсахаренный огурец. Нанайцы, удэгейцы, ульчи используют его для утоления жажды. Известный путешественник, исследователь Дальнего Востока В. К. Арсеньев нередко находил кров под этим растением, использовал его в пищу. Животные (благородные олени, медведи) с удовольствием лакомятся им.

Растет белокопытник на Дальнем Востоке в долинах горных рек, в сырых местах вдоль лесных ручьев.

На Камчатке встречаются травы-великаны: какалия (недоспелка), крестовник, а из

злаков — вейник, мятлик, овсяница...

В книге В. К. Арсеньева «В дебрях Уссурийского края» мы неоднократно сталкиваемся с описаниями гигантизма растений. Так, например, характеризуя лес в долине реки Динзахе, автор отметил: «Некоторые деревья поражают своей величиной. Измеренные стволы их в обхвате на грудной высоте дали следующие цифры: кедр — 2,9, пихта — 1,4, ель — 2,8, береза белая — 2,3, тополь — 3,5 и пробковое дерево — 1,4 м.» В долине реки Синанцы В. К. Арсеньева удивили своими размерами тополь и кедр. Сорокалетний молодняк, растущий под их покровом, казался жалкой порослью. «Сирень, обычно растущая в виде кустарника, здесь имела вид дерева в пять саженей высоты и в два фута в обхвате».<sup>1</sup> Все эти факты свидетельствуют о том, что Дальний Восток является местом произрастания гигантских растений.

Интересно отметить, что многие европейские виды растений, впервые попавшие на Дальний Восток, здесь растут более интенсивно, чем у себя

<sup>1</sup> Сажень — древнерусская мера длины, расстояние размаха рук от кончиков пальцев одной до кончиков пальцев другой.

Фут — единица длины в различных странах. В английской системе мер и в России 1 фут = 0,3048 м.

на родине. Многие культурные растения в условиях Сахалина дают стебель в два-три раза больший, чем в других районах нашей страны. При этом интенсивность роста возрастает из года в год.

Напротив, растения, перенесенные с Дальнего Востока в европейскую часть страны, заметно тормозят свой рост даже на самых плодородных почвах, вырождаются, утрачивают свойство гигантизма. Так, если на юге Сахалина крепкие стебли гречихи сахалинской (*Polygonum sachalinense*) достигают высоты трех — пяти метров и образуют труднопроходимые заросли, то в Подмоскovie это декоративное растение значительно мельче.

В Невельском, Холмском районах, около города Южно-Сахалинска, вдоль ручьев и рек, а также на юге острова Кунашир произрастает кардиокринум Глена (*Cardocrinum glehnii*) — одно из замечательнейших растений Дальнего Востока, занесенное в Красную книгу СССР. Кистевидные его соцветия, образованные двумя-тремя десятками воронковидных зеленовато-белых ароматных цветков, вздымаются на высоту двух метров, а красивые почковидно-сердцевидные листья образуют розетку диаметром до одного метра. С 1954 года растение выращивается в Главном Ботаническом саду АН СССР,

кроме того, оно испытано в культуре в Ленинграде, Донецке. В условиях культуры кардиокринум Глена имеет меньшие размеры по сравнению с особями в природе. Это касается и высоты стебля (в культуре она составляет только один метр), и величины листьев и соцветий.

Эти факты говорят о том, что гигантизм дальневосточных растений обусловлен действием внешних факторов.

Растения-великаны встречаются не только на Дальнем Востоке, но и в других местах земного шара. Так, например, в восточных районах Африки на высоте 3600—4700 метров над уровнем моря можно встретить гигантские лобелии, крестовники, верески.

Крестовники встречаются во всех частях земного шара, но в Африке они достигают небывалой высоты — 20 метров — и выглядят, как настоящие деревья. В кратере горы Элгон Л. Браун, автор книги «Африка», видел лес из этого растения, протянувшийся на несколько километров. Крестовники на горах Кения, Рувензори, Килиманджаро представляют собой деревья с толстыми стволами, вздымающимися на высоту до 7,5 метра. На кончике каждой ветки располагаются розетки листьев. Нижняя часть листа мягкая и опушенная.

Лобелии достигают здесь высоты 2,3—2,6 метра. Расте-

ния еще больших размеров встречаются на Эфиопском (Абиссинском) нагорье на высоте две тысячи метров над уровнем моря. Некоторые африканские виды, например лобелия ланурийская (*Lobelia lanuriensis*) вызвышаются на восемь — десять метров. Это настоящие травы-гиганты. Лобелии относятся к монокарпическим растениям: цветут раз в семь лет, а затем погибают.

Гигантские верески высотой 20 метров также часто встречаются в этих местах, образуя редкостойные леса. Вот как описывает ботаник П. Синдж свои впечатления о пребывании на горе Рувензори среди этих огромных растений: «Мы внезапно очутились в зоне древовидных вересков. Вообразите заколдованный лес, состоящий из обычного вереска, но увеличенного в 50 раз; кустики высотой 30 см здесь превратились в 15-метровые деревья, искривленные и принявшие жуткие формы... Жесткие султаны лобелий преграждали нам путь, точно часовые с пиками. В современном мире такие растения кажутся неуместными, они скорее принадлежат к окружению доисторического человека или даже гигантских ящеров и птеродактилей...

Мое внимание привлек золотистый *Sedum*<sup>1</sup> поистине ко-

<sup>1</sup> Очиток.

лоссальных размеров, привольно раскинувшийся на большом камне. Вересковый лес становился все более и более похожим на заколдованные леса старинных сказок... Затем меня привел в восторг древовидный зверобой (*Hupericum bequaertii*). Цветки были величиной с тюльпан и изящно свисали с кончиков веток, точно оранжевые фонарики. Буйный рост гигантских крестовников и лобелий поражает и восхищает».

Ботаники, описывающие растительность Восточной Африки, постоянно сравнивают гигантские растения тех мест с видами, произрастающими в Европе. Следует заметить, что в данном случае речь идет о разных видах, о разных жизненных формах растений. Однако это замечание никоим образом не отрицает проблему гигантизма. Ведь огромных размеров здесь достигает не одно или два растения, а многие. То обстоятельство, что гигантизм некоторых растений — выражение особой жизненной формы — не снимает, однако, вопроса, каким образом и почему эта жизненная форма возникла в ходе эволюции именно в данном месте.

На Гавайских островах произрастает самый высокий подорожник — подорожник лучший. Рядом с ним можно увидеть четырехметровую герань, пятиметровый паслен, огромную фиалку. Есть на Гавайях

похожие на пальмы древовидные лобелиевые, достигающие в высоту 15 метров, например обитающая во влажных лесах цианея мелкокашечуйчатая (*Cyanea leptostegia*).

На Памире также немало растений-великанов. Вишня, алыча, тутовник так обильно плодоносят здесь, что осенью производят фантастическое впечатление. Советский ученый О. Е. Агаханянц в книге «За растениями по горам Средней Азии» писал: «Есть на Бартанге и ботанические загадки. Когда спустились от Сарезского озера, то обратили внимание на удивительные размеры кустарников. Это были кустарники-гиганты. Они примостились в укромных местах и выглядели великанами по сравнению со своими сородичами из других менее высоких районов. Кусты барбариса достигали 4 метров в высоту, тогда как обычно он редко превышает 2 метра. Втрое больше обычной была и высота мирикарий, жимолостей, дикой вишни. Прямо гулливеры какие-то. Любопытно, что чуть ниже, всего в трех сотнях метров от этих гигантов, те же виды кустарников имели нормальные, привычные размеры».

На «крыше мира» хорошо прижились растения Средней и Восточной Азии, Европы, Крыма, Северной Америки. Многие переселенцы обладают весьма интенсивными тем-

пами роста. Так, например, дуб вырастает здесь за вегетационный период на три метра и уже на четвертом году иногда дает желуди. С одного куста помидоров можно собрать 11,5 килограмма плодов. У картофеля клубни достигают массы четырех килограммов. На одном стебле подсолнечника можно насчитать десять корзинок. В 1916 году Н. И. Вавилов отправился в экспедицию на Памир. Здесь, недалеко от Шунгана, он увидел удивительное поле гигантской ржи, стебли которой, твердые и неполегающие, были высотой в рост человека.

Растения-гулливеры представляют исключительный интерес для науки. Дело в том, что искусственно вызванный гигантизм возделываемых видов может дать невиданные урожаи. Однако мы еще далеки от понимания причин этого явления. Исследователи предполагают, что оно связано с особенностями микроклимата, режимом грунтовых вод, условиями освещения, в частности с интенсивным ультрафиолетовым облучением высокогорных растений. Некоторые авторы полагают, что крестовники и лобелии Восточной Африки — это обычные формы, достигшие больших размеров лишь потому, что рядом не было конкурирующих высокогорных растений. Тот факт, что интродуци-

рованные (перенесенные из других мест) растения наряду с аборигенными видами также усиливают темпы роста в указанных местах, говорит против этого предположения. Значит, дело все-таки в условиях, существующих в этих районах земного шара? Но тогда какие это условия? Можем ли мы воспроизвести их для достижения резкого прироста урожая?

На первый взгляд кажется вероятной зависимость интенсивности роста растений от степени освещения. Согласно данным некоторых исследователей, с увеличением высоты на каждую тысячу метров интенсивность освещения возрастает приблизительно на 45 процентов.

Установлено также, что высоко в горах растения становятся низкорослыми. Так, например, сосны, произрастающие на вершине Крымских гор, гораздо ниже, чем у подножья.

Еще в 1884 году известный французский ботаник профессор Сорбоннского университета Гастон Боннье, выращивая одни и те же виды в горах, на равнине, установил, что на высоте 2300—2400 метров над уровнем моря растения дают карликовые формы, тогда как на равнинных участках — обычные длинные стебли.

Имеются достоверные экспериментальные данные, согласно которым по мере увеличе-

ния интенсивности освещения растения становятся карликовыми и приобретают розеточную форму.

Исследователи предположили, что на рост растений в горах влияет ультрафиолетовая радиация. Действительно, на высоте 2300 метров над уровнем моря ультрафиолетовое излучение превышает обычную для равнин норму в полтора раза, а на высоте 4450 — в два. Опыты на Памире показали, что в этих условиях одни растения приобретали непривычно большие размеры, другие испытывали угнетение, третьи вообще не реагировали на дополнительное облучение. Увеличение дозы ультрафиолета приводит к пробуждению большого количества почек, которые трогаются в рост. В результате этого появляется много побегов.

Однако считать ультрафиолетовые лучи главным индуктором гигантизма растений нельзя. Во-первых, их действие, как мы видели, неоднозначно. Многие растения при этом угнетаются, у них становятся более короткими побеги, возникают уродливые формы. Во-вторых, гигантские экземпляры обнаруживаются иногда в местах с низким уровнем ультрафиолетовой радиации. Например, в некоторых районах Анд, большую часть года окутанных туманом, нередко можно обнаружить растения-великаны. Гигантские древо-

видные герани, достигающие высоты трех и более метров, произрастают в столь же влажных условиях в горных местах на Гавайях. Ботаник О. Дегенер в 1930 году писал:

«Некоторые из этих гавайских гераней ... почти весь день купаются в облаках». Наконец, исполинские растения произрастают не только в горах. На Дальнем Востоке они встречаются сравнительно низко над уровнем моря. Едва ли все они получают избыток ультрафиолетового излучения.

Анализируя проведенные факты, мы обратили внимание на то, что такие растения обитают в местах с высокой вулканической активностью и в районах интенсивного горообразования, то есть там, где происходит перемещение веществ из глубин Земли на ее поверхность.

В самом деле, Дальний Восток расположен на территории тихоокеанского вулканического кольца, богатой полезными ископаемыми. Здесь открыты месторождения олова, полиметаллов, вольфрамовых руд. Вместе с тем мы хорошо знаем, что для нормального роста растения нуждаются в целом комплексе микроэлементов. По-видимому, обилие некоторых из них в этих местах способствовало появлению растений-гигантов. Мы слишком преувеличиваем значение азота, фосфора и калия в получении высоких

урожаев, что выражается в нашей приверженности к интенсивным технологиям. Между тем наблюдения показывают, что в горах на, казалось бы, неплодородных каменистых почвах нередко возникает пышная растительность, и это наводит на мысль, что здесь растения исключительно экономно используют необходимые им макроэлементы.

В некоторых районах нашей страны можно встретить гигантские осины, листья которых достигают в диаметре 30 сантиметров. Это, по мнению исследователей, обусловлено наличием в почве тория. Интенсивный рост растений наблюдается и в местах с умеренным избытком бора.

Отмечено, что на кимберлитовых трубках, скрывающих алмазы, растения растут быстрее и выглядят лучше. Это наблюдение хорошо известно геологам и иногда используется ими в геологоразведочной практике в качестве ориентира, указывающего на кимберлитовые тела. Характерный внешний вид растений-индикаторов заметен даже на аэрофотоснимках. Предполагается, что кимберлитовые трубки содержат элементы, необходимые для них.

Еще в 1929 году Н. И. Вавилов обратил внимание на плодородные свойства вулканических пород. В книге «Пять континентов», объясняя гигантизм растений Средизем-

номорской области, он писал: «В Италии, невзирая на горькие уроки прошлого, земледельческое население и сейчас поднимается чуть ли не к самому кратеру вулкана, используя плодородные вулканические земли и пепел».

Но не только в Средиземноморье крестьяне предпочитали вулканические почвы. М. М. Василевский в книге «Рожденные огнем» отмечал: «Именно это плодородие во многом определило привязанности человека к легко обрабатываемым землям вулканических областей (особенно в Юго-Восточной Азии), несмотря на таящуюся опасность для жизни». С этим созвучно высказывание нашего прославленного путешественника В. К. Арсееньева, подчеркивающего в книге «В дебрях Уссурийского края» высокое плодородие почв Дальнего Востока: «Земля в долине Вай-Фудзине весьма плодородна. Крестьяне не помнят ни одного неурожайного года, несмотря на то, что в течение сорока лет пашут без удобрения на одних и тех же местах».

Вулканическая деятельность оказывает, по-видимому, определенное воздействие на растения. Так, например, жители острова Ява называют королевскую примулу «цветком смерти». Растет она на склонах огромного вулкана. Если «королева» зацветает,

значит, скоро будет извержение. Цветок оповещает местных жителей о предстоящем бедствии.

Академик АН БССР Е. Г. Коновалов объяснил феномен королевской примулы следующим образом. При землетрясении, как известно, возникают ультразвуковые волны. Под их действием ускоряется движение жидкости по капиллярам в 40—50 раз. Точно так же в ультразвуковом поле, возникающем перед извержением вулкана, резко возрастает скорость движения питательных соков по сосудам королевской примулы, в результате чего интенсифицируется обмен веществ и цветок смерти распускается.

Физиологи растений давно уже исследовали влияние ультразвука на семена. Оказалось, что ультразвуковая обработка семян пшеницы увеличивает поглощение ими воды, повышает содержание хлорофилла в листьях, ускоряет рост молодых корешков. Растения становятся более устойчивыми к неблагоприятным факторам среды — морозам и засухе. Все это послужило основанием для применения в практике сельского хозяйства ультразвуковой обработки семян с целью ускорения их прорастания и получения более дружных всходов. Следует, однако, иметь в виду, что звуки очень высокой частоты нередко вызывают угне-

тение растений: в этом случае клетки делятся с трудом.

Если эта гипотеза верна, то в районах вулканической и горообразовательной активности, где нередко возникают ультразвуковые колебания, следует ожидать ускорения роста растений. К сожалению, этот вопрос еще не выяснен.

Вместе с тем цветение королевской примулы может быть обусловлено сдвигами в химическом составе окружающей среды, которые наблюдаются перед извержением вулкана. Эти сдвиги могут сказываться на физиологическом состоянии растений.

Любопытно, что в китайской провинции Ляонин есть село, в котором средняя продолжительность жизни крестьян 83 года, что заметно выше среднего показателя по стране. Здешних жителей обходят такие болезни, как гепатит, рак и другие. Завидное здоровье в этом селе и у домашних животных. Ученые установили, что этот феномен обусловлен горой, возвышающейся рядом с селением. В ней они обнаружили 32 химических элемента, в том числе цинк, медь, железо, магний, кобальт, кремний. Систематическое потребление воды, истекающей из горы, способствует выведению токсинов, нормализации нарушенного обмена веществ, улучшению функционирования печени и желудка. Примечательно, что

горная порода благотворно воздействует и на растения: после ее внесения в почву деревья цветут и плодоносят раньше обычного.

По-видимому, из недр Земли в районах с вулканической и горообразовательной активностью выносятся на поверхность комбинации элементов, необходимые растениям. Поэтому именно здесь возникли новые формы, которые человек впервые брал для окультуривания. Отнюдь не случайно Н. И. Вавилов пришел к заключению, что в горных районах Эфиопии, Передней и Средней Азии, Китая, Индии, Кордильерах Северной Америки находились очаги древнейшего земледелия. Центрами видового разнообразия также стали горные области.

Изучение растительности прошлых геологических эпох показывает, что и в те далекие от нас времена росли растения-гиганты, например древовидные папоротники, лепидодендроны и сигиллярии. Пышное их развитие связано, безусловно, с климатическими условиями тех эпох. Не исключено, однако, что интенсивный рост растений определялся также особенностями минерального питания. Если это действительно так, то нынешние растения должны были бы расти на почвах каменноугольного периода более быстрыми темпами. Высказанное предположение подтверждает

экспериментально. Сотрудники Харьковского сельскохозяйственного института им. Докучаева и Украинского научно-исследовательского углехимического института предложили использовать шламы, накопившиеся при обогащении угля методом флотации, как удобрение. Внесение их улучшает структуру почвы и обогащает ее нужными для растений веществами. Достаточно одной обработки, чтобы поднять плодородие пашни. На удобренных шламами полях урожай увеличивается на 20—30 процентов.

У читателя может возникнуть представление, что любая гора — место произрастания растений-гигантов. Это не так. Вышедшие на поверхность горные породы не могут сразу же стать субстратом для растений. Они должны подвергнуться воздействию микроорганизмов, низших растений, чтобы элементы, заключенные в них, стали доступными для усвоения. На это необходимо время. В некоторых местах ценные для растений элементы мигрировали на равнину. Наконец, иногда горообразовательная и вулканическая деятельность, возможно, не сопровождается выносом на поверхность Земли важных для растительных организмов элементов. Во всех этих случаях гигантизма растений наблюдаться не будет. Важно собрать больше све-

дений о растениях-великанах, произрастающих в разных районах земного шара. Все-стороннее их изучение может дать в руки человека мощное средство управления ростом и развитием растений, которое позволит резко поднять урожайность сельскохозяйственных культур.

### На лунном грунте

Любопытно, что вещество, поступающее из космоса, также стимулирует рост растений. Один из поразительных результатов падения Тунгусского метеорита — ускорение роста деревьев после 1908 года. Доказано, что это явление присуще всем основным древесным породам, произрастающим в районе катастрофы в различных условиях — в низинах, на склонах гор, на маломощных песчаных почвах и на скованных вечной мерзлотой торфяниках. Оно характерно как для молодых деревьев, появившихся через 20—30 лет после взрыва, так и для старых, переживших его уже в солидном возрасте.

Земные растения в лунном грунте, доставленном на Землю американскими астронавтами Армстронгом и Олдрином, растут в три-четыре раза быстрее, чем в земном субстрате. Об этом, как сообщалось в газетах, и рассказал корреспондентам астронавт Джон Янг. Ученые открыли в

лунном грунте четыре новых минерала. В «луните» обнаружены 68 известных на Земле элементов, однако в других соединениях и в ином состоянии.

Не исключено, что в будущем лунный грунт будет доставляться на Землю как удобрение. Однако более реально использование вулканических пород в качестве субстрата для выращивания растений.

### Зеленые меломаны

Поэты и писатели гораздо раньше ученых подметили связь между птичьим пением и развитием растений. В стихотворении И. А. Бунина «Соловьи» читаем:

*А из лощин, где распускались  
Во тьме цветы, и из садов  
Лились и в чащах отдавались  
Все громче песни соловьев.*

В другом стихотворении «Весеннее» он вновь возвращается к этой теме:

*Налетят лесные птицы,  
Зашумят грачи, а с ними —  
Зацветут, зазеленеют,  
Оживут леса и рощи.*

Поэт Николай Рыленков в стихотворении «Шумлив напор весенних вод» высказался по этому поводу еще более определенно:

*Чтоб зацвести, земля должна  
Услышать голос соловьиный.*



Прозаики также отметили влияние звуков на рост растений. Тончайший знаток русской природы М. М. Пришвин в миниатюре «Лесной ручей» писал: «...и чудится, будто травы растут под музыку».

В древнем кахетинском предании «Лоза и соловей» сказано: «Однажды соловей с таким пылом свистел и заливался, что у лозы от страсти быстро стали расти ее зеленые усики».

Рассказывают, будто во время концертов арфистов, виолончелистов и скрипачей, проводившихся в Древнем Риме в садах богатых патрициев, на глазах изумленных слушателей раскрывались бутоны роз...

Растение с момента его появления сопровождают самые разнообразные звуки, которые ему отнюдь не безразличны.

Первые научные опыты по влиянию звуков музыкальных инструментов на рост растений были поставлены в 1917 году индийским ученым Д. Босом. Он установил, что проигрывание скрипичной музыки вызывает у растений довольно четко выраженную реакцию.

В 50-х годах появились работы других индийских ученых о влиянии музыки на гидриллу, стыдливую мимозу, десмодиум, бальзамин и бархатцы. Было установлено, что звучание скрипки вызывает заметное ускорение движения цитоплазмы в клетках гидриллы — растения из семейства водокрасовых. Через несколько минут после прекращения исполнения музыки скорость перемещения цитоплазмы восстановилась до первоначальной величины. Из школьных учебников ботаники и общей

биологи известно, что движение цитоплазмы имеет важное значение для перемещения веществ внутри клетки. Чем быстрее движутся вещества, тем интенсивнее протекает их обмен. Вместе с тем, чем интенсивнее обмен веществ, тем обычно быстрее растут растения. В связи с этим можно предположить, что факторы, благоприятствующие движению цитоплазмы, способствуют и росту растений.

Опыты над стыдливой мимозой, проведенные индийскими исследователями, подтверждают правильность этого предположения. Стыдливая мимоза — небольшое сорное растение тропических стран. Для нее характерна очень высокая чувствительность к различным раздражителям. Стоит слегка прикоснуться к ее сложному перистому листу, как небольшие листочки начинают быстро опускаться вниз. Растение как бы смущается от прикосновения. Вот почему эту мимозу называли стыдливой.

Точно такую же реакцию вызывает у нее сотрясение почвы и приближение к листу горящей спички. Для этого растения индийские ученые ежедневно в течение 25 минут проигрывали на скрипке мелодию старинной индийской песни, славящей рассвет — «Майю Мальвагула Рага». В результате опытные экземпляры в полтора раза обогнали в

росте контрольные, которые не прослушивали музыки.

Американские исследователи проводили опыты с кукурузой и соей. При круглосуточном воздействии музыкой эти культуры дали всходы на несколько дней раньше. Опытные растения по сравнению с особями, не обработанными музыкой, были более крепкими.

В экспериментах, поставленных Дороти Ретоллак (США), 10-дневные проростки выращивались в камерах фитотрона, где с помощью автоматики поддерживались на строго определенном уровне освещенность, влажность и температура. В первых контрольных камерах соблюдалась абсолютная тишина. Во вторых — звучала органная музыка Баха и индийские мелодии Рави Шанкара, в третьих — джазовая музыка ведущих американских композиторов, в четвертых — современная классическая музыка, и в остальных непрерывно играли ударные инструменты. Через три недели растения высушили и взвесили. Опыты показали, что в камерах, где проигрывались произведения Баха и индийская музыка, размер растений, их сухая масса оказались наибольшими по сравнению с другими вариантами, причем подметили, что стебли тянулись к источнику звуков. А вот рок-музыка и непрерывное звучание бара-

банов сдерживали рост растений, их стебли отклонялись прочь от источника интенсивных звуков.

Дело, разумеется, не в том, что одни растения «любят» фуги Баха и отрицательно относятся к поп-музыке. Скорее всего, они неодинаково реагируют на те или иные звуковые частоты, на интенсивность звуков. В самом деле, установлено, что на растения благотворно влияют звуки низкой частоты: рокот морских волн и грома, журчание рек, гудение шмеля. Бананы, например, лучше растут, если им по несколько часов в течение дня проигрывать музыку с преобладанием басовых нот. В опытах канадских ученых пшеница под влиянием басовой музыки дала в четыре раза больше боковых побегов по сравнению с той, которая росла в тишине. Высокие звуки оказались менее эффективными, хотя также повышали урожай. В то же время очень сильные звуки не только стимулируют рост растений, но, напротив, угнетают его: обработка ими декоративных культур замедляет их рост на 47 процентов. Когда шум достигал 100 децибел, некоторые растения даже увядали. Результаты этого опыта объясняют, почему рок-музыка отрицательно сказывается на темпах роста. И вполне естественно возникает вопрос: не вредна ли она и для человека?

Физиологи человека отвечают однозначно: да, вредна.

В 1979 году американский исследователь Дан Карлсон разработал методику стимуляции роста растений, названную им «Озвученный цветок». Она включала озвучивание растений и семян (музыка плюс высокочастотные сигналы 3—8 кГц) и внекорневую обработку раствором гиббереллина и микроэлементов. Следуя этой методике, удалось получить растение томата высотой 4,5 метра, на котором можно было насчитать 835 плодов, утроить урожай дынного дерева (папайи), манго и цитрусовых. Так, на одном растении папайи выросло 135 больших плодов вместо обычных 30—35. Бурным ростом реагировали на озвучивание озимая пшеница и салат. Изучение химического состава озвученных проростков пшеницы показало, что в них по сравнению с контрольными содержится в 20 раз больше витамина А, в пять раз больше витаминов С и В<sub>6</sub>, то есть именно тех соединений, которые играют очень важную роль в обмене веществ живых организмов. В озвученной люцерне и в семенах сои заметно возрастает содержание белка. Дан Карлсон организовал производство кассет с записью музыки, стимулирующей рост растений, поставил торговлю ими и питательными

растворами на солидную коммерческую основу.

В настоящее время ученые большое внимание уделяют звуковой обработке семян с целью стимуляции роста растений. Сотрудники университета штата Каролина (США) обнаружили, что шум реактивного двигателя ускоряет прорастание семян сахарной свеклы и репы. Исследователи предположительно объяснили это способностью звука разрушать внешнюю оболочку семян и активированием процессов жизнедеятельности.

Сотрудники кафедры лесных культур Сибирского технологического института добились стимуляции роста растений с помощью обыкновенного автомобильного гудка. Низкий, около 100 герц, звук улучшал всхожесть семян, повышал морозоустойчивость растений, ускорял темпы их роста. Так реагировали на автомобильный гудок лиственницы сибирская и даурская, сосна обыкновенная, клен ясенелистный. Однако для каждого вида необходимо свое определенное время обработки.

Сенсационным оказался тот факт, что и озвученная вода стимулирует рост растений. Однако результаты опытов по влиянию озвученной воды на растительные организмы нуждаются в тщательной проверке, поскольку довольно трудно найти в природе «неозвучен-

ную» воду: морской прибой, пение птиц, шум падающих камней, шелест листьев деревьев, наклонившихся над источником, — вот отнюдь не полный перечень факторов, «озвучивающих» воду в природной обстановке.

Не только высшие растения, но и дрожжевые клетки оказались небезучастными к музыке. Акустическая обработка в течение не более получаса привела к тому, что активность дрожжевых клеток заметно повысилась, — об этом говорит тот факт, что время брожения сократилось на два часа. Хлеб из озвученного теста оказался более качественным.

Звуковые сигналы могут быть использованы не только для усиления роста, но и для опыления растений в теплицах, где эта операция проводится вручную, путем встряхивания каждой цветочной кисти. Эту довольно трудоемкую работу надо проделывать ежедневно в течение всего периода цветения. Американские исследователи предложили ее механизировать. В теплицах, где выращивались помидоры, были установлены мощные свистки, приводимые в действие сжатым воздухом. Стоит включить такой свисток, как колебания воздуха приведут в движение тычинки, пыльники лопнут и пыльца попадет на рыльца пестиков.

Возможно, наступит время, когда над полями установят громкоговорители, которые будут исполнять «по заявкам» растений их «любимые» мелодии. В ответ на эту заботу пшеница и свекла, кукуруза и подсолнечник дадут человеку дополнительные миллионы тонн ценной продукции.

Можно предположить, что пение птиц в природе, например трели жаворонка над полем, является своего рода стимулятором роста растений. В пользу этого предположения свидетельствует то, что максимум пения птиц в средней полосе совпадает с периодом наиболее интенсивного роста растений. Однако для окончательного решения этого вопроса необходимы строго научные опыты.

### **Талая вода — стимулятор роста**

Полярники обратили внимание на тот факт, что при таянии льдов наблюдается бурное развитие фитопланктона. Дальнейшие исследования показали, что талая вода стимулирует рост и высших растений. По некоторым данным, она в 1,5—2 раза увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур. Такие результаты получены в опытах с огурцами и редисом, выращенными в теплицах.

То же самое наблюдается и в экспериментах с декора-

тивными культурами: если герань поливать не водопроводной, а талой водой, то она будет расти значительно быстрее, что обусловлено, вероятно, более интенсивным проникновением влаги в растительные ткани. В опытах с семенами гороха установлено, что талая дистиллированная вода поглощается быстрее, чем обычная дистиллированная.

В чем причина неодинакового поступления в клетки той и другой воды? По-видимому, в различии их структур. В твердом состоянии (лед) вода имеет определенную упорядоченную структуру: каждая молекула притягивает к себе еще четыре, расположенные как бы по вершинам тетраэдра. Эту фигуру легко представить, если вспомнить пакет молока тетраэдрической формы. При нагревании лед плавится, при этом происходит частичное разрушение связей между молекулами воды. При 0 °С разрывается примерно 15 процентов связей в тетраэдрических структурах, однако в основном (80—85 процентов) молекулы талой воды сохраняют структуру льда. При дистилляции же она полностью разрушается.

А теперь исследуем жидкость, которая находится в растительной клетке. На ее долю приходится 80 процентов клеточной массы. В цитоплазме имеется как свободная

вода, так и связанная различными веществами. Молекулы  $H_2O$ , расположенные на расстоянии до 1 нанометра от белковой молекулы, связаны прочно и имеют льдоподобную структуру. По-видимому, в талой воде клетка быстрее включает ее в структуру своей цитоплазмы, чем в свободной, молекулы которой постоянно и беспорядочно движутся.

Некоторые ученые считают, что стимулирующее действие талой воды обусловлено очень незначительным содержанием растворенных газов, если же она насыщена газами, то утрачивает способность стимулировать рост. В связи с этим было предложено использовать в растениеводстве воду, сначала прокипяченную для удаления газов, а затем быстро охлажденную.

Талую воду применяют в своей практике хлопкоробы Чимкентской области (Казахстан). В результате здесь заметно возросла не только урожайность хлопчатника, но и качество волокна. Прибавку к урожаю дают томаты, картофель, кукуруза, пшеница и сахарная свекла, семена (у картофеля — клубни) которых замачивались в кипяченой и быстро охлажденной воде.

Интересно отметить, что русские крестьяне с глубокой древности использовали талую воду для замачивания семян. Так, например, бобы рекомендовалось сеять только

после замачивания в «озимой» воде, полученной в результате таяния мартовского снега, собранного в мае по лесным оврагам.

### **Электричество и рост растений**

Электрические явления играют важную роль в жизни растений. В ответ на внешние раздражения в них возникают очень слабые токи (биотоки). В связи с этим можно предположить, что внешнее электрическое поле может оказать заметное воздействие на темпы роста растительных организмов.

Еще в XIX веке ученые установили, что земной шар заряжен отрицательно по отношению к атмосфере. В начале XX столетия на расстоянии 100 километров от поверхности земли была обнаружена положительно заряженная прослойка — ионосфера. В 1971 году космонавты увидели ее: она имеет вид светящейся прозрачной сферы. Таким образом, земная поверхность и ионосфера представляют собой два гигантских электрода, создающих электрическое поле, в котором постоянно находятся живые организмы.

Заряды между Землей и ионосферой переносятся аэроионами. Носители отрицательных зарядов устремляются к ионосфере, а положительные аэроионы движутся к земной

поверхности, где вступают в контакт с растениями. Чем выше отрицательный заряд растения, тем больше оно поглощает положительных ионов.

Можно предположить, что растения определенным образом реагируют на изменение электрического потенциала окружающей среды. Более двухсот лет назад французский аббат П. Берталон заметил, что возле громоотвода растительность пышнее и сочнее, чем на некотором расстоянии от него. Позднее его соотечественник ученый Грандо выращивал два совершенно одинаковых растения, но одно находилось в естественных условиях, а другое было накрыто проволочной сеткой, ограждавшей его от внешнего электрического поля. Второе растение развивалось медленно и выглядело хуже находящегося в естественном электрическом поле. Грандо сделал заключение, что для нормального роста и развития растениям необходим постоянный контакт с внешним электрическим полем.

Однако до сих пор в действии электрического поля на растения много неясного. Давно замечено, что частые грозы благоприятствуют росту растений. Правда, это утверждение нуждается в тщательной детализации. Ведь грозовое лето отличается не только частотой молний, но и температурой, количеством осадков.

А это факторы, оказывающие на растения весьма сильное воздействие.

Противоречивы данные, касающиеся темпов роста растений вблизи высоковольтных линий. Одни наблюдатели отмечают усиление роста под ними, другие — угнетение. Некоторые японские исследователи считают, что высоковольтные линии негативно влияют на экологическое равновесие.

Более достоверным представляется тот факт, что у растений, произрастающих под высоковольтными линиями обнаруживаются различные аномалии роста. Так, под линией электропередач напряжением 500 киловольт у цветков гравилата увеличивается количество лепестков до 7—25 вместо привычных пяти. У девясила — растения из семейства сложноцветных — происходит срастание корзинок в крупное уродливое образование.

Не счесть опытов по влиянию электрического тока на растения. Еще И. В. Мичурин проводил эксперименты, в которых гибридные сеянцы выращивались в больших ящиках с почвой, через которую пропускался постоянный электрический ток. Было установлено, что рост сеянцев при этом усиливается. В опытах, проведенных другими исследователями, были получены пестрые результаты. В неко-

торых случаях растения гибли, в других — давали небывалый урожай. Так, в одном из экспериментов вокруг деланки, где росла морковь, в почву вставили металлические электроды, через которые время от времени пропускали электрический ток. Урожай превзошел все ожидания — масса отдельных корней достигла пяти килограммов! Однако последующие опыты, к сожалению, дали иные результаты. По-видимому, исследователи упустили из виду какое-то условие, которое позволило в первом эксперименте с помощью электрического тока получить небывалый урожай.

Почему же растения лучше растут в электрическом поле? Ученые Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева АН СССР установили, что фотосинтез идет тем быстрее, чем больше разность потенциалов между растениями и атмосферой. Так, например, если около растения держать отрицательный электрод и постепенно увеличивать напряжение (500, 1000, 1500, 2500 вольт), то интенсивность фотосинтеза будет возрастать. Если же потенциалы растения и атмосферы близки, то растение перестает поглощать углекислый газ.

Создается впечатление, что электризация растений активизирует процесс фотосинтеза. Действительно, у огурцов,

помещенных в электрическом поле, фотосинтез протекал в два раза быстрее по сравнению с контрольными. В результате этого у них образовалось в четыре раза больше завязей, которые быстрее, чем у контрольных растений, превратились в зрелые плоды. Когда растениям овса сообщали электрический потенциал, равный 90 вольт, масса их семян увеличилась в конце опыта на 44 процента по сравнению с контролем.

Пропуская через растения электрический ток, можно регулировать не только фотосинтез, но и корневое питание; ведь нужные растению элементы поступают, как правило, в виде ионов. Американские исследователи установили, что каждый элемент усваивается растением при определенной силе тока.

Английские биологи добились существенной стимуляции роста растений табака, пропуская через них постоянный электрический ток силой всего в одну миллионную долю ампера. Разница между контрольными и опытными растениями становилась очевидной уже через 10 дней после начала эксперимента, а спустя 22 дня она была очень заметной. Выяснилось, что стимуляция роста возможна только в том случае, если к растению подключался отрицательный электрод. При перемене полярности электрический ток,



напротив, несколько тормозил рост растений.

В 1984 году в журнале «Цветоводство» была опубликована статья об использовании электрического тока для стимуляции корнеобразования у черенков декоративных растений, особенно укореняющихся с трудом, например у черенков роз. С ними-то и были поставлены опыты в закрытом грунте. Черенки нескольких сортов роз высаживали в перлитовый песок. Дважды в день их поливали и не менее трех часов воздействовали электрическим током (15 В; до 60 мкА). При этом отрицательный электрод подсоединялся к растению, а положительный погружали в субстрат. За 45 дней прижилось 89 процентов черенков, причем у них появились хорошо развитые кор-

ни. В контроле (без электростимуляции) за 70 дней выход укорененных черенков составил 75 процентов, однако корни у них были развиты значительно слабее. Таким образом, электростимуляция сократила срок выращивания черенков в 1,7 раза, в 1,2 раза увеличила выход продукции с единицы площади.

Как видим, стимуляция роста под воздействием электрического тока наблюдается в том случае, если к растению присоединяется отрицательный электрод. Это можно объяснить тем, что само растение обычно заряжено отрицательно. Подключение отрицательного электрода увеличивает разность потенциала между ним и атмосферой, а это, как уже отмечалось, положительно сказывается на фотосинтезе.

Благоприятное действие электрического тока на физиологическое состояние растений использовали американские исследователи для лечения поврежденной коры деревьев, раковых образований и т. д. Весной внутрь дерева вводили электроды, через которые пропускали электрический ток. Продолжительность обработки зависела от конкретной ситуации. После такого воздействия кора обновлялась.

Электрическое поле влияет не только на взрослые растения, но и на семена. Если их на некоторое время поместить в искусственно созданное электрическое поле, то они быстрее дадут и дружные всходы. В чем причина этого явления? Ученые предполагают, что внутри семян в результате воздействия электрическим полем разрывается часть химических связей, что приводит к возникновению осколков молекул, в том числе частиц с избыточной энергией — свободных радикалов. Чем больше активных частиц внутри семян, тем выше энергия их прорастания. По мнению ученых, подобные явления возникают при действии на семена и других излучений: рентгеновского, ультрафиолетового, ультразвукового, радиоактивного.

Возвратимся к результатам опыта Грандо. Растение, помещенное в металлическую

клетку и тем самым изолированное от естественного электрического поля, плохо росло. Между тем в большинстве случаев собранные семена хранятся в железобетонных помещениях, которые, по существу, представляют собой точно такую же металлическую клетку. Не наносим ли мы тем самым ущерб семенам? И не потому ли хранившиеся таким образом семена столь активно реагируют на воздействие искусственного электрического поля?

В Физико-техническом институте АН УзССР разработана установка для предпосевной обработки семян хлопчатника. Семена движутся под электродами, между которыми возникает так называемый «коронный» разряд. Производительность установки — 50 килограммов семян в час. Обработка позволяет получить прибавку урожая в пять центнеров с гектара. Облучение повышает всхожесть семян более чем на 20 процентов, коробочки созревают на неделю раньше обычного, а волокно становится прочнее и длиннее. Растения лучше противостоят различным заболеваниям, особенно такому опасному, как вилт.

В настоящее время электрическая обработка семян различных культур осуществляется в хозяйствах Челябинской, Новосибирской и Курганской областей, Баш-

кирской и Чувашской АССР, Краснодарского края.

Дальнейшее изучение влияния электрического тока на растения позволит еще более активно управлять их продуктивностью. Приведенные факты свидетельствуют о том, что в мире растений еще много непознанного.

### **Щедрость магнитного поля**

Человека уже давно интересовало, как влияет на растения магнитное поле. Первые попытки получить ответ на этот вопрос относятся к прошлому веку и связаны с именами французских ученых Антуана Беккереля и Анри Дютроше. Однако обстоятельные исследования начались лишь в середине XX века.

В 1960 году советские исследователи А. В. Крылов и Г. А. Тараканова опубликовали работу «Явление магнитотропизма у растений и его природа», которая получила широкую известность. Авторы установили, что если сухие семена пшеницы подвесить на тонкой нити между полюсами магнита, то при напряжении магнитного поля 200—7000 эрстед некоторые из них начинают определенным образом ориентироваться в пространстве, поворачиваться вокруг оси зародышевой стороной к северному полюсу магнита. Семена, отреагировавшие на

действие магнита, как правило, обладают более высокой энергией прорастания, чем те, у которых эта реакция отсутствует. Более интенсивное прорастание ориентированных в магнитном поле семян связано, по всей вероятности, с повышенным содержанием в них гормонов роста.

Влияние магнитного поля на растения подтверждает и следующее наблюдение. Если равные порции семян кукурузы, подсолнечника и хлопчатника разместить на фильтровальной бумаге таким образом, чтобы их зародышевые корешки были обращены в разные стороны, то дружнее прорастут семена, корешки которых были направлены на юг. Мало того, появившиеся на свет проростки будут тянуться в сторону южного полюса. Если первоначально зародышевые корешки были ориентированы к северу, западу или востоку, то после прорастания они изогнутся в сторону юга.

Аналогичные, но еще более отчетливо выраженные результаты получаются при прорастании семян в искусственном магнитном поле. Если напряженность магнитного поля по сравнению с земным возрастает в четыре раза, семена злаков дают более крупные проростки за счет увеличения размеров клеток.

Зеленые плоды помидоров, помещенные между полюсами магнита, быстрее дозревали



по сравнению с контрольными, находящимися вне магнитного поля. Плоды, расположенные поблизости от южного полюса магнита, созревали быстрее. У взрослых растений в искусственном магнитном поле усиливается интенсивность дыхания листьев и скорость роста стеблей и корней.

Канадские ученые пришли к выводу, что на урожай пшеницы, помимо чисто биологических факторов влияет направленность рядков посева. Если они ориентированы с востока на запад, то урожай более высокий, чем в случае посева по меридиану. Предполагается, что это связано с чувствительностью растений к силовым линиям магнитного поля Земли.

На рост растений оказывает влияние не только само магнитное поле, но и омагни-

ченная вода. Оказалось, что свойства воды изменяются при воздействии на нее магнитным полем. Полив такой водой ускоряет рост растений, повышает их урожай, а в арбузах, например, увеличивает содержание аскорбиновой кислоты, сахаров, сухих веществ. Мало того, омагниченная вода обладает еще и фунгицидными свойствами, подавляя процесс спорообразования фитопатогенных грибов. Однако это свойство в сильной степени зависит от вида возбудителя заболевания и напряженности магнитного поля. Так, при увеличении последнего соответственно снижается процент прорастания спор плесневых грибов и возбудителей антракноза — опасного заболевания целого ряда культур, в том числе тыквенных. Правда, наприя-

женность магнитного поля не влияет на прорастание спор возбудителей мучнистой росы, а возбудитель фузариоза даже активизируется при ее усилении.

В 70-х годах в Краснодарском крае был испытан поливной агрегат для магнитной обработки воды из шести магнитных наборов, установленных на трубопроводе, пропускавшем 100 литров воды в секунду. На опытном участке площадью 11,6 гектара магнитная обработка поливной воды на 21 процент повысила урожай гороха и овса и на 14 — сахарной свеклы.

Японская компания «Пионер», специализирующаяся на производстве высококачественной радиоаппаратуры, занимается также выращиванием овощей методом гидропоники, причем питательный раствор пропускается через систему мощных магнитов. Помимо этого трижды в день в течение 15 минут растениям проигрываются мелодии, стимулирующие их рост. Выращивание овощей приносит компании ощутимую прибыль.

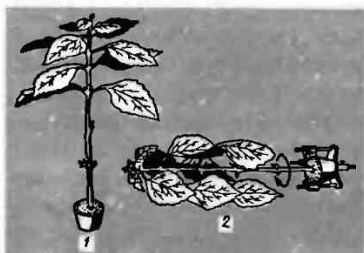
В чем причина положительного влияния омагниченной воды на растения? Сотрудники Софийского университета доказали, что омагничивание оросительной воды на 70 процентов увеличивает усвоение помидорами удобрений. По-видимому, под влия-

нием магнитов вода приобретает свойство более успешно растворять соли. Повышенная растворяющая способность омагниченной воды не только хорошо известна, но и давно уже используется в промышленности. Благодаря вымыванию молекул минеральных солей из почвенных частиц удобрения становятся более доступными растениям.

В действии магнитного поля на растения много еще неясного. Они хуже развиваются как при отсутствии магнитного поля, так и при чрезмерном его напряжении. В последнем случае обмен веществ у растений нарушается и рост их ингибируется. Такое явление наблюдается не только в лаборатории, но и в природе, в частности в местах магнитных аномалий, где напряженность магнитного поля в десятки раз превышает норму. Поиск оптимальных условий действия магнитного поля на растения продолжается.

### **Внимание: невесомость!**

В работе «Цели звездоплавания» Константин Эдуардович Циолковский писал о выращивании растений в космосе: «Жилища растений выгодно делать отдельно, так как они не требуют густой атмосферы и крепких стенок. Таким образом, помимо экономии материала, специальная, хотя и разреженная, атмосфера дает



1 — нормальное растение; 2 — вращаемое на клиностае.

наибольший урожай... Во вращающихся конусах солнечные лучи делают не только вечный день, но и вечную весну с определенной желаемой температурой, наиболее благоприятной для воспитываемых растений. Вращение их и рождаемая от того искусственная тяжесть держит влажную почву и растительные отбросы в порядке. Созревшие и отделившиеся плоды мы найдем упавшими на почву, а не блуждающими в свободном пространстве конуса... Растения подобраны плодовые, травянистые, мелкие, без толстых стволов и не работающих на солнце частей. Чем они более утилизируют солнечный свет, чем больше дают плодов, тем больше поглощают солнечной энергии и тепла».

Напряженная и разнообразная программа космических исследований, увеличение продолжительности пребывания человека на орбитальных станциях требуют от ученых создания более совершен-

ных систем жизнеобеспечения. В будущих космических полетах важнейшим элементом этих систем станут растения, которые способны поглощать выделяемый в процессе дыхания членов экипажа углекислый газ, синтезировать органические вещества, необходимые для питания, продуцировать кислород, нужный для дыхания космонавтов.

На растения в космическом пространстве действует ряд факторов, отсутствующих в земных условиях. Один из них — невесомость. Как растения переносят невесомость? Будут ли они нормально расти и развиваться в условиях космического полета? Эти вопросы имеют важное значение. Вот почему ученые задумывались над ними еще до того, как был осуществлен полет человека в космос.

В лабораторных условиях невесомость имитируется вращением горизонтально расположенных растений вокруг своей продольной оси с помощью особого прибора — клиноста, который исключает одностороннее действие гравитационного поля. Растение, вращаемое на клиностае, все время испытывает влияние земного притяжения, но не с одной стороны, а с разных. Вследствие этого оно растет горизонтально, тогда как без вращения корень изгибается вниз, а стебель — вверх.

В опытах литовских исследователей вращение клиноста-та осуществлялось со скоростью один оборот за 21 секунду.

Установлено, что «невесомость» подобного рода не сказалась на прорастании семян, однако в дальнейшем растения заметно отставали в развитии от экземпляров, находившихся в стационарных условиях или вращаемых вокруг вертикальной оси. Хотя внешние признаки отклонения от нормы отсутствовали, однако 35—40 процентов опытных растений резушки Таля (арабидопсиса) и мари красной начинали быстро желтеть.

Осуществление космических полетов позволило проводить опыты по влиянию невесомости в космическом пространстве. Первые исследования о влиянии условий космического полета на растения были проведены еще в 1960 году на космическом корабле, на борту которого вместе с собаками Белкой и Стрелкой были семена некоторых сельскохозяйственных и декоративных растений, водоросль хлорелла и зеленые веточки одного из самых распространенных комнатных растений — традесканции виргинской.

Присутствие на космическом корабле человека позволило поднять исследования по влиянию условий космического полета на растения на но-

вый, качественно более высокий уровень.

Анриан Николаев наблюдал за развитием традесканции. Петр Климук экспериментировал с горохом. На космической станции «Союз-4» действовала установка «Оазис», в которой выращивались растения гороха. На «Салюте-6» в специальных контейнерах-вазонах при искусственном освещении зеленел лук. Отдельные луковицы образовали до 14 листьев-перьев. Для генетических исследований использовалось растение резушка Таля, которое наряду с мушкой дрозофилой очень удобно для этих целей.

Работа с растительными объектами доставляла большую радость космонавтам. В замкнутом ограниченном пространстве, вдали от родной Земли, зеленые друзья были особенно дороги. Вот что писал по этому поводу летчик-космонавт СССР Петр Климук: «Нам было приятно возиться с растениями. При одном взгляде на них на душе делалось теплее». Георгий Гречко на одной из встреч вспоминал:

— У нас на орбитальной станции рос горох. Знаете, я часто подлетал к нему лишь затем, чтобы на него взглянуть, полюбоваться. Четыре стебля были для нас рощей, лесом...

Исследования растений в космосе прежде всего должны

были ответить на вопрос, как влияют условия полета на их генетический аппарат. Кроме того, они позволяют выяснить эффективность использования растений для регенерации атмосферы космических летательных аппаратов.

Проведенные в космосе опыты показали, что прорастание и первые фазы роста всходов гороха и пшеницы проходят без существенных отклонений от нормы, разница лишь в том, что земные проростки, испытывающие силу тяжести, ориентированы определенным образом: их стебельки располагаются параллельно друг другу. Иная картина в космосе: проростки хаотично тянутся во все стороны. Успешно перенесли кратковременное пребывание в космосе лук, морковь, салат, огурцы, горчица, бобы. Вернувшись на Землю, они продолжали развиваться без существенных отклонений от нормы. Однако длительное пребывание в условиях невесомости оказало на них губительное воздействие: через две-три недели они начинали увядать, подобно тому, как они погибают на клиноставе.

Космонавты В. Коваленок и А. Иванченков выращивали на орбитальной станции резушку Таля (*Arabidopsis thaliana*) — крошечное неприхотливое растение из семейства крестоцветных, встречающееся на железнодорожных насы-

пях. В земных условиях весь его жизненный цикл (от семени до семени) завершается всего за месяц. В космосе семена арабидопсиса успешно прорастали. У проростков формировались корни, стебли и листья. Однако, когда дело дошло до цветения, растения погибли.

На орбитальной станции «Салют-6» космонавты В. Коваленок и А. Иванченков в соответствии с программой исследований, составленной учеными Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, изучали влияние факторов космического полета на рост грибов. Обычно их плодовые тела формируются в направлении, противоположном вектору силы тяжести. Ученые решили проверить, нельзя ли при помощи света компенсировать отсутствие гравитации. Эксперименты показали, что в некоторой степени это возможно. Так, на свету грибы образовывали плодовые тела, правда, значительно меньших размеров и неправильной формы — их ножки завивались вокруг оси. В то же время в темноте грибы не формировали плодовых тел.

Ученым очень хотелось порадовать космонавтов В. Ляхова и В. Рюмина, отправив к ним на орбитальную станцию луковицы тюльпанов. Ведь тюльпаны Байконура провожают всех космонавтов,

которые стартуют весной. Это растение стало символом первой космической весны. На борту станции из луковиц появились почти полуметровые цветоносы, но цветение так и не наступило.

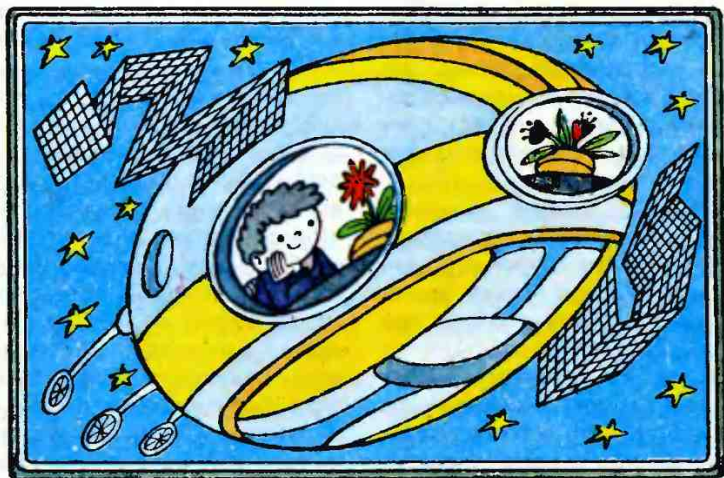
Все эти опыты позволили исследователям предположить, что сила тяжести, по-видимому, необходима растениям в большей степени, чем людям. Если это действительно так, то возникает вопрос относительно возможности осуществления особо длительных полетов человека в космических станциях и межпланетных кораблях. Ведь зеленые растения, по мнению специалистов в области космической биологии, — необходимое звено замкнутой системы жизнеобеспечения. Существует ли выход из сложившейся ситуации? Да, есть. Он заключается в создании на космических летательных аппаратах искусственной силы тяжести. Об этом писал еще К. Э. Циолковский в работе «Цели воздухоплавания». По-видимому, вовсе не обязательно, чтобы на корабле действовала такая же сила тяжести, как и на Земле. Опыты на клиностае показывают, что пороговая величина гравитационного раздражения составляет тысячные доли от силы земного тяготения. В этих условиях корни начинают расти вниз, а стебли — вверх, то есть растение начинает нормально ори-

ентироваться относительно гравитационного поля Земли.

Будут ли растения нормально развиваться в космосе при действии незначительной силы тяжести, должны показать будущие эксперименты. Для изучения этого вопроса ученые сконструировали особый прибор «Биогравистат», представляющий собой центрифугу, размером с коробку для торта. Скорость вращения этого прибора примерно полтора оборота в секунду. Этого достаточно, чтобы создать силу тяжести, соответствующую земной гравитации.

На борту орбитальной станции «Салют-7» отсутствие привычной для растений земной тяжести компенсировали центробежной силой, возникающей при вращении, и определенной формой магнитного поля. Для этого использовали установки «Биогравистат» и «Магнитогравистат». Космонавты стали свидетелями знаменательного события — в установке «Фитон» растение резушка Таля впервые прошло в космосе полный цикл развития — от семени до семени. Так что, когда Светлана Савицкая прибыла на «Салют-7», Валентин Лебедев протянул ей необычный букет биоблок с резушкой Таля. Это скромное растение, впервые принесшее в космосе семена, было дороже изысканных гладиолусов и роз.

Космические эксперименты



по изучению возможности использования растений для регенерации среды обитания космонавтов, несомненно, приблизят нас к решению земных проблем, в частности к созданию высокоэффективных методов биологической очистки окружающей среды.

Таким образом, решение проблемы влияния факторов космического полета на растения имеет большое практическое значение, поэтому новые данные в этой области знания заслуживают самого пристального внимания.

### **Растения для Луны**

Человеку удалось ступить на поверхность Луны, но длительное пребывание на ней невозможно без растений. Вот почему уже сейчас ученые задались целью выяснить, смо-

гут ли современные земные растения произрастать в своеобразных лунных условиях — ведь на нашем спутнике нет атмосферы. По этой причине растения придется выращивать в герметичных камерах, наполненных земным воздухом. Вне этого пространства они моментально обезводятся и погибнут.

Светопроницаемое покрытие камер должно активно поглощать ультрафиолетовое излучение, которое на Земле задерживается озоновым слоем атмосферы, а на Луне очень активно и потому губительно для всего живого. Интенсивность солнечного освещения поверхности Луны чрезвычайно велика: в лунный полдень она значительно превышает оптимальную для роста растений освещенность. По этой причине часть светового пото-

ка должна задерживаться покровом теплицы.

Следует упомянуть и о перепаде температур на Луие. Ночью она понижается до  $-140...160^{\circ}\text{C}$ , а днем повышается до  $150—180^{\circ}\text{C}$ . Последствия этих скачков можно предотвратить, поместив растения в герметичные теплицы, где можно поддерживать соответствующий температурный режим.

Но даже построив такую теплицу, человек не решит всех проблем. Главная трудность растениеводства в лунных условиях связана с освещенностью растений. Ведь лунные сутки соответствуют 29,5 земных. При этом 15 суток светит Солнце, и столько же длится ночь. Между тем растения на Земле в ходе эволюции приспособились к чередованию дня и ночи в ритме земных суток.

Разумеется, можно создать искусственное освещение, позволяющее в течение длинной лунной ночи имитировать чередование дня и ночи. Однако для этого потребуются колоссальное количество энергии. Между тем энергетические ресурсы астронавтов, безусловно, будут ограничены. Остается один путь — исследовать влияние на земные растения лунного фотопериода. Может быть, некоторые из них смогут выжить в этих условиях.

Обычные растения, поме-

щенные на две недели в темноту, довольно быстро используют на дыхание органические вещества, истощаются и гибнут. Еще до окончания лунной ночи в листьях растений разрушатся хлоропласты и зеленый пигмент хлорофилл, а листья засохнут.

В отделе биофизики Института физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения АН СССР решили преодолеть эти препятствия следующим образом. Оказалось, что если во время лунной ночи понизить температуру (причем для каждого вида это свой уровень), лишить растения минерального питания (особенно азотного) и снабжать только водой, чтобы они не завяли вследствие испарения, то растения смогут успешно пережить лунную ночь. Так, например, пятнадцатидневиую пшеницу помещали в темноту при температуре  $3—4^{\circ}\text{C}$  и поливали обычной водопроводной водой. Эти растения в хорошем состоянии пережили лунную ночь. Затем их перенесли на 15 земных суток в условия непрерывного освещения. В это время пшеница выколашивалась. В фазе колошения растения вновь помещали на 15 суток в темноту — для них наступала вторая лунная ночь, после чего они опять выставлялись на свет. Несмотря на необычные условия выращивания, растения прошли нормальный цикл

развития и дали зерно. Правда, оно было несколько шуплым, но вполне жизнеспособным: ученые успешно использовали его для выращивания растений в лунном режиме.

Такие же опыты были поставлены и с другими культурами: морковью, свеклой, репой, редисом. И эти растения успешно росли в условиях лунного фотопериода. У них сформировались корнеплоды с нормальным биохимическим составом. Продуктивность всех культур, за исключением свеклы, оказалась несколько ниже, чем в контроле (при нормальной смене дня и ночи). Однако свекла в лунном световом режиме дала даже больший урожай, чем в привычных условиях освещения.

Эти опыты свидетельствуют о потенциальной возможности

использования на Луне естественного солнечного освещения для выращивания некоторых земных растений. Теплолюбивые растения не могут переносить температуру, «предложенную» во время лунной ночи пшенице, моркови, репе и свекле. Видимо, ассортимент лунного огорода будет уступать земному.

### Луна и рост земных растений

Во время полнолуния картофель созревает гораздо быстрее, утверждают ученые из Илинойского университета (США), изучавшие в течение длительного времени этот вопрос. Результаты их опытов показывают, что при полной Луне темпы роста овощей увеличиваются на 20 % по



сравнению с периодами, когда Луна «рождается» или «стареет».

Откроем теперь сельскохозяйственную энциклопедию древних греков «Геопонику»: «Некоторые утверждают, что нельзя ничего сажать при убывающей Луне: можно это делать только на прибывающей. Другие советуют производить посадки в период с 4 до 18 дня лунного месяца. Некоторые разрешают производить посадки только в те дни, когда Луна еще не видна. Другие не советуют сажать что-либо от 10 до 20 числа лунного месяца, чтобы лунный свет не погубил посадок. Точнее и лучше, однако, такое указание: производить посадки в новолуние...»

Как видим, древние греки в своей сельскохозяйственной практике ориентировались на лунные фазы. Приведя разные суждения на этот счет, авторы «Геопоники» все же рекомендовали своим читателям производить посевы в новолуние. В этом случае проростки появятся на свет тогда, когда полнолунной хозяйкой на ночном небе будет Луна. Следовательно, они также полагали, что в полнолуние растения растут быстрее.

Поистине ново то, что хорошо забыто.

## **Солнечная активность и урожай**

На рост растений оказывает влияние не только Луна, но и Солнце. Одним из первых на связь между солнечной активностью и биосферой обратил внимание советский ученый Александр Леонидович Чижевский (1897—1964). Он считал, что, когда на Солнце образуется много пятен, появляются хромосферные вспышки и увеличивается яркость короны, на нашей планете усиливается рост деревьев. Под солнечной активностью понимается совокупность всех физических изменений, происходящих на Солнце. В том числе и появление пятен. Изменение их числа на поверхности дневного светила носит циклический характер с периодичностью около 11 лет.

Американский астроном А. Е. Дуглас был ботаником по призванию. Ученый изучал структуру годичных колец деревьев. По их строению он мог точно определить год использования дерева для той или иной постройки. Этот метод датирования построек был назван дендрохронологическим. Кроме того, А. Е. Дуглас по структуре годичных колец мог судить о погоде того или иного года. Этот метод, впервые примененный нашим соотечественником Ф. Н. Шведовым, стал именоваться дендроклиматологическим. Аме-

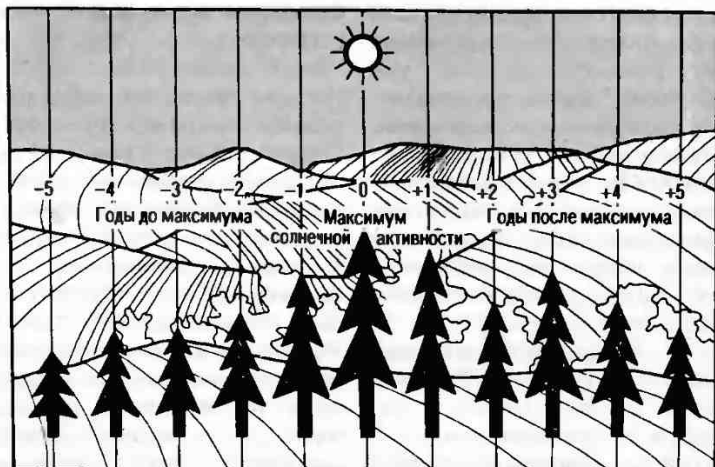


Схема прироста деревьев в разные годы солнечной активности.

риканский ученый обратил внимание на то, что в приросте многолетних растений не только фиксируются колебания климата, но и отражаются 11-летние циклы активности Солнца. Эти данные подтвердил астроном из Гринвича Е. Маудер, который обнаружил, что каждому циклу солнечной активности соответствует увеличение ширины годовых колец. Эта закономерность отчетливо просматривается на материалах многочисленных измерений, когда случайные факторы и местные условия нивелируются.

Солнечная активность сказывается не только на приросте древесных растений, но и на урожайности сельскохозяйственных культур. Иссле-

дования ученых показывают, что во время высокой солнечной активности 1956—1960 годов приrost урожайности всех зерновых в СССР составлял 2,1 ц/га, а на стадии минимума — только 0,6 ц/га. В последующие годы в периоды высокой солнечной активности вновь наблюдался приrost урожайности до 3,3 ц/га.

Эта закономерность отмечена также в посевах картофеля, свеклы, льна, хлопчатника и может быть учтена при планировании сельскохозяйственного производства, при расчете вносимых удобрений и т. д.

Немецкий ученый Ганс Петер Фишер с 1968 по 1980 год проводил наблюдения за всхожестью семян энотеры — растения из семейства кипрей-

ных. Он установил, что существует четко выраженная связь между солнечной активностью и всхожестью семян: в годы незначительной солнечной активности всхожесть была исключительно низкая (от 0 до 20 процентов), тогда как при максимуме активности Солнца резко возрастала (до 100 процентов). Физиологические причины этого явления пока не ясны.

### **Солнечные затмения — хорошо это или плохо!**

Уж коли мы заговорили о влиянии солнечной активности на рост растений, целесообразно коснуться вопроса, реагируют ли растения на солнечные затмения. Оказалось, что да. Во время солнечного затмения 16 февраля 1980 года отмечалось более активное прорастание семян и интенсивный рост проростков бобового растения долихос (*Dolichos-lablab*, *D. biflorus*). А вот грибы из рода альтернария (*Alternaria alternata*) на картофельно-декстраново-агаровой среде были словно заторможенными.

По-видимому, результаты наблюдений подтверждают существенное различие между зелеными растениями и грибами. Не случайно некоторые ученые предлагают выделить грибы в особое «царство».

### **Свет и рост растений**

Большой практический и теоретический интерес представляет вопрос, как влияет свет на прорастание семян. Действие света можно проиллюстрировать простым опытом. Три плоских сосуда наполняют песком, на поверхность которого равномерно высевают семена овса, лебеды и дурмана. Среднюю часть сосудов закрывают светонепроницаемыми банками из жести или пластмассы и помещают посевы в теплое, хорошо освещенное место. Через несколько дней можно увидеть следующую картину. Семена овса дадут всходы как на свету, так и в темноте (под светонепроницаемой банкой). Всходы лебеды появятся только за пределами банки, а семена дурмана, напротив, только под колпаком. Можно сделать вывод, что у второго растения свет задерживает прорастание семян.

Таким образом, по отношению к свету семена разных растений можно дифференцировать на три группы: с положительной, отрицательной и нулевой светочувствительностью.

К первой группе относятся семена лебеды, табака, череды, дербенника иволистного, сосны. Семена омелы, портулака, кипрея и других растений в абсолютной темноте не прорастают. Обычно омела

дает всходы лишь после пятидесятидневного покоя, но если ее семена подвергнуть круглосуточному освещению, то они прорастают через три дня после сбора. Свет ускоряет также прорастание недоразвитых и длительно хранившихся семян. У повилики, дурмана, мака, фацелии, клоповника, вероники персидской, каланхоэ семена прорастают только в темноте (вторая группа). У ряда культурных видов всходы быстрее появляются в темноте, однако у большинства семена почти не обладают светочувствительностью и поэтому относятся к третьей группе.

Следует заметить, что предложенная классификация не совсем точна, поскольку не учитывает ряд факторов. Например, в светочувствительности семян мятлика лугового, лютика ядовитого и других видов большую роль играет фактор времени: только что созревшие семена лучше прорастают на свету, а после перезимовки — в темноте. Кроме того, у ряда растений на прорастание влияет не свет вообще, а длительность периода освещения. Так, семена березы пушистой требуют для успешного прорастания 20-часового освещения. Если световой период сократить, скажем, до восьми часов, то наблюдается задержка процесса прорастания. Как мы убедились, «вкусы» у семян

различных растений неодинаковы: одним подавай длинный световой день, другим — короткий.

Стимулирующее или угнетающее действие света на прорастание семян определяется также его спектральным составом. Красный свет обычно стимулирует появление всходов. К примеру, облучение семян сосны красным светом в шесть раз увеличивает их всхожесть. Аналогичные результаты получены в опытах с семенами многих растений.

Особенно детально исследовалось действие света различного спектрального состава на прорастание семян дикого салата-латука. С помощью этого растения было установлено, что первоначальная положительная реакция его семян на красный свет после облучения дальним красным, то есть светом с большой длиной волны, исчезает. Голубой свет в отличие от красного угнетает прорастание семян.

Свет разного спектрального состава оказывает влияние не только на семена, но и на растения.

Синие, а также сине-фиолетовые лучи стимулируют деление клеток, но вместе с тем задерживают их растяжение, увеличение в объеме. Вот почему растения, произрастающие в горах, где много синих и сине-фиолетовых лу-



чей, обычно низкорослы, часто розеточны.

Если же растения освещать красным светом, то наблюдается противоположная картина: клеточные деления несколько ослабевают, но зато клетки сильно вытягиваются. Это сказывается и на общем состоянии растений: линейный рост их усиливается.

Когда растение испытывает дефицит синих лучей, например в загущенных посевах, то его стебли становятся нежными и легко полегающими под тяжестью плодов и ветра. Полегание хлебов при загущении посевов наносит большой урон сельскому хозяйству. Такой урожай трудно убирать. Вытягивание растений происходит нередко и в теплицах, стекла которых задерживают синие и синефиолетовые лучи. Это явление

можно устранить путем дополнительного освещения посадок коротковолновым светом. Синий свет применяется в теплицах, когда необходимо получить высокий урожай листьев салата. Зато красный благоприятствует образованию корнеплодов у репы, стеблевому утолщению кольраби.

В Пермском государственном университете разработаны красные светильники, использование которых почти в три раза увеличивает урожай овощей в теплицах, причем в более короткие сроки. К сбору огурцов приступают на три недели раньше, а помидоров — на 45 дней. Для конкретных видов растений ученые подобрали наиболее эффективные нормы интенсивности и продолжительности освещения.

Воздействовать на растения светом различного спектрального состава можно, применив цветную ... мульчу. Мульчирование — широко распространенный агротехнический прием, когда корни растений или почва междурядий обкладываются соломой, опавшими листьями, торфом, компостом или ненужной бумагой с целью уменьшения перепада температур, ослабления испарения влаги почвой, улучшения условий питания. Если мульча имеет определенную окраску, то отражаемые ею лучи будут специфически воздействовать на растения. Исследования, проведенные в США, показали, что картофель и сладкий перец при прочих равных условиях дают более высокий урожай в том случае, если междурядья покрыты мульчей белого цвета. А вот помидоры предпочитают красную мульчу.

И в этой связи возникает законный вопрос: выходит, растениям необходимы утренние и вечерние сумерки, когда над миром властвует воспетый поэтом «алый цвет зари»?

### **Голубой и зелено-желтый**

Как мы уже отмечали, прорастание семян дикого латука-салата активизируется после облучения их красным светом. Но стоит воздействовать на них дальним красным

светом — и никакого ускорения не будет. Точно такое же явление наблюдается, когда проростки двудольных растений появляются из почвы. В это время они согнуты «в три погибели», так что очень похожи на крючок. «Крючок» надежно защищает точку роста при продвижении ее среди почвенных частиц. Если выходящий из земли проросток осветить красным светом, это ускорит его разворачивание, и он быстрее займет вертикальное положение. Но когда вслед за воздействием красным светом проростки облучаются дальним красным, ускорения не происходит.

В чем причина? Ученые предположили: для того, чтобы семена и проростки реагировали на изменение длины красного цвета, в них должны быть пигменты, способные воспринимать кванты с определенной длиной волны. Это предположение подтвердилось. Обнаруженные в растениях пигменты были названы фитохромами. Фитохром красного цвета ( $\Phi_{\text{кк}}$ ) способен воспринимать свет с длиной волны 660 нанометров. Он имеет голубую окраску и представляет собой окисленную форму пигмента. Фитохром дальнего красного цвета ( $\Phi_{\text{дкк}}$ ) улавливает свет с длиной волны 730 нанометров. Это — восстановленная форма пигмента желто-зеленого цвета.

Фитохромы присутствуют в

различных органах растений. По-видимому, они возникли в ходе эволюции очень давно. На это указывает тот факт, что их обнаружили в клетках синезеленых водорослей и даже в некоторых гетеротрофных организмах.

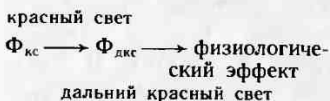
Итак, фитохром существует в двух формах, которые под влиянием определенного света могут превращаться друг в друга. Так, фитохром  $\Phi_{\text{кк}}$  переходит в  $\Phi_{\text{дкк}}$ , если его облучить красным светом с длиной волны 660 нанометров. В свою очередь,  $\Phi_{\text{дкк}}$  превращается в  $\Phi_{\text{кк}}$  под воздействием дальнего красного света, длина волны которого 730 нанометров.



Благодаря наличию фитохромной системы регулируются не только прорастание светочувствительных семян, разгибание проростков двудольных растений, но и развертывание семядолей, образование устьиц, формирование сосудистой системы, ориентация хлоропластов, выработка антоцианов и т. д.

Фитохром дальнего красного света — активная форма

пигмента. Она образуется в момент облучения красным светом и вызывает определенный физиологический эффект:



### Лазер повышает урожай

В последние годы для стимуляции роста растений довольно широко применяются различные установки, концентрирующие солнечный или электрический свет, а также лазерные установки, испускающие монохроматический красный свет с длиной волны 633 нанометра.

Установки первого типа представляют собой гелиотехнические устройства, позволяющие с помощью металлических или стеклянных зеркал в 50—80 раз концентрировать солнечную энергию. Они снабжены системой слежения за Солнцем. Если свет такой установки направить на семена, то они перегреются и их зародыши погибнут. Чтобы этого не произошло, путем покачивания зеркал с частотой 180—200 колебаний в минуту создают импульсный режим облучения. При этом семена подвергаются воздействию, похожему на пулеметную очередь — кратковременные импульсы, концентрированного солнечного света.

В 1965 году было установ-

лено, что облучение семян импульсным концентрированным солнечным светом в течение 20—45 минут стимулирует ростовые процессы и повышает урожай ячменя, огурцов и томатов. В дальнейшем эти данные получили подтверждение. Так, обработка семян огурцов сорта Майский салатный в течение 10 минут усилила рост стеблей и обеспечила повышение урожайности на 21 процент по сравнению с контролем. При этом улучшилось качество плодов — в них увеличилось содержание сахаров и витамина С.

Для предпосевного облучения семян, клубней, луковиц в качестве источника света можно использовать ксеноновые лампы мощностью 5 киловатт. Их спектр близок к солнечному. Световая полоса подается на барабан, в который загружены семена. Во время его вращения они пересекают световую полосу и в результате создается импульсный режим облучения. Установка, сконструированная в Донецком государственном университете, позволяет за 6-часовой рабочий день обработать 100 килограммов семян.

Под действием светоимпульсного облучения происходит повышение энергии прорастания семян томатов, огурцов, редиса, баклажанов, кабачков, дыни, тыквы, ячменя, ар-

буза, пшеницы, акации желтой, эспарцета, донника и других растений. Важно, что в ходе такой обработки семена обеззараживаются: споры грибов и бактерий, находящиеся на их поверхности, гибнут.

Проростки овощных, бахчевых, зерновых и древесных растений, полученные из облученных семян, характеризуются повышенной скоростью роста надземной и подземной части. У них энергичнее формируется фотосинтезирующая поверхность. Растения раньше приступают к цветению и плодоношению, быстрее проходят цикл развития.

Огурцы, выросшие из облученных семян, дают прибавку урожая от одного до трех килограммов с каждого квадратного метра площади.

В последние годы в практике растениеводства все более широкое применение находят оптические квантовые генераторы, в частности гелий-неоновые лазеры, излучающие монохроматический свет с длиной волны 633 нанометра. Гелий-неоновый лазер состоит из газоразрядной трубки, заполненной смесью инертных газов (гелия и неона), по обе стороны которой расположены зеркала с разной степенью прозрачности и с высоким коэффициентом отражения (оптический резонатор). Зеркала обеспечивают многократное прохождение свето-

вого сигнала через газовую среду. Каскад фотонов, отраженных от зеркал, вновь и вновь пронизывает активное вещество, порождая лавину новых световых квантов. В конце концов, в процесс вовлекаются все возбужденные частицы. Возникает усиленный, согласованный и направленный импульс излучения, который «пробивает» более прозрачное зеркало. Электропитание подается на установку с помощью специального блока. Семена засыпаются в бункер с дозирующим устройством, откуда они по наклонной плоскости под действием собственной массы продвигаются к зоне облучения неоновыми лампами. Время обработки на этом участке составляет 0,36 с. Затем на 0,006 с они попадают в зону воздействия лазерного луча. Лазерные установки, созданные в биофизической лаборатории Казахского государственного университета, монтируемые на шасси автомашины Газ-51, способны обработать световым потоком гелий-неонового лазера не менее шести тонн посевного материала в час.

У растений, выросших из облученных семян, интенсивнее протекают физиолого-биохимические процессы, активизируются окислительно-восстановительные ферменты, в листьях возрастает содержание зеленых и желтых пигментов.

Оказалось, что у сельскохозяйственных культур различная чувствительность к монохроматическому красному свету. Наиболее восприимчивы к нему представители тыквенных (огурцы, арбузы, дыни, тыквы, кабачки) и пасленовые (томаты, перцы, баклажаны).

Опыты, проведенные в Казахстане на больших площадях посевов зерновых, показали, что лазерная обработка повысила урожай на 10—15 процентов. Сходные результаты получены в Башкирии. Там лазерная «накачка» семян увеличила урожай зерновых на 7—16 процентов.

Растения озимой пшеницы сорта Мироновская 808, выросшие из облученных семян, содержали сахара в среднем на 32 процента больше, чем контрольные. Неудивительно, что они лучше противостояли неблагоприятным условиям зимовки, развили более мощную корневую систему. Весной эти растения быстрее пошли в рост и дали прибавку урожая в 4—5 ц/га. Полученное зерно отличалось повышенным содержанием клейковины.

Положительно реагируют на лазерную обработку семян не только зерновые, но также технические культуры и многолетние травы. В исследованиях, проведенных в овощеводческих хозяйствах Московской области, лазерное об-

лучение семян на 15—27 процентов увеличило урожай ранних помидоров и огурцов. В них содержалось больше витаминов, сахаров, белка и других ценных веществ. Вырос урожай редиса, гороха, сои, кукурузы, льна-долгунца.

Облученные с помощью лазера семена сосны и березы дали более ранние всходы, чем контрольные. В конце вегетационного периода опытные растения оказались выше и их корневая система была лучше развита.

Особый интерес представляет использование концентрированного света и лазерного облучения для выведения новых сортов растений. Ведь в результате облучения возникают наследственные изменения, имеющие в некоторых случаях полезные свойства. С помощью этого приема могут быть получены формы пшеницы с коротким стеблем, устойчивые к полеганию, с длинным и более озерненным колосом, с повышенным содержанием белка в зерне.

Следует отметить, что некоторые ученые скептически относятся к обработке растений различными видами излучений — концентрированным светом, монохроматическим лучом лазера, ультразвуком, ультрафиолетом, электрическим и магнитным полем, объясняя это тем, что в подавляющем большинстве случаев мы не знаем точно,

какие физиологические изменения лежат в основе стимуляции роста, вызванной тем или иным фактором. Учитывая то, что продуктивность наших полей растет медленно, следует использовать в практике любую возможность устойчивого повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Важно обеспечить изобилие продуктов питания, решить продовольственную проблему. С этих позиций скепсис по отношению к различным воздействиям на семена или растения вряд ли уместен. Ведь и в промышленности нередко используются процессы и эффекты, физическая сущность которых далеко не выяснена. Вместе с тем необходимо четко представлять возможные негативные последствия широкого использования излучений в растениеводстве. Одно из них — влияние на наследственный аппарат растений. В этом случае помимо положительных моментов, связанных, скажем, с расширением поля деятельности селекционеров, существует опасность вырождения ценных сортов. Но ведь эта проблема решаема, если использовать для посева семена не обработанных растений, а произведенных в специализированных семеноводческих хозяйствах.

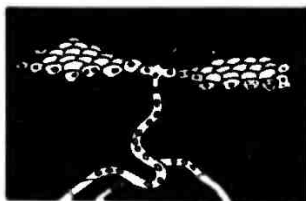
## Световоды в растениях!

Длительное время считалось, что ткани живых организмов плохо проводят свет. Американские исследователи Дина Д. Мандоли и Уинслоу Р. Бриггс изучали прохождение красного света гелий-неонового лазера по стеблям растений. Оказалось, что в стеблях овса свет проникает на расстояние 4,5 сантиметра. Это было видно невооруженным глазом и фиксировалось с помощью электронного фотоумножителя, присоединенного к неосвещенному концу стебля.

«Что же в этом необычно? — скажет иной читатель, — почему бы растительной ткани не пропускать свет?». Удивительное состоит в следующем: свет проходит не только по прямому, но и по изогнутому стеблю. Иными словами, побеги растений содержат, по-видимому, систему световодов или оптических волокон. По всей вероятности, эта система играет важную роль в жизни растений, потому что их судьба в сильной степени зависит от света, который нужен не только для осуществления процесса фотосинтеза, но и несет им необходимую для жизни информацию о длине светового дня, изменении спектрального состава в зависимости от времени суток, о фазах луны и т. д. Попадая по световодам

в различные органы растений, эта информация вызывает изменения в физиологических процессах, а благодаря им — ответную реакцию растительного организма.

Для людей, хорошо знающих ботанику, результат, полученный американскими исследователями, не покажется неожиданным. В пещерах нередко встречается мох схистостега перистая (*Schistostega repnata*). Характерная особенность мхов — образование из споры так называемой протонемы, или предростка, имеющего вид нити. У хорошо известного нам по школьному учебнику ботаники кукушкина льна из протонемы возникает затем обычный листостебельный побег. Схистостега отличается от кукушкина льна тем, что ее протонема сохраняется почти на протяжении всего жизненного цикла, за исключением периода образования органов спороношения. А прославилось это растение тем, что, живя в пещерах, вызывает в них свечение. Сразу оговоримся, что оно не имеет ничего об-



Схистостега перистая.

щего со свечением, возникающим при окислении люциферина, с помощью люциферазы, о котором мы говорили в разделе «Лесные и морские фонари». По-видимому, немецкий поэт и ботаник Гете имел в виду именно это удивительное растение, когда писал в поэме «Фауст» о прогулке Мефистофеля с Фаустом в горах Гарца:

*Не освещает ли для пира  
Здесь Маммон пышно свой чертог?*

Схистостега перистая очень часто встречается в горах Средней Европы. Она нередко светится в полумраке пещер и расщелинах скал, создавая такое впечатление, будто там зажжены мириады мельчайших лампочек, излучающих загадочное изумрудное сияние. Местные жители сложили о нем немало легенд, в которых человек, добывший драгоценности, всегда оставался, как говорится, у разбитого корыта: оказавшись на свету, дорогие самоцветы меркли, превращались в прах, подобно тому, как гаснет схистостега.

Схистостега обитает в очень своеобразных условиях: слабая освещенность, почвы кислые и бедные гумусом, температуры низкие, а влажность воздуха высокая. Немного найдется на Земле видов, способных жить рядом со схистостегай. Отсутствие конкурентов и позволило этому оригинальному мху освоить

очень своеобразную экологическую нишу — пещеры, гроты и даже дупла деревьев. Среда обитания наложила отпечаток на его анатомическое строение. Из-за высокой влажности испарение воды растением затруднено, поэтому устьица у этого мха отсутствуют. Но самое интересное, что именно особенности строения определяют оптические свойства схистостеги: мох излучает не собственный, а отраженный свет, подобно тому как «светятся» глаза некоторых животных. Для этой цели протонема схистостеги перистой снабжена особыми пластинчатыми структурами, сидящими на прямостоячих веточках, растущих по направлению к свету, что позволяет пластинкам располагаться перпендикулярно по отношению к слабым световым лучам, проникающим в пещеру. Пластинчатые структуры состоят из клеток шаровидной или линзообразной формы. Передняя стенка этих клеток, обращенная к свету, имеет сферическую форму, а задняя — воронкообразную. В углублении задней стенки располагаются четыре — шесть хлоропластов, а у передней — вакуоля, играющая роль линз. Слабые лучи рассеянного света, проникая в пещеру, падают на клетки пластинки и с помощью вакуолей концентрируются на хлоропластах, осуществляющих процесс фотосин-

теза. Часть падающих на хлоропласты лучей отражается задней стенкой клетки в виде изумрудно-зеленого свечения. Человеку, оказавшемуся в пещере, населенной схистостегой, кажется, что своды усыпаны драгоценными камнями. Способность отражать лучи позволяет хлоропластам более экономно использовать скудный свет, проникающий в пещеру.

Схистостега перистая — очень древнее растение. Она сохранилась на Земле с мезозойской эры. В третичном периоде этот миниатюрный мох можно было встретить на больших пространствах. В настоящее время это единственный представитель единственного в семействе схистостегиевых рода. Ареал вида очень широк. В нашей стране его можно встретить в горах Дальнего Востока и в Сибири, а в европейской части СССР — от Карелии до Днепрпетровска. Немало схистостеги перистой произрастает в Карпатах. Этим растением можно любоваться в пещерах и скалах горы Пожижевской, расположенной недалеко от стационара Института ботаники АН УССР.

В пещерах тропических стран сходный эффект вызывают мхи из рода циатодиум (*Cyathodium*), особенно циатодиум пещерный. Свечение его также возникает в результате отражения световых

лучей линзообразными клетками, расположенными на поверхности тела.

Уж коли речь зашла об оптических системах растений, следует упомянуть и об эписции медной (*Episcia cingulata*) — очень красивом травянистом представителе семейства геснериевых, уроженце Колумбии. Характерный признак эписции — наличие свисающих или стелющихся побегов, схожих с усами земляники. Выращивают эписцию медную, как ампельное растение, которое привлекает внимание множеством хорошо заметных, ярко-красных цветков, но особую декоративность ей придают овальные, сильно опушенные листья. У них необычная коричневатозеленая окраска и белый рисунок вдоль средней жилки. Листовые пластинки как бы отливают красивым металлическим блеском.

Как и протонема схистостеги перистой, листья эписции медной обладают способностью отражать свет в том направлении, откуда он падает на них. Природный механизм этого явления человек применил в автодорожном деле: свечение дорожного знака в темноте при освещении его фарами автомашины сходно с реакцией на свет схистостеги. Освещенные листья эписций не просто блестят, они как бы загораются огнем. Такой эффект возникает бла-

годаря особенностям строения эпидермиса их листьев.

Если у схистостеги перистой оптическая система предназначена для улавливания и усиления слабого светового потока, то перед другими растениями стоит иная проблема — как ослабить интенсивность солнечного света.

В середине XVII века в Англии начали культивировать представителей семейства аизооновых. Один из них — мезембриантемум хрустальный (*Mesembryanthemum crystallinum*) стал широко распространенным декоративным растением. В народе его прозвали ледяной травой из-за развития на листьях особых сосочков, наполненных водой. Блестящая поверхность этих сосочков эффективно отражает солнечные лучи.

Родина мезембриантемума хрустального — Северная Африка, но большинство аизооновых распространено главным образом в Южной и Юго-Западной Африке. Многочисленны они в Капской области, особенно на проскогорье Карру. Здесь мало выпадает осадков — 100—300 миллиметров в год, а ночные температуры опускаются порой ниже 0 °С. В южноафриканской полупустыне Намакваленд обитает оригинальное небольшое растение фенестрария (*Fenestraria*). Название его образовано от латинского слова «фенестра» — окно. И это не случай-

но. В естественных условиях оно почти полностью погружено в субстрат, который предохраняет фенестрарию от перегрева палящими лучами солнца и обезвоживания. Как же это растение осуществляет процесс фотосинтеза?

Оказалось, что у него на поверхности почвы остаются кончики булавовидно вздутых сочных листьев. Это своеобразные оконца, через которые солнечный свет проникает в растение. Каждый булавовидный лист, по существу, представляет собой крошечную теплицу. Кончик его, выступающий из почвы, прозрачен, как стекло. Благодаря этому солнечные лучи попадают внутрь растения, почти не ослабевая. Правда, расположенные в поверхностных клетках листа кристаллы оксалата кальция способствуют рассеиванию света, подобно матовому стеклу. Затем свет свободно проходит через водянистую прозрачную ткань, заполняющую внутренность листа, и, прежде чем попасть на находящиеся под землей внутренние стенки листа, где располагаются хлоропласты, рассеивается ею до оптимальной интенсивности. В результате стенки листа освещаются равномерно.

Получается своеобразная крошечная теплица, создающая оптимальные условия для протекания процесса фотосинтеза и жизнедеятель-

ности фенестрарии в чрезвычайно суровой обстановке.

Итак, растения обладают различными оптическими системами, предназначенными для восприятия и лучшего использования света. Любопытно в связи с этим отметить, что в человеческом организме, как показали исследования, проведенные недавно в Институте клинической и экспериментальной медицины Сибирского отделения АМН СССР, существует своя система световодов. Это каналы акупунктуры, описанные под названием «меридианы» несколько тысячелетий назад древними китайскими врачами. И когда мы загораем на солнце, не воздействует ли свет на расположенные в глубине нашего тела органы?

### **Семена после взрыва**

Любопытство ученых не знает пределов. Некоторые исследователи задавались целью выяснить, каким образом влияет ударная волна на семена. Опыты проводили с семенами двудольных растений (репы, укропа, огурцов, редьки), которые помещали в многослойные марлевые пакеты, замачивали в течение суток в воде, а затем опускали в специальный большой сосуд с водой на разном расстоянии от заряда взрывчатого вещества.

При взрыве в воде распространяются ударные волны.

Чем ближе находятся семена к центру взрыва, тем сильнее на них действует взрывная волна. После эксперимента их высадили в открытый грунт.

Семена, подвергнутые действию давления в два килобара, сначала прорастали медленно. Однако через 7—10 дней, к удивлению исследователей, опытные посевы догнали в росте контрольные. В конце опыта размер корнеплодов опытной репы в полтора раза превышал нормальные.

Разумеется, эти опыты еще нельзя рассматривать в качестве основы для внедрения приема в практику. Тут многое еще нужно исследовать. Тем не менее правомочно предположить, что, воздействуя взрывной волной на семена, возможно, удастся получить наследственные изменения, которые станут «сырьем» для селекционного процесса. Ведь при резком изменении давления в клетках, наверняка, меняется структура генов и хромосом: некоторые из этих изменений, может быть, окажутся полезными.

### **«Ветер, ветер, ты могуч...»**

Мы настолько привыкли к ветру, то ласковому и нежному, то пронизывающему до костей, что не задумываемся, как он влияет на растения. Между тем с давних времен народы разных стран признавали, что

ветер оказывает воздействие на рост сельскохозяйственных культур. В старом русском календаре был день Лукьяна Ветренника, приходившийся на 16 июня. В этот день рекомендовалось внимательно наблюдать за направлением и силой ветра: «На Лукьяна, в канун Митрофана, не ложись спать рано, а приглядывайся, откуда ветер дует». Южный гость радовал сердце крестьянина — яровые будут хорошо расти. А вот северо-восточный считался вредным для налива ржи. Вера в примету была так велика, что вечером на Лукьяна люди выходили в поле «окликать» ветер. При этом просили его: «Ты подуй-ка теплом теплым, ты пролей-ка, ветер-ветрило, на рожь-матушку, на яровину-яровую, на поле, на луг — дожди животворные, к поре, да ко времечку». Люди еще наивно верили в божественную сущность явлений природы. Вместе с тем обратите внимание на конкретность просьбы людей к ветру: его понуждали принести тепло и влагу, столь необходимые для роста растений, причем, «к поре, да ко времечку». В «окликании» ветра проявляется наблюдательность и любознательность русского крестьянина, его понимание биологических особенностей растений.

В Древнем Риме специалисты в области сельского хозяйства также придавали бо-

льшое значение ветру как фактору роста растений. Плиний Старший в «Естественной истории» писал: «Больше всего деревья любят аквилон<sup>1</sup> и с той стороны, откуда он дует, бывают гуще, пышнее и крепче древесиной. Тут многие ошибаются; дело в том, что не следует в виноградниках ставить ограждения против этого ветра, а надо сохранять их только с северной стороны».

В последние годы физиологи исследовали некоторые аспекты действия ветра на растения. Было установлено, что интенсивное движение воздуха вызывает возрастание испарения воды листьями. Если корни не успевают снабжать растение в достаточной степени водой, то рост его тормозится. Это связано с тем, что усиление ветра приводит к потере большого количества тепла, к переохлаждению растения.

Опытным путем довольно легко можно установить, что это действительно так. Если на проростки овса направить поток воздуха от вентилятора, то интенсивность испарения воды у них может возрасти в полтора раза, а рост затормозится.

На участках, подверженных длительному воздействию ветров, плохо растут осина, бук и другие деревья. Особенно чувствительны те виды, листья

<sup>1</sup> Северо-восточный ветер.

которых имеют тонкий эпидермис, легко теряющий много воды.

Ветер не только усиливает процесс испарения воды, он оказывает на растения механическое воздействие, вызывая сгибание деревьев, удары веток друг о друга, трение листьев. Влияет ли это на темпы роста растений? Американские исследователи установили, что различные виды механических воздействий, имитирующие ветер, например потряхивание, сгибание, потирание стебля, приостанавливают рост томатов и гороха. Незначительное потряхивание растений (один-два раза в день) приводит к уменьшению числа узлов и листьев, укорачиванию междоузлий, усилению развития боковых побегов.

При сильном ветре некоторые растения вообще избавляются от листьев. Так, например, поступает обитатель Антильских островов — бриофиллум, нередко украшающий наши квартиры.

Следует иметь в виду, что слабое движение воздуха усиливает интенсивность фотосинтеза и рост растений, отрицательное действие наблюдается лишь при штормовом ветре. Неудивительно, что растения лучше растут в защищенных местах. Это обстоятельство должно рассматриваться в качестве веского довода в пользу создания лес-

ных защитных полос вокруг полей.

Деревья, растущие по берегу моря и в горах, очень часто имеют флагообразную форму. Их крона вытянута в ту сторону, куда постоянно дуют сильные ветры. В горах Прибайкалья, на границе леса, встречаются пихты с особой формой кроны: она располагается в верхней и нижней части ствола, а посередине он голый. Причина этого явления в следующем. Зимой нижние ветви пихт бывают надежно защищены снегом и не повреждаются сильными ветрами, которые разгоняют снежинки до таких скоростей, что они травмируют выступающие над поверхностью снегового покрова ветви. Так возникают «двухэтажные» пихты.

А в нескольких десятках километров от Кокчетавы находится прославленный курорт Боровое (по-казахски Бурабай). Здесь прекрасные сосновые боры, озера с прохладной чистой водой, гранитные скалы, превращенные ветрами и дождями в фантастические фигуры и подобие средневековых замков. Но более всего поражает отдыхающих... танцующий березовый лес. Белоствольные красавицы, произрастающие на берегу озера, имеют причудливую форму, словно кружатся в сказочном вальсе. А главный руководитель этого ансамбля — ветер.

Не все деревья одинаково



противостоят сильному ветру. Дуб и сосна справляются с ветрами силой в восемь баллов, а вот в еловых лесах ветровалы и буреломы — довольно частые явления. Кстати, и сосны, выросшие на суглинистом субстрате, также неустойчивы к ветрам вследствие того, что глина способствует формированию у сосны рыхлой древесины.

Некоторые деревья тропических лесов, например сейба, образуют особые, так называемые досковидные, корни, которые делают их очень устойчивыми к ураганам, нередко случающимся в тропиках.

А вот в космосе приходится заботиться о том, чтобы растения постоянно подвергались действию ветра. Дело в том, что в условиях невесомости не происходит конвекции. Следовательно, не наблюдается пе-

ремешивания воздуха. Углекислый газ, находящийся поблизости от листьев растений, усваивается ими полностью в ходе фотосинтеза, что тормозит интенсивность этого важнейшего процесса. Для того чтобы воздух вблизи растений лучше перемешивался, космонавтам приходится создавать искусственный ветер.

### **Поговорим о фитогормонах**

Выше мы рассматривали влияние различных внешних воздействий на рост растений. Однако этот процесс зависит и от внутренних факторов. Говоря о темпах роста растений, мы неоднократно упоминали вещества-регуляторы, вырабатываемые самими растениями. Настало время подробнее познакомиться с ними. Но прежде напомним некоторые поло-

жения из учебника анатомии, физиологии и гигиены человека. В нем сказано, что в человеческом организме вырабатываются гормоны — вещества высокой физиологической активности, которые оказывают свое действие, присутствуя в ничтожно малых концентрациях.

Гормоны продуцируются железами внутренней секреции. Попадая в кровь, они участвуют в регуляции функций человеческого организма. В частности, гипофиз — железа, располагающаяся под основанием головного мозга, — вырабатывает гормон роста. Недостаток его в организме приводит к тому, что взрослый человек достигает размеров 5—6-летнего ребенка.

Растения также вырабатывают гормоны, влияющие на физиологические процессы. Их называют фитогормонами (от слова «фитон» — растение). Это вещества высокой физиологической активности, которые синтезируются определенными клетками и предназначены для регуляции деятельности других клеток.

Основная функция фитогормонов — управление ростовыми процессами. Одни из них стимулируют рост (ауксины, цитокинины, гиббереллины), другие ингибируют его (абсцизовая кислота).

## **Верхушка coleoptily — кладезь ауксинов**

Открытию ауксинов способствовали исследования Ч. Дарвина. Если растение подвергнуть одностороннему освещению, то оно изогнется по направлению к свету. Очень удобно изучать это явление на coleoptily — первом неистоящем листе злаков. Он бесцветен и имеет форму вытянутого кверху заостренного колпачка. При прорастании семян пшеницы, овса, ржи и других злаков coleoptily, пробиваясь между почвенными частицами, защищает от механических повреждений находящуюся внутри почечку. На поверхности почвы оно разрывается, и из него появляется уже настоящий лист.

В 1897 году Ч. Дарвин пришел к заключению, что изгиб coleoptily злака по направлению к источнику света зависит от наличия верхушки. Если ее удалить, то изгиба не будет. Ученый предположил, что она вырабатывает какое-то вещество, которое, перемещаясь вниз по coleoptily, вызывает его изгиб. В работе «Способность растений к движению» Ч. Дарвин писал: «Эти результаты, по-видимому, заставляют предположить наличие в верхней части (coleoptily) какого-то вещества, на которое действует свет и которое передает его действие в нижнюю часть».

Позднее было отмечено также, что после обезглавливания колеоптиля не только перестает изгибаться в сторону света, но и вообще прекращает расти. Это происходит буквально через несколько часов после удаления верхушки. Если же ее приставить к обезглавленной части, то рост возобновляется. Колеоптиль будет расти, если между срезанной верхушкой и обезглавленной частью поместить тонкий слой желатина или агар-агара. И, напротив, если между ними вставить полоску оловянной фольги, колеоптиль расти не будет. Значит, верхушка вырабатывает какое-то вещество, необходимое не только для изгиба колеоптиля по направлению к свету, но и для его роста. Непроницаемая преграда (фольга) на пути этого вещества — причина остановки роста листа-первопроходца.

Для того чтобы доказать зависимость роста колеоптиля от вещества, вырабатываемого верхушкой, ученые проделали следующий опыт. Срезали верхушку, поместили ее на крошечный кубик из агар-агара или желатина и выдержали в таком состоянии менее часа. После этого кубик приложили к месту среза на колеоптиле, и он довольно быстро начал расти. Значит, верхушка действительно вырабатывает некое вещество, стимулирующее рост. Сначала оно было по-

глощено агаровым (желатиновым) кубиком, а затем диффундировало в «обезглавленную» часть колеоптиля и вызвало ростовой эффект.

Теперь перед учеными встала задача выделить регулятор роста растений и выяснить его химическую природу. Задача оказалась очень трудной. Ведь искомое вещество присутствует в верхушках колеоптилей в ничтожно малых количествах.

Выделенное вещество называли ауксином. По химической природе он является индолилуксусной кислотой (ИУК). Есть у него и другое название — гетероауксин. Ауксиноподобным действием обладают и другие вещества, выделенные из растений, но почти всегда их активность можно объяснить превращением в индолилуксусную кислоту.

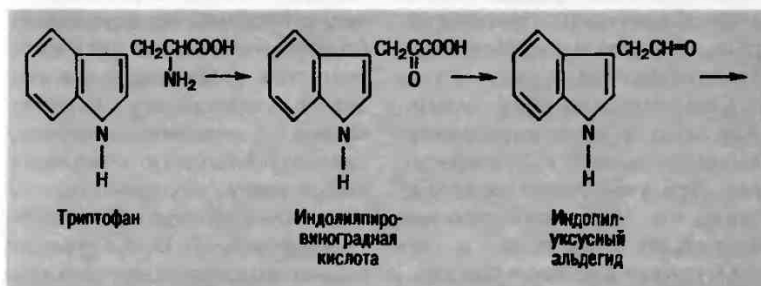
Следует заметить, что в настоящее время известна большая группа синтетических препаратов, которые, не будучи продуктами жизнедеятельности самих растений, вместе с тем обладают способностью стимулировать рост подобно индолилуксусной кислоте. К ним относятся индолилпировиноградная, индолилмасляная, нафтилуксусная, хлорфеноксисуксусная, 2,4-дихлорфеноксисуксусная кислоты и другие соединения. Гетероауксин обнаружен в высших и низших растениях, а также в слюне

и моче животных и человека.

Каким же образом индолилуксусная кислота синтезируется в растениях? Ученые установили, что она образуется из аминокислоты триптофана. Ферменты, катализирующие превращение триптофана в индолилуксусную кислоту, очень широко распространены в растениях. Особенно высока их активность в зонах с интен-

сивным обменом веществ, например в верхушке стебля и кончике корня, распускающихся листьях, формирующихся плодах.

Наиболее распространенный в природе путь превращения триптофана в индолилуксусную кислоту связан с образованием индолилпировиноградной кислоты и индолилуксусного альдегида:



Существуют и другие пути образования этого вещества в растениях.

Содержание ауксинов в различных растениях неодинаково. Например, в стеблях лилии их в сто раз больше, чем в стебле подсолнечника.

Больше всего ауксинов в растительных тканях, обладающих интенсивным ростом.

Хорошо известно, что стебель двудольного растения растет своей верхушкой. Активность его роста снижается от верхушки к основанию. Одновременно в том же направлении происходит уменьшение содержания ауксинов. Это связано с тем, что по мере удлинения стебля верхушка, вырабатывающая ауксины, все более и

более отдаляется, вследствие чего количество гормонов, достигающих нижних клеток, постепенно сокращается. Со временем рост находящихся внизу клеток прекращается, поскольку к ним не поступают ауксины.

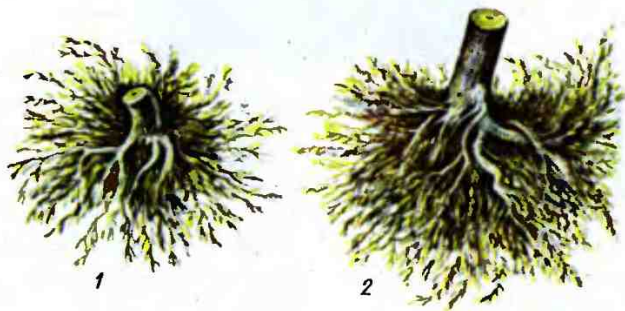
Передвижение ауксинов по растению может быть временно приостановлено с помощью наркотиков, например эфира, хлороформа и других. После снятия анестезии транспортировка их вниз по стеблю восстанавливается.

Скорость миграции ауксинов зависит от интенсивности дыхания тканей и температуры. При увеличении температуры на 10 °С она обычно возрастает в три раза.

Открытие растительных гормонов явилось научным обоснованием предположения Ч. Дарвина о причине изгиба растений под влиянием света. Ученый оказался прав: пока верхушка вырабатывает веще-

ство, существование которого было им предсказано, то есть гетероауксин, колеоптиль обладает способностью изгибаться по направлению к свету. Выяснилось, что под действием одностороннего освещения концентрация ауксина на освещенной и затененной части колеоптиля становится неодинаковой. На освещенной количество его убывает, и поэтому клетки растут медленнее. Напротив, на затененной стороне содержание ростового вещества возрастает, что ведет к ускоренному делению клеток. В результате колеоптиль изгибается по направлению к свету.

Опыты известного физиолога растений Ф. Вента убедительно подтверждают исключительную роль ауксина в возникновении изгибов растений. На крошечные агаровые пластинки ученый помещал срезы верхушки колеоптилей овса, которые заряжали ага-



Корневая система 18-летних лип:

1 — контрольного растения; 2 — обработанная гетероауксином.

ровые блоки ауксином. Если теперь такой блок закрепить на одной из сторон обезглавленного колеоптиля овса, то через некоторое время последний изогнется в противоположную сторону. Изгиб будет тем сильнее, чем больше ауксина содержится в агаровом блоке. Этот метод был использован в научных целях для определения содержания ауксинов в растительных тканях и получил название «овсяная проба Вента».

Открытие ауксинов привлекло внимание химиков. Оказалось, что индолилуксусная кислота синтезирована ими еще в 1885 году. Но ученые не подозревали, что это вещество образуется в растительных тканях и играет столь важную роль в процессах роста. Начались интенсивные исследования влияния синтетической ИУК на разные растения и их органы. Оказалось, что ауксины резко усиливают образование корней у черенков, предотвращают опадение завязей, способствуют образованию так называемых партенокарпических плодов, то есть полученных в результате разрастания завязи вне связи с оплодотворением. Партенокарпические плоды бессемяны, но нередко содержат больше сахаров и сухих веществ по сравнению с нормальными плодами. На практике ауксины используются для ускорения корнеобразования у труд-

нокореняемых черенков, предотвращения опадения завязей, получения партенокарпических плодов.

### **Эликсир для кишмишного винограда**

В Японии, Китае, Индии, Шри-Ланке и на Филиппинах встречается болезнь риса под названием бакаиэ, что в переводе означает «дурные побеги». Наиболее характерный ее признак — появление высоких тонких побегов, значительно обгоняющих в росте здоровые растения. Больные особи имеют также большие междоузлия, более тонкие и узкие листья. Листовые пластинки у них хлоротичные, бледно-зеленого цвета. Колосья образуются небольшие, поэтому урожай риса в случае заболевания незначительный. Велика, говорят, Федора, да...

В 1920 году выпускник японского сельскохозяйственного колледжа Куросака занялся разработкой методов борьбы с этим заболеванием, которое в те времена причиняло серьезный ущерб рисовым плантациям. Он предположил, что усиленное вытягивание растений вызывает некое физиологически активное вещество, которое выделяет паразитирующий на больных растениях грибок гибберелла. В 1926 году Куросава установил, что профильтрованный экстракт среды, на которой культи-

вировался этот грибок, оказывает влияние на рост проростков риса и кукурузы, причем они становятся похожими на пораженные баканэ. Проанализировав выделения других грибков, он не обнаружил такого влияния.

Открытие японского ученого стало началом широкого исследования этой проблемы. В середине 30-х годов его соотечественники ученые Ябута и Сумики выделили из питательной среды, на которой культивировался грибок гибберелла, физиологически активные вещества. По своему составу они оказались сложными органическими соединениями, не содержащими азота. Им дали название гиббереллины.

В связи с началом второй мировой войны, а также из-за малой доступности литературы на японском языке работы по гиббереллинам длительное время оставались неизвестными в других странах. Лишь в 1950 году начались исследования гиббереллинов в США и Англии, а в 1957 году в Советском Союзе. В нашей стране эту работу возглавила лаборатория физиологии роста и развития растений Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева. В 1960 году гиббереллинами занимались уже 100 научно-исследовательских и учебных учреждений.

В это время я был студентом второго курса. Помнится, профессор ботаники Ольга Ива-

новна Морозова сказала мне, что из Академии наук поступил 1 грамм гиббереллина — вещества, которое следовало бы испытать на растениях. Если у меня есть желание заняться этой проблемой, то нужно подумать, какие растения следует взять для экспериментов. Я кое-что уже слышал о паразитических свойствах этого вещества, и конечно же предложение Ольги Ивановны меня заинтересовало. На следующий день я сказал ей, что хотел бы испытать его на кукурузе (в те годы эта культура пользовалась в нашей стране всеобщим вниманием) и... росянке.

— Почему на росянке? — удивилась Ольга Ивановна.

— Ну как же: вырастет росянка большой-пребольшой и станет кусаться...

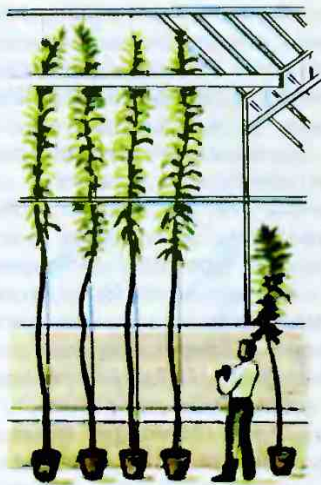
Весной 1961 года перед закладкой полевых опытов мы встретились на агробиостанции института с доктором биологических наук К. Е. Овчаровым, сотрудником Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева. Одобрив мое намерение работать с кукурузой (о росянке упомянуть я уже не решился), Константин Ефремович, изучавший в то время витамины растений, сказал:

— Сейчас многие ставят опыты с гиббереллином. Если мы хотим получить новые оригинальные данные, то, может быть, следует попробовать использовать его вместе с вита-

мином  $B_2$  — рибофлавином.

Так мы и сделали: составили схему опыта, включающую четыре варианта: контроль, гиббереллин, витамин  $B_2$ , гиббереллин + витамин  $B_2$ . Только потом я узнал, что мысль использовать гиббереллин вместе с рибофлавином возникла у Константина Ефремовича не случайно. Опыты с табаком, проведенные в его лаборатории, доказали, что обработка гиббереллином снижает содержание витамина  $B_2$ . Аналогичные результаты получил и я, экспериментируя на кукурузе, сахарной и кормовой свекле. Ну а если это так, то добавление рибофлавина к гиббереллину может усилить его положительное действие на рост растений и снять некоторые отрицательные эффекты, вызванные фитогормоном. Хорошо известно, что гиббереллин снижает в растениях содержание хлорофилла и очень часто белка. Между тем рибофлавин играет важную роль в азотном и энергетическом обмене живых организмов. При добавлении его к гиббереллину удастся ликвидировать хлороз, повысить питательную ценность растений за счет увеличения содержания белка. Опытные экземпляры вырастают такими же высокими, как при использовании одного гиббереллина, но менее полегающими, более мощными.

В настоящее время известно свыше 50 гиббереллинов, не-



Табак сорта Мамонт, обработанный гиббереллином.

значительно отличающихся по своей структуре. Из них наиболее известны гибберелловая кислота (гиббереллин  $A_3$ ). Установлено, что эти вещества образует не только грибок гибберелла, но и высшие растения. Так, их обнаружили в листьях, стеблях, корнях, плодах и семенах. В настоящее время уже нет сомнений в том, что гиббереллины — продукты нормального обмена веществ растительных организмов. Их по праву относят к фитогормонам.

Наиболее характерная реакция растений на обработку гиббереллином — удлинение стебля. Особенно сильно она проявляется у карликовых и розеточных растений. Карликовые особи кукурузы и гороха

после обработки гиббереллином достигают нормальных размеров после воздействия всего 1 миллиграмма фитогормона на каждое растение.

Значительное усиление роста наблюдается у растений конопли, обработанных гиббереллином. Если высота контрольных особей составляет 2—2,5 метра, то пятикратное опрыскивание растений раствором гиббереллина концентрацией 10—100 мг/л приводит к увеличению их размеров в два раза. Препарат прошел производственные испытания в посевах конопли и показал высокую эффективность. Несмотря на относительную дороговизну, применение его дает чистую прибыль 900 рублей с гектара.

Использование гиббереллина значительно повышает уро-

жай бессемянных (кишмишных) сортов винограда. Так, например, урожайность сорта Чауш возросла на 50—100 процентов. Существенно увеличивается также урожай некоторых кормовых трав и овощных зеленных культур, ускоряется зацветание отдельных декоративных растений. Эффективность вещества зависит от концентрации. Высокие дозы не только не стимулируют рост, но и тормозят его.

Выращивание картофеля в южных районах нашей страны связано с трудностями, обусловленными вырождением семенного материала. Для преодоления этого явления предложено производить летние посадки картофеля с использованием свежесобранных клубней. Однако внедрению в практику двухурожайной куль-



туры картофеля препятствует то обстоятельство, что свежесобранные клубни большинства сортов, находясь в состоянии покоя, при летних посадках не прорастают. Чтобы вывести клубни из покоя, прибегают к стимуляции их с помощью гиббереллина. Концентрация раствора этого препарата и время обработки зависят от сорта картофеля. Так, например, клубни сорта Цапникавский с неглубоким покоем обрабатывают в течение 30 минут раствором концентрацией 1 мг/л, а для клубней с более глубоким покоем и время обработки, и концентрацию раствора увеличивают вдвое. В 1966 году в совхозе «Авангард» Николаевской области на трех гектарах посадок картофеля использовали клубни прошлогоднего урожая, а на 26 — свежесобранные, обработанные гиббереллином. При одинаковой агротехнике с первого участка собрали по 98 ц/га, а со второго — по 218.

Отмечено положительное влияние гиббереллина на плодоношение садовой земляники. Опрыскивание растений, проведенное в начале цветения, на стадии формирования цветков, способствует увеличению числа и размера цветоносов, ускорению цветения. Ягоды быстрее созревают, улучшаются их вкусовые качества. В плодах накапливается больше сахара и меньше кислот.

Гиббереллины применяются также при возделывании цитрусовых, ревеня, сельдерея и других культур.

В основе положительного влияния гиббереллина на рост растений лежит усиление роста клеток. Существенные сдвиги происходят также и в обмене веществ. В некоторых случаях наблюдается значительное усиление интенсивности процесса фотосинтеза, повышение эффективности энергетического обмена. В результате этого создаются материальные и энергетические предпосылки для интенсивного роста. Следует отметить, что гиббереллины, оказывая влияние на рост клеток, в то же время значительно отличаются в этом отношении от ауксинов. Они усиливают рост растений в длину, но не в толщину.

Нередко у людей, впервые узнавших о гиббереллинах, возникает вопрос: не будут ли вредными для человека продукты, полученные с обработанных препаратом растений? Вопрос вполне естественный и обоснованный, тем более что в последнее время много неслучайных слов сказано относительно химизации сельского хозяйства. В связи с этим можно сказать следующее. Обработка растений гиббереллинами, как мы видели, производится растворами очень слабой концентрации. При этом одно растение получает ни-

чтожное количество препарата (для гороха, как уже отмечалось, 1 миллиграмм). Поскольку эти вещества не являются чужеродными для растений, последние обладают ферментами, которые разрушают их до неактивных продуктов. Обычно это происходит до съема продукции. Но даже если предположить, что некоторое количество все же попало в организм человека, не следует ожидать отрицательных последствий, так как и для человеческого организма гиббереллины не являются чужеродными: поедая зеленые растения (лук, укроп, петрушку, огурцы...), мы вводим в свой организм некоторое количество этих веществ даже в том случае, если эти растения не были обработаны фитогормонами.

### **Ошибка ассистента, ставшая крупным открытием**

Цитокинины были открыты в 1955 году, то есть ровно через сто лет после того, как М. Я. Шлейден (1804—1881) — один из содателей клеточной теории — написал: «Весь растительный мир, если на него смотреть не только как на материал для гербария, дает человеку такое разнообразие взаимосвязей, что всякий, кто посвятит себя их изучению, в дальнейшем будет скорее подавлен постоянно возникающими интересными вопросами

и задачами, чем станет сетовать на недостаток материала». Действительно, чем глубже мы познаем мир растений, тем больше возникает загадок.

Итак, в 1955 году было выделено вещество, которое активно стимулировало деление растительных клеток. Произошло это довольно своеобразно. Американского ученого Ф. Скуга, работавшего в Висконсинском университете, интересовал вопрос, каким образом можно заставить клетки сердцевинной паренхимы табака делиться на искусственной питательной среде. Для выяснения этого вопроса в питательную среду вводились различные компоненты. Учитывая важную роль дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) в жизни клеток, Скуг предположил, что это вещество должно стимулировать клеточные деления. Из спермы сельди была извлечена ДНК, простерилизована для исключения влияния посторонней микрофлоры и введена в питательную среду. Увы, клетки не реагировали на ДНК. Опыт повторяли вновь и вновь, но результат был прежним. И вдруг во время одного эксперимента кусочек растительной ткани начал быстро расти, клетки, составляющие его, словно ожили, стали быстро делиться. Исследователи тщательно проанализировали результаты этого эксперимента

и пришли к выводу, что во всем виноват... ассистент, стерилизовавший ДНК: он нечаянно нарушил режим стерилизации, в результате чего нежные молекулы ДНК подверглись гидролизу с образованием производного одного из четырех пуриновых оснований, участвующих в образовании ДНК. Это вещество и оказалось мощным фактором деления клеток. Его назвали кинетином. Напомню, он был получен из ДНК спермы сельди, а потому чужероден для растений. Однако в 1964 году в незрелых зерновках кукурузы было обнаружено вещество со сходной структурой и аналогичным действием на клетки культивируемых растительных тканей. Оно было названо зеатином (от латинского названия кукурузы *Zea*). Стало ясно, что в растениях существует новый класс фитогормонов, названный цитокининами.

Ауксины вырабатываются в точках роста, откуда они перемещаются вниз по растению, а цитокинины образуются в корнях и поднимаются вверх, способствуя формированию и росту почек. Если перерезать ствол виноградной лозы и собрать выделяющийся из пенька сок, то в 10 литрах этого сока можно обнаружить 0,5—1,0 миллиграмма цитокинина. Богаты этим веществом семена и плоды, где оно также, по-видимому, синтезируется.



Задержка старения листа нанесением кинетина (верхняя часть изолированного листа табака 10 дней назад была обработана раствором кинетина концентрации 30 мг/л).

Большой вклад в изучение цитокининов внесли работы доктора биологических наук О. Н. Кулаевой. Приступая к исследованиям в этой области, она совместно с профессором из ГДР К. Мотесом обнаружила, что сок, выделяемый пеньком срезанного растения табака, воздействуя на изолированные стареющие листья растений, производит омолаживающий эффект. Обработанная им половина желтеющего листа вскоре становится зеленой. Точно такое же действие оказывает на отдельные стареющие листья кинетин. На основании этих простых, но наглядных опытов был сделан вывод, что корни синтезируют цитокинины.

Цитокинины нашли применение при культивировании растительных тканей на искусственной питательной среде. Однако в практике растениеводства они еще не употребляются. Главным образом это связано с весьма высокой стоимостью этих препаратов. Ученые работают над биотехнологическим методом производства цитокининов.

В начале 70-х годов кафедре, где я работал, удалось заполучить 10 граммов кинетина (6-фуруриламинопурина) чехословацкого производства. Это было поистине богатством, так как появилась возможность проверить некоторые направления его использования в практике растениеводства.

В то время меня интересовала проблема опухолей растений. Было известно, что в опухолях количество цитокининов возрастает. Поскольку клетки опухолевых тканей интенсивно делятся, можно было предполагать, что это связано с действием цитокининов. Опухоли растений делят на две группы: автономные и неавтономные. Клетки первых приобретают способность к нерегулируемому синтезу ауксинов и цитокининов, причем «выключить» этот механизм синтеза фитогормонов не представляется возможным. Другие опухоли синтезируют ауксины и цитокинины только на первых этапах, а затем

сами прекращают их выработку. Это, например, рак картофеля, кила крестоцветных... По существу, клубеньки на корнях бобовых растений не что иное, как неавтономные опухоли. Когда-то клубеньковые бактерии паразитировали на корнях бобовых, образуя опухоли. Затем в ходе эволюции между бактериями и растениями сложились симбиотические взаимоотношения: растение стало снабжать бактерии сахарами, синтезируемыми в ходе фотосинтеза, а те — обеспечивали его азотсодержащими соединениями, образующимися в результате фиксации атмосферного азота. При этом сами опухоли стали средой обитания клубеньковых бактерий, превратились в полезную принадлежность многих бобовых растений.

Возникла мысль: если клубеньки по сути своей являются опухолями, для образования которых необходимы цитокинины, то, обработав растения кинетином, мы должны увеличить их число. Опыты с клевером, люпином, кормовыми бобами, разными сортами гороха и фасоли подтвердили это предположение. Особенно мощные клубеньковые конгломераты возникли под влиянием кинетина на корнях гороха Бровцына 28. У контрольных растений этого же сорта ничего подобного не было. Увеличение числа клубеньков под влиянием кинети-



на не могло не сказаться на химическом составе и внешнем облике растений. В листьях значительно увеличилось количество общего азота и белка. Неудивительно, что рост опытных растений и их урожайность возросли. Причем чем интенсивнее под влиянием кинетина образовывались у растений клубеньки, тем активнее был их рост, что свидетельствует о том, что действие этого ростового вещества на темпы роста опосредовано через изменения в азотном обмене. Позднее аналогичные результаты были получены и другими исследователями. Таким образом, представляется перспективным применение кинетина в посевах бобовых растений.

По-видимому, эти препараты могут быть использованы для более быстрого отраста-

ния растений после скашивания, ведь цитокинины усиливают рост боковых и пазушных почек, а это как раз и необходимо для достижения весомого второго укоса трав. Хорошие результаты получены при применении цитокининов для продления срока хранения свежих фруктов, овощей и особенно цветов. Мы со студентами проводили такой опыт: срезанные цветущие хризантемы приблизительно одного возраста вставляли в колбы с водой и раствором кинетина. В растворе кинетина они более длительное время сохраняли свежесть. Ничего удивительного в этом нет, ведь цветок — это видоизмененный побег. А одним из наиболее четко выраженных эффектов кинетина как раз и является омоложение стареющих листьев. В опытах с хри-

зантемами отчетливо было видно, что у опытных растений листья длительное время оставались сочными, темно-зелеными, тогда как в контроле сравнительно быстро желтели. Омоложенные листья, в свою очередь, способствовали более длительному сохранению срезанных цветов. Позднее наши результаты были подтверждены в работах зарубежных авторов с розами и гвоздиками. Так что у цитокининов прекрасные перспективы использования в практике. Сейчас важно наладить производство дешевых препаратов и в достаточном количестве.

### **Абсцизовая кислота в растениях и в животных**

Из листьев клена и молодых плодов хлопчатника был выделен ингибитор роста, названный в 1963 году абсцизовой кислотой. Это вещество, как и другие фитогормоны, оказывает на растения сильное воздействие в низких концентрациях, однако отличается от ауксинов, цитокининов и гиббереллинов тем, что не стимулирует, а, напротив, задерживает ростовые процессы.

Абсцизовая кислота найдена во многих цветковых растениях, папоротниках, некоторых мхах и грибах. Она содержится в корнях, откуда вместе с током пасоки подни-

мается к побегам и листьям. Мы уже знаем, что с пасокой движутся в надземную часть растений и цитокинины. Каким же образом эти два фитогормона взаимодействуют в ростовых процессах? Цитокинины, присутствующие в весенней пасоке, пробуждают почки, вызывают разворачивание листьев, а абсцизовая кислота сдерживает рост стебля, направляя питательные вещества на рост листьев.

Если на лист нанести абсцизовую кислоту, то происходит закрывание устьиц. Из этого факта был сделан вывод, что фитогормон образуется в растениях при водном дефиците, когда необходимо уменьшить испарение воды листьями. С закрытыми устьицами растение лучше противостоит засухе. В качестве средства ослабления транспирации абсцизовая кислота может быть использована не только во время засухи, но и при пересадке растений, когда они лишаются части своих корней и не могут в достаточной степени снабжать себя водой. Опрыскивание кроны абсцизовой кислотой способно ослаблять интенсивность испарения воды на 50 процентов. Эксперименты показали, что даже к концу девятого дня после обработки опытные растения испаряли воду на 20—25 процентов слабее контрольных.

В конце вегетационного пе-

риода абсцизовая кислота накапливается в почках, клубнях и других органах, вступающих в период покоя. Когда же растения выходят из этого состояния, количество абсцизовой кислоты в них резко сокращается.

Любопытное сообщение появилось в 1986 году в «Докладах Академии наук США». Оказалось, что в головном мозге млекопитающих обнаружена абсцизовая кислота. Не исключено, что в недалеком будущем мы получим об этом соединении новую интересную информацию.

### **Ускоритель созревания плодов**

Незадолго до первой мировой войны при транспортировке бананов из Центральной Америки в США было замечено, что созревшие плоды оказывают стимулирующее влияние на незрелые, находящиеся в непосредственной от них близости. Кстати, аналогичным образом действуют спелые яблоки. Спустя значительный промежуток времени было установлено, что зрелые плоды выделяют этилен, который и оказывает эффект.

Независимо от этих исследований роль этилена в созревании плодов была установлена совершенно иным путем. Владельцы плантаций цитрусовых в Калифорнии, чтобы ускорить созревание собран-

ных в незрелом состоянии лимонов и апельсинов, использовали печи, отапливаемые керосином. Первоначально предполагали, что тепло — активное начало созревания плодов. Однако замена керосиновых печей батареями парового отопления привела к тому, что они стали поспевать не так быстро.

В дальнейшем было выяснено, что решающее значение имеет не тепло, а продукты сгорания керосина. Исследуя их химический состав, ученые пришли к выводу о причастности этилена к созреванию плодов. Замена керосиновых печей этиленом имела большее значение. Она позволила осуществлять точное дозирование этого газа.

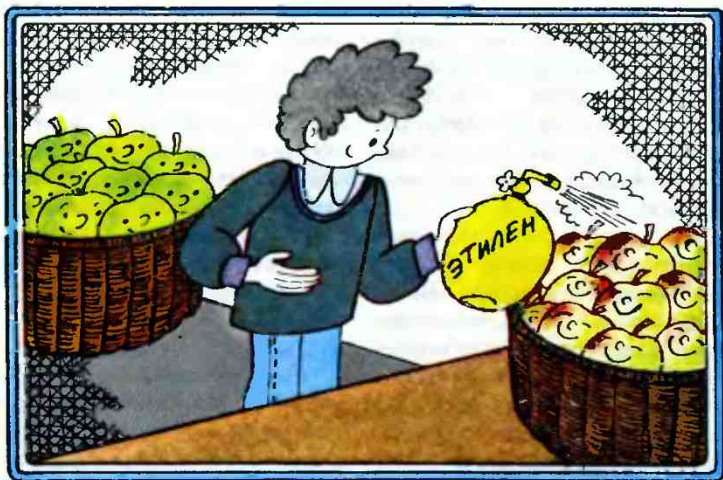
В нашей стране исследованиями в области использования этилена для ускорения созревания плодов много занимался Ю. В. Ракитин. Им был сконструирован прибор для дозаривания плодов, который был внедрен в практику.

В лабораторных условиях этилен можно получить путем воздействия на этиловый спирт концентрированной серной кислотой:

серная  
кислота



В большинстве случаев для ускорения процесса созревания используют смесь этилена с воздухом в соотношении



1:1000 и 1:1000 000. В течение нескольких дней незрелые плоды цитрусовых, томатов, дынь, японской хурмы полностью доходили до кондиции.

### Искусственный листопад

Во второй половине XIX века в ряде крупных городов Западной Европы наблюдалось странное заболевание произрастающих на улицах деревьев. В середине лета у них начинался интенсивный листопад. Больные деревья располагались группами, причем находившиеся в центре группы повреждались наиболее сильно.

Причина этого явления, как оказалось, — загрязнение окружающей среды светильным газом из-за неисправности городских газопроводов. Осо-

бенно бурно реагировали на присутствие газа вязы.

Длительное время причина отрицательного влияния светильного газа на растения была неизвестна. Русский исследователь Д. Н. Нелюбов в 1911 году первым пришел к заключению, что главный виновник болезни деревьев — этилен, входящий в состав светильного газа. Аналогичное действие оказывают на растения табачный дым, дым от тлеющих опилок и бумаги. В них также содержится этот газ.

Мы уже знаем, что этилен продуцируют зрелые плоды. Австрийский физиолог Г. Молиш следующим образом продемонстрировал листопад, вызванный этиленом. В марте он поместил облиственные побеги бирючины (*Ligustrum olivatum*) под стеклянный колпак

вместе с тремя яблоками. Спустя пять дней на побегах не осталось ни одного листа, все они опали. Подобные результаты были получены в опытах с бузиной черной (*Sambucus nigra*) и виноградом. Мимоза стыдливая (*Mimosa pudica*) сбрасывала листья через три дня, а желтая акация (*Caragana arborescens*) — через четыре.

Исследователи установили, что этилен выделяется не только спелыми плодами, но и другими частями растений. Продуцируют его молодые, интенсивно растущие ткани проростков, реже — их междоузлия. В значительном количестве он присутствует в почках яблони, находящихся в состоянии покоя, а также в стареющих листьях перед их опадением.

Какую же роль играет этилен, образованный в растительных тканях? Он вызывает старение листьев, ускоряет созревание плодов, определяет пребывание почек в состоянии покоя. В связи с этим его нередко называют гормоном старения.

Но гормон ли это? Ведь гормоны животных — это всегда твердые вещества, растворенные в крови. Фитогормоны (ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизовая кислота) — тоже твердые вещества, действующие в растениях будучи растворенными в его соках. А тут газ. По этой

причине этилен называют обычно гормональным фактором, который наряду с абсцизовой кислотой выполняет в растениях ингибиторную функцию. Под его влиянием в растительных тканях снижается уровень свободных ауксинов и цитокининов, тормозится рост проростков. Кроме того, этилен регулирует стрессовые реакции растительного организма, возникающие в ответ на неблагоприятные воздействия.

Изучение действия этилена на растения позволило создать ряд препаратов, тормозящих их рост и вызывающих опадение листьев (дефолиацию). Это необходимо, например, при уборке хлопчатника, поскольку листья мешают съему коробочек комбайнами. Эти препараты (этрел, гидрел, дигидрел) нашли применение в практике растениеводства для предотвращения полегания злаков в результате формирования коротко- и толсто-стебельных растений.

### **Клетки растений на искусственной питательной среде**

Первые попытки культивирования изолированных тканей растений относятся к концу прошлого — началу нынешнего столетия. В 1902 году известный ботаник и физиолог растений Г. Габерландт первым четко сформулировал

мысль о возможности выращивания изолированных клеток растений, хотя его собственные попытки культивирования на искусственной питательной среде клеток традесканции — комнатного декоративного растения — не увенчались успехом. Прошло более трех десятилетий, прежде чем был достигнут реальный прогресс в этой области. Подлинными основоположниками метода культуры изолированных органов, тканей и клеток растений стали американский исследователь Филипп Уайт и француз Роже Готре. В 1949 году в нашей стране вышла книга Ф. Уайта «Культура растительных тканей», сыгравшая большую роль в развитии исследований по культуре изолированных органов, тканей и клеток растений в СССР. В 1957 году по инициативе академика А. Л. Курсанова в Институте физиологии растений им. К. А. Тимирязева АН СССР были начаты систематические работы в этой области. В 1970 году в институте была организована лаборатория культуры тканей и морфогенеза, которую возглавила Р. Г. Бутенко, ныне член-корреспондент АН СССР и ВАСХНИЛ.

Сущность метода выращивания изолированных тканей растений заключается в том, что выделенный кусочек ткани стерилизуется для уничто-

жения находящихся на поверхности микроорганизмов и переносится с соблюдением правил стерильности на искусственную питательную среду, включающую в себя минеральные соли, органические вещества (сахара, аминокислоты), фитогормоны (ауксины, цитокинины). Питательный субстрат может быть не только жидким, но и твердым, если в него добавить агар-агар.

Минеральные соли, содержащие азот, фосфор, калий, серу, магний, кальций, железо, — основные компоненты питательных сред, предназначенных для культивирования изолированных тканей. При отсутствии любого из этих макроэлементов ткани плохо растут и даже отмирают. Большое значение для культивируемых тканей имеют микроэлементы (бор, цинк, медь, марганец). Среди углеводов лучший источник углерода — сахароза. В качестве азотсодержащих органических веществ в основном используются гидролизаты белков (казеина) и некоторые аминокислоты.

На такой питательной среде клетки ткани начинают быстро делиться, образуя небольшие по размерам клетки, сплошь заполненные цитоплазмой. В них очень мелкие вакуоли, клеточного сока почти нет. В результате деления возникает масса однородных

клеток — каллюс. Кусочки каллюса можно переносить с одной питательной среды на другую. При этом его клетки способны размножаться неопределенно долгое время. Так, например, культуры тканей некоторых растений, введенные еще Р. Готре, в частности культура ткани моркови, пересеваются (или, как говорят ученые, — пассируются) в разных лабораториях мира до сих пор.

При изучении особенностей культивирования изолированных тканей растений было сделано немало ценных наблюдений. Например, установлена зависимость скорости роста от наличия в питательной среде тех или иных соединений. При изменении условий культивирования в каллюсе могут возникать особые образования, превращающиеся в зародышеобразные структуры, в которых можно различить зачаточную почечку и зачаточный корешок. Такие структуры можно вырастить до состояния проростков в пробирках с питательной средой, а затем пересадить в почву, где они разовьются в нормальные растения, способные цвести и давать семена.

Опыты по образованию органов в культуре ткани показали, что каждая клетка тела растения, и не только половая, обладает потенциальными возможностями стать полноценным растением.

Иными словами, как говорят ученые, она тотипотентна. Тотипотентность растительных клеток нашла практическое использование в сельском хозяйстве. Это свойство лежит в основе клонального микро-размножения растений, о котором будет сказано в следующем разделе.

Наряду с культивированием изолированных тканей физиологи растений используют также глубинное выращивание отдельных клеток — метод клеточных суспензий, он открывает новые возможности для изучения процессов роста и функционирования клеток и создания биотехнологических производств различных ценных веществ, продуцентами которых являются растительные ткани.

Культивирование изолированных клеток включает два этапа. На первом изолируют жизнеспособную клетку из ткани целого растения или из культивируемого каллюса. На втором создают ей благоприятные условия для деления и роста.

Выделить отдельные клетки можно с помощью особых ферментов-пектиназ. Эти ферменты разрушают пектиновые вещества, которые входят в состав срединных пластинок, соединяющих клетки друг с другом. Существуют и другие способы. Например, каллюс, выросший в жидкой питательной среде, сильно встряхи-

вают. При этом он обычно легко распадается на отдельные клетки и различной величины конгломераты.

Высвобожденные тем или иным путем клетки переносятся затем в жидкую питательную среду, которая при помощи соответствующих механизмов перемешивается и аэрируется.

Для суспензионного культивирования используются аппараты различной емкости — от нескольких миллилитров до 20 тысяч литров. Аппараты большого объема называются ферментерами. Ферментеры, предназначенные для выращивания суспензионных культур клеток растений, должны обеспечивать стерильность культуры, равномерное распределение биомассы в рабочем объеме, регулировать газовый состав и температуру. При конструировании этих приборов должны учитываться специфические особенности культур клеток различного происхождения. Так, например, клетки женьшеня очень чувствительны к механическим воздействиям.

Разработка методов суспензионного культивирования позволила перейти к гибридизации соматических клеток растений. Однако на пути к этому было существенное затруднение, связанное с наличием у растительных клеток твердых целлюлозных оболочек, препятствующих слиянию

их содержимого. Гибридизация соматических клеток стала возможной после разработки метода разрушения этих оболочек и изолирования протопластов.

В самом начале 60-х годов английский исследователь Эдвард Кокинг предложил метод разрушения клеточной оболочки с помощью ферментного препарата культуральной жидкости гриба микотетциума (*Myrothecium verrucosum*), при котором протопласты остаются неповрежденными и жизнеспособными.

В настоящее время изолированные протопласты получают из тканей различных органов высших растений: корней, листьев, цветков, плодов, а также из coleoptилей злаков, клубней картофеля, клубеньков бобовых, опухолей различного происхождения. Их нетрудно выделить из культивируемых клеток и тканей.

Изолированные протопласты обладают способностью к слиянию, при этом соединяться может содержимое клеток одного вида растений, разных видов и даже принадлежащих к разным родам. В результате возникают гибридные клетки, названные парасексуальными гибридами, которые представляют исключительный интерес для генетиков и селекционеров. Ведь они могут дать каллюс, а в каллюсе нетрудно вызвать возник-

новение зародышеобразных структур, которые превратятся затем в гибридные растения, обладающие принципиально новыми свойствами. Получить особи с комплектом таких свойств не всегда удается обычным половым скрещиванием.

Эксперименты с изолированными протопластами, получение гибридных клеток — прерогатива нового активно развивающегося раздела биологии — клеточной инженерии.

### **Физиологи растений помогают селекционерам**

Исследования последних лет убедительно показывают, что метод культуры тканей, клеток и протопластов растений может иметь чрезвычайно важное значение в деле создания новых форм растений. Среди множества клеток находящихся в культуре, всегда есть такие, которые несут наследственные изменения. В процессе их деления эти изменения будут передаваться дочерним клеткам. Отделив одну из них и перенеся ее на свежую питательную среду, можно получить каллюс. Изменив состав питательной среды, в каллюсе можно вызвать возникновение зародышеобразных структур, которые дадут начало новому растительному организму, обладающему теми же свойствами, что и исходная клетка. Если, например,

она была устойчива к засолению или какому-то патогену, то и возникшее из нее растение в принципе должно быть резистентным к ним.

Клеточная селекция имеет ряд преимуществ перед традиционными методами ведения селекционного процесса. Главное состоит в ускорении работы. Так, для выведения большинства новых сортов традиционными способами требуется не менее десяти лет, иногда значительно больше. Это означает, что практическая отдача в этой области, как бы велика она ни была, не может быть получена в ближайшие годы. Поэтому селекционер должен правильно предугадывать нужды сельскохозяйственного производства и общества в целом на многие годы вперед. Если он ошибется в своем прогнозе, ему понадобится столь же длительный срок, чтобы исправить ошибку. Между тем растущая острота продовольственной проблемы настоятельно ставит на повестку дня вопрос об ускорении селекционного процесса. Клеточная селекция представляет такую возможность, во-первых, потому, что исключает сезонность в работе. Ведь культивирование клеток осуществляется в лаборатории, где в течение года поддерживаются постоянные условия. Во-вторых, ускорение селекционного процесса происходит в резуль-

тате сокращения масштабов работы. Ведь возможность проведения большей части работ в лаборатории позволяет отказаться от использования обширных посевных площадей, ежегодно занимаемых под посевы гибридных растений. Если рассматривать каждую клетку в культуре как индивидуальный организм, то переход на клеточный уровень позволяет селекционеру иметь дело с огромным числом возможных особей. В одном опыте может быть задействовано несколько десятков миллионов клеток. Используя традиционные методы в полевых условиях, ученый в лучшем случае имеет дело с тысячами растений.

По существу, селекционный процесс в культуре клеток становится идентичным такому среди микроорганизмов. Селекционер-микробиолог также работает с миллионами клеток, из которых выбирает нужную ему форму. Допустим, ему необходимо отобрать микроорганизмы, устойчивые к антибиотику А. Воздействуя этим антибиотиком на культуру микроорганизмов, он может отобрать клетки, у которых устойчивость к этому препарату определяется генетически, то есть присутствием гена, способного вырабатывать белок, разрушающий данный антибиотик. В дальнейшем эти клетки в результате размножения дадут многочис-

ленное потомство устойчивых к антибиотику микробов.

Культура клеток растений в общем ничем не отличается от культуры того или иного микроорганизма. Самопроизвольно или под влиянием определенных физических или химических мутагенов — факторов, вызывающих наследственные изменения в клетках, — в ней постоянно происходят разнообразные сдвиги в структуре генов и хромосом. С помощью селективного фактора эти изменения могут быть отобраны и сообщены затем целым растениям, возникшим из мутантных клеток. Так, например, в Институте физиологии растений им. К. А. Тимирязева АН СССР методом клеточной селекции были получены растения табака с более крупными листьями и стеблем. В Научно-исследовательском институте картофельного хозяйства созданы формы картофеля, сочетающие высокую урожайность с устойчивостью листьев к фитофторе — чрезвычайно опасному заболеванию этой культуры.

Опыты ученых показали, что химические мутагены — колхицин, азотистый иприт, нитрозометилмочевина и другие — увеличивают в культуре число измененных клеток. Действие химических мутагенов испытывалось не только на изолированных тканях и клетках, но и на протопластах.

Традиционная селекция широко использует половое скрещивание, когда соединяются женские и мужские половые клетки от разных особей. Половая гибридизация ограничена возможностью использования в качестве родительских форм лишь определенных организмов. Так, например, половое скрещивание удается только между родственными видами растений. Слияние изолированных протопластов соматических клеток — принципиально новый путь получения гибридов. Ведь из клеток, возникших в результате слияния протопластов, можно получить целые растения, представляющие интерес для селекционеров.

Поскольку самопроизвольное слияние протопластов в суспензии наблюдается довольно редко, ученые применяют различные вещества, ускоряющие этот процесс, например нитрат натрия. В последние годы были найдены вещества, действующие более эффективно в отношении слияния протопластов. К их числу принадлежит полиэтиленгликоль, который применяют в высоких концентрациях.

Разработка методов слияния протопластов открывает новые перспективы в скрещивании несовместимых в половом отношении растений. Это гарантирует образование комбинаций генов, которые невозможно получить с помощью

традиционных методов селекции.

Использование парасексуальной гибридизации позволило получить внутривидовые (дурман безвредный, петуния гибридная и др.), межвидовые (петуния, морковь, дурман, картофель и др.), межродовые (томаты + картофель, резушка Таля + турнепс, дурман + белладонна и др.) гибриды<sup>1</sup>. Попытки получения гибридов систематически более отдаленных форм увенчались успехом лишь в нескольких экспериментах. Так, например, удалось создать гибридные клетки сои и табака. Однако в развившемся каллюсе зародышеобразные структуры так и не образовались.

Получены парасексуальные гибриды культурного картофеля сорта Приекульский ранний и дикого. Известно, что у дикого вида клубни очень мелкие. Вместе с тем растение устойчиво ко многим заболеваниям. Картофель Приекульский ранний образует очень крупные клубни, но восприимчив к болезням. Когда ученые соединили протопласты обоих видов и поместили гибридные клетки на питательную среду, то вскоре образовалась обычная каллюсная ткань. Для того чтобы в ней

<sup>1</sup> Знак + означает, что гибриды получены неполовым путем; половые гибриды обозначаются знаком X.

возникли зародышеобразные структуры, кусочки каллюса перенесли на питательную среду иного состава. Сформировавшиеся на новой питательной среде растения высадили в почву, где они превратились во взрослые особи.

Какими же свойствами обладали соматические гибриды картофеля? По форме кустов и листьев, по размерам клубней они занимали как бы промежуточное положение между культурными и дикими видами. Точно такая же картина наблюдалась и при обычной половой гибридизации этих растений. Вместе с тем гибрид, полученный в результате соматической гибридизации, оказался устойчивым к вирусу Y. Этим он отличался от гибрида, возникшего обычным половым путем.

Таким образом, достижения физиологов растений открывают перед селекционерами широкие возможности в выведении новых сортов сельскохозяйственных растений.

### **Рассада из... пробирки**

Существенное препятствие на пути внедрения нового сорта в практику — дефицит семян или посадочного материала для вегетативного размножения, возникающий из-за того, что воспроизвести большое их количество в течение одного сезона невозможно. Биотехнология предлагает селек-

ционерам эффективный и быстрый метод микроразмножения растений. Очень важно и то, что саженцы, полученные этим путем, генетически идентичны давшему им начало растению, поскольку они возникли из соматических клеток родительского организма. При половом же размножении растений потомство развивается из зиготы, образованной в результате слияния половых клеток двух разных особей. Эта зигота содержит гены как отцовского, так и материнского организма, поэтому потомство, возникшее в ходе полового размножения, не идентично одному родителю, а несет наследственные задатки их обоих.

Клональное микроразмножение — это массовое бесполое размножение растительных организмов, основанное на использовании метода культуры изолированных органов и тканей растений. Теоретические предпосылки этого способа размножения были разработаны в результате исследований особенностей поведения растительных тканей в культуре. Главное преимущество клонального микроразмножения растений заключается в чрезвычайно высоком коэффициенте размножения, обеспечивающем получение огромного количества однородного посадочного материала. Так, например, растение герберы при размножении

обычными способами дает в год до 50—100 растений. В то же время клональное микро-размножение этого растения, а также земляники, хризантемы и многих других способно обеспечить получение миллиона единиц посадочного материала. Из одной только верхушки яблони за восемь месяцев можно вырастить до 60 тысяч побегов. Высокий коэффициент размножения с помощью культуры изолированных тканей и органов позволяет сократить сроки получения товарной продукции новых сортов до двух-трех лет. Но дело не только в этом. Ведь тысячи и тысячи растений, получаемых с помощью метода культуры тканей и органов, растут на очень небольшой лабораторной площади. Следовательно, более рационально используются площади теплиц, не нужно содержать в них обширные маточники. А поскольку условия в лаборатории постоянны в течение всего года, можно осуществлять размножение растений непрерывно.

Преимущества клонального микро-размножения настолько очевидны, что в самое ближайшее время следует ожидать появления легко доступных для практики технологий получения посадочного материала плодовых, овощных, декоративных, лекарственных и иных хозяйственно ценных растений.

Основоположителем клонального микро-размножения растений является французский ученый, руководитель лаборатории физиологии растений Национального центра агрономических исследований Жорж Морель. В 1960 году, культивируя на питательной среде верхушку цимбидиума — растения из семейства орхидных, — он обнаружил образование особых структур, из которых можно было получить целые растения. Эти наблюдения и легли в основу метода клонального микро-размножения орхидей. Французские фирмы, занимающиеся разведением этих популярных, оригинальных высокодекоративных растений, использовали предложенный Морелем метод для массового производства орхидей.

С этого времени проблема клонального микро-размножения растений стала одной из актуальнейших в современной физиологии растений и биотехнологии.

В нашей стране работы в этой области были начаты в 60-х годах в лаборатории культуры тканей и морфогенеза Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева АН СССР под руководством Р. Г. Бутенко.

Здесь изучили условия микро-размножения картофеля, сахарной свеклы, малины, гвоздики, герберы, фрезии и некоторых других растений.

В настоящее время подобные исследования ведутся в ряде научно-исследовательских учреждений нашей страны. В зональном Научно-исследовательском институте садоводства Нечерноземной полосы Агропрома РСФСР изучается клональное микроразмножение плодово-ягодных культур, в Научно-исследовательском институте горного садоводства и цветоводства и в Центральном республиканском ботаническом саду АН УССР — декоративных растений, во Всесоюзном научно-исследовательском институте сельскохозяйственной биотехнологии ВАСХНИЛ совместно с Всесоюзным научно-исследовательским институтом селекции и семеноводства овощных культур — овощных растений, во Всесоюзном научно-исследовательском институте кормов им. В. Р. Вильямса — кормовых трав, в Ленинградской лесотехнической академии — лесных пород. Таким образом, в нашей стране проводится обширная работа по внедрению в практику растениеводства метода клонального микроразмножения растений.

Процесс клонального микроразмножения ученые подразделяют на два типа: активация развития уже существующих в растении образовательных тканей (меристем), находящихся в верхушках стебля, в пазушных и спящих почках; формирование в культуре тка-

ней почек и зародышеобразных структур заново.

Клональное микроразмножение картофеля по первому типу осуществляется следующим образом. Клубни картофеля проращивают в темноте в течение 10—15 дней. За это время на них появляются длинные желтоватого цвета побеги с мелкими недоразвитыми листьями. Такие побеги называются этиолированными. Стебли разрезают на сегменты, содержащие одну почку, и освобождают от микроорганизмов (стерилизуют) в 0,2 %-ном растворе диацита в течение трех — десяти минут. Затем их многократно отмывают стерильной дистиллированной водой, осушают стерильной фильтровальной бумагой, подрезают оба конца каждого сегмента на полсантиметра и помещают его на питательную среду для черенкования. Эта питательная среда содержит минеральные элементы, а также витамины (В<sub>1</sub>, В<sub>6</sub>), сахарозу, ферулеву или изомасляную кислоту, агар-агар. При этом поддерживаются следующие условия: температура 25 °С, освещенность четыре — шесть тысяч люкс, влажность около 70 процентов.

Вскоре сегменты стебля, находящиеся в пробирках, образуют растения, которые размножаются черенкованием. Для этого исходное стерильное растение вынимают пин-

цетом из пробирки и на стерильной бумаге или в стеклянных чашках Петри разрезают острым скальпелем на сегменты с одним листом и пазушной почкой. Сегменты пинцетом переносят в пробирки со средой для черенкования, погружая их в агар до основания листового черешка. Образовавшиеся крошечные растеньица можно переносить в почву, где они превращаются в нормальные растения картофеля. Переместив пробирочные растения на питательную среду несколько иного состава и в иные условия освещения, можно вызвать образование крошечных клубней.

Что касается клонального микроразмножения второго типа, то о нем, по существу, мы уже говорили: в каллюсе при определенных условиях может происходить процесс формирования почек или зародышеобразных структур. Основным фактором, определяющим переход к образованию либо побегов, либо корней, является соотношение фитогормонов, ауксинов и цитокининов. При высоком отношении в питательной среде цитокининов к ауксинам возникают побеги, а при низком — корни.

При работе этим методом следует иметь в виду, что длительное культивирование каллюса ведет к появлению в клетках нежелательных из-

менений. Так, например, происходят сдвиги в структуре хромосом и генов, из стареющего каллюса становится все труднее и труднее получать зачатки почек и зародышеобразных структур. Неудивительно, что образующиеся из длительно культивируемого каллюса растения имеют часто нежелательные признаки: они низкорослы, с неправильным жилкованием листьев, нередко уродливы, у них слабая жизнеспособность. Чем дольше культивируется каллюс, тем сильнее выражены эти изменения. В связи с этим необходимо свести до минимума период неорганизованного роста в культуре, то есть период роста каллюса.

Каким же образом осуществляется процесс клонального микроразмножения в этом случае? Для получения растений картофеля каллюсную ткань помещают на особую питательную среду. Кусочек каллюса размером  $7 \times 7$  миллиметров переносят в пробирку с 12—15 миллилитрами среды и культивируют при температуре  $25^\circ\text{C}$ , освещенности 8—10 тысяч люкс и влажности 70 процентов. Через несколько дней рост каллюса прекращается, ткань темнеет и сильно уплотняется. Спустя несколько недель с момента пересадки в ней возникают зоны формирования молодой образовательной ткани, которые легко отличить по

ярко-зеленой окраске. Их количество и размер в каллюсной ткани могут быть различными. Обычно они располагаются в нижней части каллюса, соприкасающейся с питательной средой. Затем в образовательной ткани возникают почки, которые через одну-две недели превращаются в хорошо развитые миниатюрные растеньица. На одном кусочке каллюса возможно образование нескольких десятков побегов. Наибольший выход их обычно бывает в весенний период.

Побеги, достигшие 5—10 миллиметров, отделяют от каллюса и переносят на среду для укоренения. Полученные таким образом растения затем размножают черенкованием, как это было описано ранее.

Перспективной областью практического использования клонального микроразмножения растений является декоративное садоводство. Этим методом успешно размножаются гвоздики, нарциссы, белоцветник летний, подснежник Воронова, жимолость Королькова, сирень и ряд других растений. В нашей стране, как и во всем мире, все большее внимание уделяется разведению орхидей. Однако сложность их выращивания и размножения не позволяют пока полностью удовлетворить спрос на эти высокодекоративные и оригинальные растения. Ме-

тод клонального микроразмножения сделал производство некоторых орхидей более экономичным, чем культивирование ряда других декоративных растений. В 1982 году Н. В. Катаева и Р. Г. Бутенко разработали метод клонального микроразмножения герберы — декоративного растения из семейства сложноцветных. В Англии созданы фирмы, специализирующиеся на производстве саженцев из тканевых культур. Метод клонального микроразмножения позволяет за 12—18 месяцев получить от одного растения до 10 тысяч штук рассады.

Промышленное производство многих овощей основано на использовании гетерозисных гибридов. Гетерозис — это способность гибридов первого поколения давать более высокие урожаи (на 15—20 и более процентов), лучше противостоять неблагоприятным условиям и болезням. Однако в последующих поколениях явление гетерозиса проявляется все слабее. Метод клонального микроразмножения позволяет сохранить генетическую однородность выращиваемых растений. Среди овощных культур работа в этом направлении ведется с картофелем, капустой, спаржей, чесноком ... Довольно успешно размножаются этим способом и томаты, у которых почти из всех надземных органов можно получить каллюс

и новые растения. Наивысшую способность к образованию «рассады» проявляют бутоны.

А вот для размножения злаков этот метод почти не применяется. Лишь сахарный тростник и бамбук в настоящее время разводят в промышленных масштабах через культуру ткани. Бамбук очень ценится в ряде стран. Он дает строительный материал, который в отличие от обычной древесины устойчив против гниения. А это имеет немаловажное значение в условиях влажного и теплого климата тропиков и субтропиков, где древесина легко разрушается микроорганизмами. Бамбук идет также на изготовление сувениров, удочек, лыжных палок и различных поделок. Некоторые его виды употребляют в пищу, используют в качестве декоративных растений.

Плодоводство — еще одна область практического использования метода клонального микроразмножения растений. Для массового получения посадочного материала плодово-ягодных культур наиболее эффективным оказался метод активации уже существующих в растении образовательных тканей. Лишь в отдельных случаях применяется микроразмножение через культуру каллюса.

Клональное микроразмножение растений используется и при разведении ценных ле-

карственных растений, например барвинка, хинного дерева. Очень перспективным оно оказалось в лесоводстве. Дело в том, что при обычном размножении деревьев и кустарников семенами в большинстве случаев возникает нестабильное в генетическом отношении потомство. Отдельные растения могут различаться по темпам роста, качеству древесины, форме кроны и т. д. Кроме того, древесные виды в случае размножения семенами длительное время находятся в фазе молодости и не скоро приступают к цветению и плодоношению. Методы вегетативного размножения для многих древесных растений часто неэффективны, а для ряда ценных пород, например пальм, вообще не известны. Вот почему клональное микроразмножение так заинтересовало лесоводов.

При культивировании тканей древесных пород нередко используют камбий. Из ботаники, известно, что камбий состоит из мелких клеток с тонкими оболочками и находится в стебле между корой и древесиной. Он играет важную роль в жизни растения, образуя новые клетки древесины и коры. Основная трудность клонального микроразмножения древесных пород по сравнению с травянистыми растениями заключается в получении новых растений из каллюса. Даже если они обра-

зуются, то, как правило, бывают слабыми и нежизнеспособными. Поэтому для них особенно важна закалка перед высадкой в грунт.

В связи с трудностями получения посадочного материала древесных пород их клональное микроразмножение осуществляется с помощью культивирования вегетативных почек или точек роста побега. Культура почек предпочтительнее по той причине, что они представляют собой сформировавшийся побег. К тому же почки хорошо защищены чешуями, что облегчает их введение в культуру. Наконец, они сравнительно легко укореняются. Культура почек используется для клонального микроразмножения эвкалипта, кофе, сосны вяза и других деревьев и кустарников.

Большой практический интерес представляет микроразмножение гевеи бразильской. Это растение широко используется для получения натурального каучука. Несмотря на конкуренцию со стороны синтетического полиизопрена, производство натурального каучука год от года растет. Если в 1963 году мировое производство его составило 2,17 миллиона тонн, то в 1981 — около 4 миллионов тонн. В настоящее время общая площадь насаждений каучуконосов составляет примерно 6 миллионов гектаров.

Гевеи эксплуатируются только до определенного возраста, после чего их заменяют новыми растениями. Потребность в значительном количестве посадочного материала заставила исследователей разработать метод клонального микроразмножения гевеи бразильской.

Создание высокорентабельных биотехнологий микроразмножения полезных человеку растений и широкое внедрение этих методов в практику приведет к значительной интенсификации сельскохозяйственного производства, повышению его эффективности.

### **Физиологи на страже урожая**

В настоящее время значительная часть урожая сельскохозяйственных растений — около 30 процентов — гибнет от вредителей и болезней. Усилия специалистов в области защиты растений пока не дают желаемых результатов. В связи с этим необходимо искать принципиально новые подходы к решению чрезвычайно актуальной проблемы защиты растений. И здесь на помощь пришли физиологи. Разработанный ими метод культуры изолированных тканей и органов растений позволяет получать в большом количестве оздоровленный (безвирусный) посадочный мате-

риал. В отличие от широко применяемого в защите растений химического метода, вызывающего загрязнение природной среды и продуктов питания вредными веществами, оздоровление растений с помощью метода культуры тканей и органов совершенно безвредно.

Вирусы вызывают около 300 различных болезней сельскохозяйственных культур. По сравнению с фитопатогенными грибами и бактериями это не так уж и много: количество грибов и бактерий, наносящих вред растениеводству, приблизительно в сто раз больше. Однако вредоносность вирусных болезней в ряде случаев не только не уступает вызванным грибами или бактериями, но и превосходит их. У пораженных вирусами растений появляется неравномерная мозаичная окраска надземных органов, изменяется форма листовой пластинки и некоторых других органов. Поражение листьев, цветков, побегов ведет к недоразвитию, а то и к гибели ценных растений, что существенно снижает их урожай и качество. Особенно большой вред вирусы наносят культурным растениям из семейства пасленовых. При изучении мозаичной болезни табака, собственно, и была открыта эта группа микроорганизмов.

В 1892 году русский ученый Д. И. Ивановский опублико-

вал результаты опытов по исследованию пораженных мозаикой растений табака. Он установил, что сок всех мозаичных растений, введенный в здоровые экземпляры, через 15 дней вызывает развитие болезни. Уточняя результаты своих опытов, Д. И. Ивановский профильтровал сок больных растений через бактериальный фильтр Шамберлена и выяснил, что заразное начало проходит через фильтр. Этот факт навел ученого на мысль, что он имеет дело с особым возбудителем болезни, размеры которого меньше известных к тому времени бактерий. Попытки выделить микроорганизм на искусственных и естественных питательных средах не увенчались успехом. Д. И. Ивановский открыл принципиально новое явление, суть которого в том, что возможен перенос заразного начала от больного растения к здоровому путем введения его сока, профильтрованного через бактериальный фильтр Шамберлена. Появление его работы можно считать началом рождения новой науки — вирусологии.

Д. И. Ивановский занялся изучением мозаичной болезни табака в связи с тем, что на Украине и в Бессарабии это заболевание во второй половине XIX века стало настоящим бедствием для табаководов. Листья больных рас-

тений покрывались причудливым узором и становились непригодными для переработки. На основании проведенных исследований Д. И. Ивановский совершенно правильно рекомендовал владельцам табачных плантаций уничтожать больные растения, сжигать их, чтобы устранить заразное начало. В случае сильного заражения растений он предлагал плодосмен и возможно более быструю замену земли в питомниках, где выращивалась рассада табака.

Другие представители семейства пасленовых также в сильной степени поражаются вирусами. У картофеля, например, наблюдается целый «букет» вирусных болезней: морщинистая мозаика, полосчатая мозаика, скручивание листьев, столбурное увядание, крапчатость, карликовость, аукуба. Больные растения дают низкий урожай, клубни у них мелкие. В южных районах нашей страны вирусные заболевания картофеля приводят к вырождению этой культуры. Обследование обширной коллекции картофеля Всесоюзного института растениеводства показало, что растения многих сортов являются носителями вирусной инфекции.

У томатов вирусы вызывают столбур (одревеснение) плодов. При этом растения выглядят угнетенными, листья у них мелкие с желтоватым

оттенком, цветки деформированные. Мякоть плодов становится деревянистой, невкусной, окраска ее беловатая. На инфицированных плантациях урожай томатов снижается на 70 процентов.

Наиболее вредоносные болезни лука — желтая карликовость и мозаика. В случае карликовости наблюдается угнетение роста растений, задержка и ослабление цветения, пожелтение листьев, возникновение на них бледно-желтых параллельных полос. Соцветия у пораженных растений рыхлые, цветки стерильные или дающие очень небольшое количество семян.

У черной смородины вирусы вызывают заболевание, известное под названием махровости. При этом цветки и листья деформируются, нормальное развитие растений нарушается. Пораженные экземпляры обычно выделяются сильным ростом и ненормальной кустистостью. Плодоношение прекращается или существенно понижается. Заболевание чрезвычайно вредоносно.

Огромный ущерб вирусы наносят плантациям земляники, а также яблоневым, персиковым и сливовым садам. В особо тяжелых случаях инфицированные вирусами ценные растения навсегда утрачивают свои выдающиеся качества.

Просматривая перечень культур, поражаемых вируса-

ми, можно отметить, что сильный ущерб они наносят тем растениям, которые размножаются с помощью вегетативных органов: клубней (картофель), луковиц (лук), черенков (смородина), усов (земляника). И это не случайно. Ведь вегетативные органы нередко являются резервуарами вирусных инфекций, которые вместе с посадочным материалом (у яблонь — при прививках) передаются от поколения к поколению.

Борьба с этими болезнями осложняется тем, что вирусы — строгие паразиты растительных, животных и микробных клеток. Уничтожение их сопровождается гибелью и клеток-носителей. Для борьбы с вирусными инфекциями растений ученые разработали целую систему мероприятий. Поскольку вылечить растения, пораженные вирусами, практически невозможно, эти меры носят главным образом профилактический характер. Они призваны воспрепятствовать возникновению болезни и ее распространению.

Среди них — выращивание устойчивых к вирусной инфекции сортов. Следует, однако, иметь в виду, что в устойчивых растениях вирус, хотя и не заявляет о себе появлением характерных симптомов болезни, но продолжает длительное время существовать в скрытом состоянии. Выращивание устойчивых растений по

соседству с неустойчивыми формами чревато нежелательными последствиями — насекомые могут перенести вирусы на них. При этом болезнь вновь может заявить о себе.

Среди других мероприятий, ограничивающих распространение вирусной инфекции, следует отметить использование посадочного материала, полученного исключительно от здоровых растений, выявление с помощью особых приемов скрытой инфекции, термическую или химическую (перманганатом калия) обработку семян, особые агротехнические приемы, уничтожение сорных растений, в которых также может находиться вирусная инфекция.

Прекрасные перспективы оздоровления посадочного материала открывает метод культуры изолированных тканей и органов. Еще в 1934 году основоположник этого метода Ф. Уайт указал, что вирусы отсутствуют в кончиках корней растений, зараженных вирусом табачной мозаики. Подобные результаты были получены в 1949 году другими исследователями — П. Лимассе и П. Корнюа. Основываясь на этих фактах, французские ученые Морель и Мартин предложили метод получения оздоровленных (безвирусных) растений из культивируемых на питательной среде образцов тканей (меристем). Используя меристемы

верхушек побегов, они вырастили целые растения, свободные от вирусной инфекции. Исследования французских ученых явились основополагающими в проведении многочисленных работ, направленных на получение безвирусного посадочного материала.

Почему для освобождения растений от вирусов используют меристематические ткани? Дело в том, что клетки меристем активно делятся, а в интенсивно делящихся клетках вирусы отсутствуют. Если в кусочке меристемы, перенесенном на стерильную питательную среду, нет вирусов, то, очевидно, и в возникших затем растениях их также не будет.

Обычно для эффективного освобождения от вирусов используют кусочки меристем размером от 0,1—0,2 миллиметра. Однако чем меньше меристема, тем труднее она приживается на питательной среде и превращается затем в целое растение. Перед взятием кусочка концы побегов стерилизуют в растворе гипохлорита кальция, чтобы уничтожить микроорганизмы. Освобождению от вирусов способствует термическая обработка. Установлено, что при температуре порядка 30—40 °С происходит снижение концентрации вирусов, особенно в растущих частях растений. Этот прием позволяет

брать для оздоровления более крупные кусочки меристем, которые значительно легче приживаются на питательной среде.

После термической обработки изолированный кусочек ткани переносится на поверхность агаровой питательной среды. Предварительно три-четыре миллилитра горячей питательной среды наливают в пробирки, которые сразу же закрывают ватными пробками и охлаждают. Затем пробирки с меристемами переносят в светлое помещение с температурой 25 °С. Через 20—30 дней в отдельных пробирках меристемы дают побеги. Побег длиной три-четыре сантиметра режут на сегменты, имеющие листочек и пазушную почку. Для укоренения их высаживают в питательную среду того же состава. Затем растения переносят в почву.

Метод культуры тканей как средство радикального избавления от вирусов широко применяется в мировой практике картофелеводства. Ведь именно картофель, размножаемый традиционно вегетативно, в значительной степени оказался зараженным вирусами. Распространяясь по всему растению, они попадают в клубни и стебли и из года в год заражают потомство, снижая выход продукции, ухудшая ее качество. Из-за поражения вирусами многие ценные сор-

та картофеля снимаются с производства. Для восстановления сорта приходится отыскивать единичные экземпляры, свободные от вирусной инфекции. Часто ценные сорта бывают полностью поражены вирусами. В этом случае только метод культуры меристем позволяет восстановить сорт.

В нашей стране внедрению этого метода уделяется большое внимание. В 1972 году во Всесоюзном научно-исследовательском институте растениеводства им. Н. И. Вавилова начата работа по освобождению коллекционных образцов картофеля от вирусов путем культивирования меристем. К 1975 году было оздоровлено 20 сортов картофеля. Аналогичные работы проводятся во Франции, Швеции, Японии, Чехословакии, Болгарии, Италии, Дании, Нидерландах, Канаде и в других странах.

Разработанный физиологами растений метод оздоровления посадочного материала применяется не только в картофелеводстве, но и при возделывании земляники, малины плодовых культур.

Особо следует сказать об оздоровлении декоративных растений. В городе Огре (Латвийская ССР) создана лаборатория меристемных культур, деятельность которой направлена на создание безвирусно-

го посадочного материала декоративных растений. Дело в том, что некоторые из них сильно страдают от вирусных заболеваний. Заражение вирусной инфекцией отрицательно сказывается на их урожайности, форме и красоте бутонов, прочности стебля, длительности сохранения срезаемых цветов.

В ряде стран оздоровленный посадочный материал картофеля, земляники, орхидей, гвоздик и других растений стал предметом экспорта. В Венгерской Республике с 1980 года действует специальное агропромышленное объединение, получающее методами клонального микроразмножения безвирусную рассаду овощных, плодовых и ягодных культур. В 1983 году им выращено пять миллионов штук стерильной рассады. Применение ее позволяет Венгрии иметь сорта винограда, которые в течение 20 лет не будут подвержены вирусным заболеваниям, удвоить урожай картофеля, в 20 раз повысить продуктивность ежевики и т. д.

Культура меристем — эффективный и самостоятельный метод оздоровления, который во многих случаях является единственно возможным способом избавления от вирусов. Он годится для оздоровления всех культур от любых вирусов.

Как-то в летний полдень на корчевье  
Повстречал я племя пней лесных.  
Автобиографии деревьев  
Кольцами написаны на них.  
Кольца, что росли из лета в лето,  
Сосчитал я все до одного:  
Это — зрелость дерева, вот это —  
Юность тонкоствольная его.  
Ну а детство где же?

В сердцевину,  
В самое заветное кольцо,  
Спряталось и стало сердцевинной  
Тонкое, смешное деревцо.

**В. Берестов**

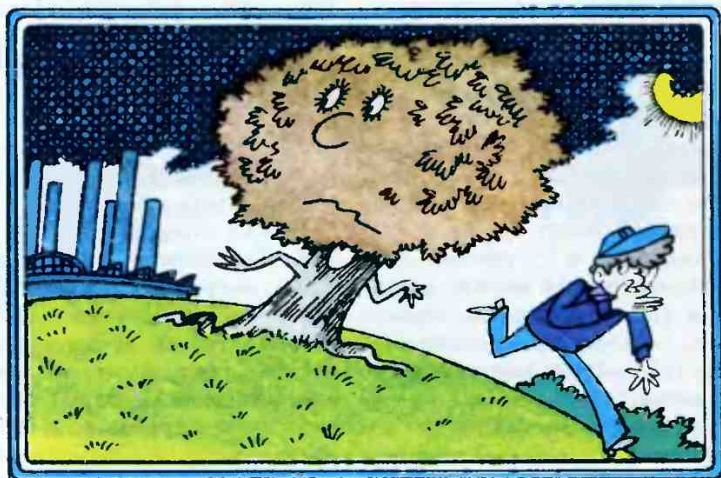
### По ступеням качественных изменений

Чтобы более понятным стало различие между ростом и развитием, приведу следующий пример. Поставим рядом двадцатилетнего юношу, сорокалетнего мужчину и семидесятилетнего старика. Мы легко заметим существенные различия между ними, которые обусловлены качественными изменениями, происходящими в человеческом организме по мере старения: кожа становится менее эластичной, морщинистой, волосы — седыми, походка — замедленной, неловкой и т. д. Совокупность внутренних и внешних изменений организма, возникающих в течение его жизни, и есть развитие.

А теперь сравним между собой молодой, зрелый и старый дубы. Здесь мы также можем отметить признаки

развития. У старого дуба часть веток отмирает, кора потрескавшаяся, в стволе нередко можно обнаружить дупло. Правда, отличить старый дуб от зрелого труднее, чем старика от мужчины средних лет. Чем это можно объяснить?

Во-первых, дерево в отличие от человека растет до самой смерти, образуя новые листья и побеги. Они-то и маскируют его старость. Во-вторых, дуб живет, как правило, сотни лет, тогда как жизнь человека более ограничена. В-третьих, внешний вид дерева в сильной степени зависит от того, на какой почве, в каких условиях оно произрастает. Иногда и молодое дерево выглядит дряхлым. Так, например, продолжительность жизни деревьев в условиях города сокращается по сравнению с произрастающими в лесу в пять — восемь раз. Липа



в природе живет 300—400 лет, а на улицах города — лишь 40 лет. Вяз соответственно 300 и 45 лет. Человек в меньшей степени зависит от внешних условий, в частности, по той причине, что может изменять среду своего обитания.

Ученых давно интересовал вопрос, как быстро развиваются те или иные растения, поэтому они стремились найти такой признак, по которому можно было бы легко судить о темпах развития.

Кардинальным, поворотным моментом в жизни растительного организма является переход к цветению. Формирование цветка — это качественно новый признак, которому предшествуют глубокие внутренние изменения. Вместе с тем цветение легко наблюдать. Все это позволило изб-

рать его в качестве критерия развития растений.

Разумеется, цветение — лишь один из признаков, характеризующих развитие. У некоторых растений при переходе из состояния молодости к зрелости происходит смена одних, так называемых ювенильных листьев на новые, значительно отличающиеся от своих предшественников. Это, безусловно, также пример развития, поскольку налицо не просто количественное изменение листьев, но и проявление нового их качества.

В благоприятных условиях процессы роста и развития растений идут с оптимальной скоростью. Однако при изменении внешних условий соотношение между ними может изменяться. Так, например, очень раннее черенкование

хризантем (в марте) приводит к тому, что после укоренения черенки быстро образуют соцветия. При этом почти не образуются новые побеги и листья. Следовательно, черенки хризантемы в данном случае быстро развиваются, но медленно растут. То же самое происходит и с просом, посеянным ранней весной, когда дни еще сравнительно короткие: маленькие растеньица быстро выбрасывают метелки и зацветают.

Родина топинамбура — земляной груши — Северная Америка. В диком состоянии он обитает в штатах Флорида, Техас, Саскачеван, Онтарио и других. В нашей стране это растение зацветает только в южных районах, тогда как в средней и северной полосе топинамбур не цветет, несмотря на то что хорошо растет и образует значительную вегетативную массу. Значит, условия этих широт не способствуют развитию земляной груши, хотя и не препятствуют ее росту.

В этой главе мы подробнее ознакомимся с развитием растений, в частности с причинами цветения. Но прежде поговорим о продолжительности их жизни.

### **Растения-долгожители**

Какова продолжительность жизни отдельных деревьев? Долгожителями можно счи-

тать сосну остистую (*Pinus aristata*), секвойядендрон гигантский (*Sequoiadendron giganteum*), мексиканский кипарис (*Cupressus lusitanica*), тис ягодный (*Taxus baccata*); баобаб африканский (*Adansonia digitata*).

В 50-х годах в Центральной Калифорнии на высоте 3000 метров над уровнем моря были найдены очень старые деревья сосны остистой. Их рост обычно не превышает десяти метров. Это связано с крайне неблагоприятными условиями произрастания: большая высота над уровнем моря, крутые каменистые склоны, скудные осадки, ураганные ветры. Несмотря на это, а может быть, и благодаря этому сосна остистая стала деревом-долгожителем. Самые старые растения этого вида имеют даже имена: Мафусаил, Патриарх, Альфа. Возраст Мафусаила 4600 лет.

О болотном кипарисе мы упоминали в разделе «Приспособления водных и болотных растений к дефициту кислорода». В Мексике произрастает его собрат по роду — кипарис мексиканский. Некоторые деревья этого вида живут до четырех тысяч лет.

В графстве Кент (Великобритания) произрастает тис ягодный, возраст которого три тысячи лет.

Весьма длительная жизнь у огромных мамонтовых де-



Тис ягодный.

ревяев, научное название которых секвойдендрон гигантский. Крупные свисающие ветви его похожи на бивни мамонта. Высота дерева 80—100 метров, а диаметр ствола 15. Возраст некоторых экземпляров оценивается в четыре тысячи лет. Отдельные рощи этого гиганта встречаются только на западном склоне Сьерра-Невады в Калифорнии на высоте 1500—2000 метров над уровнем моря. Впервые европейцы познакомились с этими исполинами в 1769 году.

Есть долгожители и среди цветковых растений. Работавший в Сенегале французский ботаник Майкл Адансон в 1794 году нашел баобаб, достигавший в диаметре девять метров. Возраст этого гиганта был оценен в 5150 лет. Баобаб не случайно считается самым чудом света. Необычайно толстый ствол его, как правило, невысок, и эта пропорция делает дерево на ред-

кость оригинальным. Он стал традиционным персонажем мифов и легенд народов Африки и Индии. Известный путешественник А. Гумбольд назвал баобаб памятником природы. С помощью радиоактивного углерода удалось доказать, что возраст африканских баобабов, достигающих в диаметре 4,5 метра, более 5500 лет. У подножия Этны в Италии совсем недавно произрастал знаменитый 2000-летний каштан.

К числу долгожителей можно отнести и некоторые кустарники. В штате Пенсильвания (США) в 1918 году был обнаружен необычный куст черники, который занимал площадь более 75 000 м<sup>2</sup> и имел весьма почтенный возраст — не менее 1200 лет. В 1920 году в той же местности нашли еще более крупный куст черники. Занятая им территория имела в поперечнике более двух километров. Черника, как известно, размножа-

ется подземными побегами и в среднем за год увеличивается на 15 сантиметров. Если предположить, что темпы роста куста были постоянными, тогда возраст его должен превышать 13 тысяч лет.

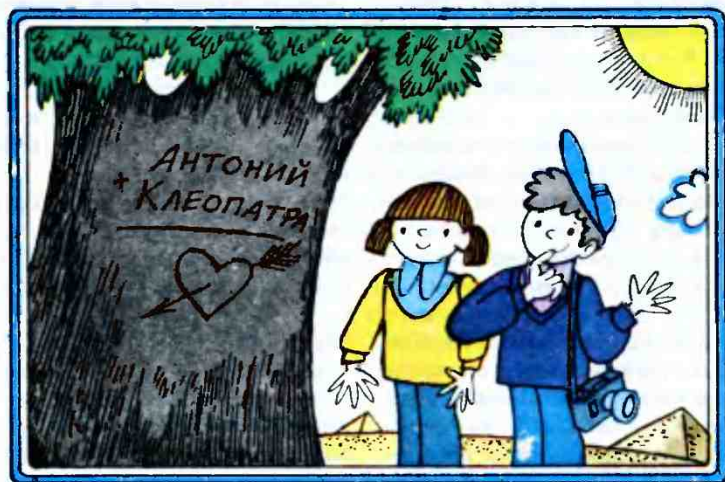
В засушливых и пустынных областях Северной и Южной Америки произрастают представители рода ларрея (*Larrea*), насчитывающего до пяти видов. Во влажное время года их крошечные, длиной в несколько миллиметров листочки интенсивно транспирируют, а в засуху открывают свои устьица только утром на очень непродолжительное время. Сокращению транспирации способствует и сбрасывание во время засухи старых листьев. Все виды ларреи после дождя издают неприятный креозотовый запах, причиной которого служат смолоподоб-

ные вещества. В 1976 году в калифорнийской пустыне были обнаружены остатки креозотовых кустов, возраст которых оценен в семь тысяч лет.

Следует заметить, что, хотя кусты черники и ларреи и существуют на протяжении длительного времени, их лишь с оговоркой можно отнести к растениям-долгожителям, поскольку они достигли солидного возраста за счет вегетативного размножения.

Но какой бы ни была жизнь растения, длительной или короткой, ее всегда можно разделить на четыре основных возрастных периода: эмбриональный (семена или органы вегетативного размножения — клубни, луковицы, корневища), молодость, зрелость и старость.

Растения, которые цветут только один раз и после обра-



## «Двуличные» растения

звания потомства отмирают (их называют монокарпическими), все эти возрастные периоды проходят лишь однажды без повторений. Это могут быть однолетники (кукуруза, подсолнечник), двулетники (свекла, капуста) и многолетники (агава, бамбук, лобелия).

Бамбук впервые зацветает в возрасте десяти лет. После плодоношения почти все особи отмирают. Вот почему дружное цветение на бамбуковых плантациях считается бедствием. Предотвратить его можно удалением цветonoсных побегов.

Поликарпические растения (яблоня, груша и др.), которые после образования потомства не отмирают, а цветут и плодоносят многократно на протяжении своей жизни, первые два возрастных периода переживают один раз. Этап зрелости также наступает у них один раз, но занимает ряд лет. Старость таких растений, как правило, длится долго.

У растений, не способных к образованию цветков из-за специфических внешних условий, период размножения отсутствует, и они отмирают, не оставив потомства. К их числу можно отнести, например, фикус — очень распространенное комнатное растение, которое в наших широтах не цветет из-за неблагоприятной для этого вида продолжительности светового дня.

Мы уже говорили, что очень часто зрелое растение трудно отличить от старого, особенно если оно не поражено болезнью. Однако растительный мир очень разнообразен. Сплошь и рядом мы находим в нем удивительные факты. Оказывается, есть такие растения, у которых молодые листья резко отличаются от старых. Именно по внешнему виду и строению листьев без особого труда можно определить возраст особей.

Об этой особенности знал еще отец ботаники Феофраст. В своем «Исследовании о растениях» он писал: «У одних деревьев листья сходны между собой у всех представителей этой породы; у серебристого тополя, у плюща и у растения, называемого «клещевиной», листья между собой несходны и при этом разного вида: у молодых листья круглы, а у более старых угловаты; это превращение происходит с ними со всеми. У плюща наоборот: у молодого они угловатее, а у старого круглее».

Исследования физиологов растений позволяют объяснить это явление. Еще в 1904 году известный русский физиолог В. Р. Заленский установил, что чем выше расположены листья (отметим, они появляются на более старых растениях), тем у них сильнее выражены определенные при-

знаки: мелкие размеры листовой пластинки, клеток и устьиц, рассеченность листа, большее число устьиц и жилок на единицу площади. Такая структура была названа ксероморфной. Появление ее обусловлено тем, что молодые листья растению сложнее снабжать водой, нежели старые, расположенные внизу. А ведь им приходится интенсивно испарять воду и активно фотосинтезировать. Таким образом, изменение морфологии листьев с возрастом растения вызвано физиологическими причинами.

Различия строения листьев на одном и том же растении можно наблюдать очень часто. Но сейчас нас интересуют резко выраженные отличия между листьями молодых и старых растений, которые нередко приводят к ошибке в определении видов (считалось, что молодая особь — это один вид, а старая — другой). Вот об этих «двуличных» растениях мы и поговорим.

В Новой Зеландии произрастают копейные деревья — псевдопанакс дикий (*Pseudopanax ferox*) и псевдопанакс толстолистный (*P. crassifolium*). Это родственники женьшеня, калопанакса семилепестного, заманихи, плюща. Все они — представители семейства аралиевых. В молодом и зрелом возрасте копейные деревья резко отличаются

своими листьями. На протяжении первых 15—20 лет у псевдопанакса толстолистного они окружают верхушку дерева и напоминают спицы полуоткрытого зонтика. Это узкие, кожистые, жесткие, с острыми концами и зубчиками по краям листья. Их ширина — всего один сантиметр, в то время как длина — метр и более. Характерная особенность листовой пластинки — черная с металлическим зеленым отливом окраска. Но вот миновала молодость, и растение преобразилось: перед наступлением зрелости происходит резкое изменение его внешнего вида. На смену простым приходят темно-зеленые сложные листья с тремя — пятью листочками. Любопытно, что у псевдопанакса толстолистного листья меняются в период зрелости еще раз. Теперь они становятся простыми линейными. Длина их 10—15 сантиметров. Они такие же жесткие, как и первые листья, но зазубрин на них нет.

У дикого копейного дерева «юношеские» листья достигают в длину 30—45 сантиметров. Они имеют зазубрины и загнуты вниз к стеблю. Взрослые растения этого вида также отличаются от молодых: их листья значительно короче, всего 6—12 сантиметров, и без зазубрин.

Новая Зеландия особенно богата «двуличными» растениями. Неодинаковый вид од-

ного и того же дерева в разных возрастных периодах нередко ставил в тупик ботаников, которые принимали молодые и старые деревья за разные виды.

Одно из таких растений — коухаи (*Sophora tetrapetala*) — стало национальной эмблемой этой страны. В молодом возрасте коухаи представляет собой вечнозеленое растение с лианообразными стеблями, на которых сидят крошечные листья. По мере взросления стебли становятся прямыми, листья удлиняются и начинают периодически опадать.

Здесь же можно встретить ленточное дерево (*Plagianthus betulinus*), или плагиантус березовый из семейства мальвовых. Это двудомное растение; на одних экземплярах имеются мужские, на других — женские цветки. Молодое растение резко отличается своими габаритами и формой от взрослого. Оно представляет собой кустарник высотой в два и более метра. Во взрослом состоянии — это, действительно, дерево, возвышающееся на 15 метров.

Род эвкалипт насчитывает около 525 видов, распространенных в основном в Австралии и Тасмании. О высоте этих деревьев мы упоминали в разделе «Много ли воды испаряют растения?». Сейчас нас интересуют листья этих гигантов в молодом и зрелом

возрасте. У эвкалипта шарикового (*Eucalyptus globulus*) на молодых ветвях они супротивные, сидячие, стеблеобъемлющие, мягкие, покрытые восковым налетом, отчего кажутся сизыми, а вот на старых ветвях листорасположение очередное, листовые пластинки на длинных черешках. Особенно отчетливо различия заметны у эвкалипта вертящегося (*Eucalyptus pergriffiana*). Его серебристо-белые молодые листья имеют вид металлических светлых дисков, расположенных один над другим. С годами на ветках появляются взрослые листья обычной для эвкалиптов саблевидной формы, расположенные на побеге поочередно.

Наиболее поразительно происходит смена листьев у представителей рода антоклеиста (*Anthocleista*) из семейства логаниевых, встречающихся в Западной тропической Африке (в Нигерии, Гане). У молодых растений высотой до трех метров листья могут достигать в длину более двух метров. Сначала они тянутся вверх под острым углом по отношению к стволу. Затем, по мере увеличения их массы, отгибаются, и черешки занимают почти горизонтальное положение. Наконец, влагища не выдерживают их тяжести, начинают сохнуть, и листья отваливаются от ствола, обнажая его. Дерево в

это время напоминает колючую жердь, объединенную червями и насекомыми. Оно совершенно лишено коры.

На этом заканчивается «юношеский» период развития растения, и оно превращается во взрослую особь. На нем вырастает новая кора, появляются листья, которые значительно меньше предыдущих (их диаметр от 15 до 45 сантиметров). Взрослое дерево достигает высоты 18—25 метров.

Итак, взглянув на некоторые растения, можно сразу же сказать, молодое оно или взрослое.

**«Для нас людей — любовь, а для травы или дерева — цветенье...»**

К растениям, образующим цветки, принадлежит более половины всех существующих на Земле растений. Это около четверти миллиона видов. Для того чтобы составить подробное их описание, ботаникам мира пришлось бы работать в течение многих лет. В результате этой работы появился бы на свет труд, насчитывающий ни много ни мало полмиллиона страниц. Если каждый том будет состоять из 500 страниц, то все издание перечня цветковых растений будет представлено тысячью томов.

Цветок — поистине уникальное образование, очень хо-

рошо приспособленное к выполнению функции, связанной с воспроизводством растений. Существует великое множество цветков: крупных и мелких, ярких и невзрачных, окрашенных в самые различные тона, непохожих друг на друга своей формой, количеством и взаимным расположением отдельных частей. Эти отличия можно легко подметить у представителей разных видов, родов и семейств растений. Однако если мы сравним цветки растений одного вида, то поразимся удивительному их сходству, которое сохраняется даже в том случае, если особи выращивать в различных условиях. У таких растений могут наблюдаться значительные отличия в размерах тела, в количестве листьев и побегов, но строение цветка останется без изменений. Вспомним, например, японские карликовые растения, о которых мы говорили выше. Несмотря на то что они резко отличаются по внешнему виду от нормальных особей того же вида, они интенсивно цветут и плодоносят. Вот почему ботаники взяли особенности строения цветка в качестве основного признака при выяснении родственных связей между растениями и их эволюции.

Образование цветка — это переломный момент в жизни каждого растения, переход от вегетативного состояния к

генеративному, связанному с воспроизведением. Оно свидетельствует о том, что в растении произошли глубокие качественные физиолого-биологические изменения.

Для образования цветков необходим определенный запас питательных веществ. По этой причине растения не могут зацвести сразу же после появления всходов. У однолетних цветение начинается обычно не раньше чем через 20—30 дней после посева, а чаще всего лишь в середине вегетационного периода.

Некоторые тропические растения (какао, кокосовая пальма и другие), раз начав цвести, цветут всю жизнь, не переставая. Подавляющее же большинство видов имеет определенный период цветения: весной, летом, осенью.

### **Холод ускоряет развитие**

Переход растений к цветению зависит от внешних условий. Это экспериментально было доказано немецким ученым Георгом Клебсом. Уже в первой своей работе, опубликованной в 1896 году, он отметил, что существует огромное количество исследований, в которых описываются внешние явления, связанные с цветением, и ничтожно мало работ, посвященных выявлению его причин.

Температура — один из существенных факторов, опре-

деляющих переход растений к цветению. Низкие температуры обычно ускоряют зацветание. Многие двулетники (свекла, морковь) в первый год образуют только прикорневые розетки листьев и лишь на втором году жизни формируют стебли и цветки. Воздействие пониженных температур на первых фазах развития этих растений может вызвать их зацветание в первый год жизни. Обработка холодом семена озимых злаков, удается заставить растения цвести даже в том случае, если они посеяны весной.

Ускорение зацветания под влиянием низких температур получило название яровизации.

Если свеклу, репу, сельдерей выращивать в тропиках, где не бывает низких температур, способствующих яровизации, то они в течение нескольких лет остаются в вегетативном состоянии и не цветут. Холод — неперемное условие для зацветания. Другие растения не испытывают такой настоящей потребности в низких температурах. Они переходят к цветению и без яровизации, правда, с сильным опозданием. К ним относят салат.

У некоторых видов растений ответная реакция на низкие температуры может быть получена при охлаждении увлажненных семян (озимые злаки), у других — при ох-

лаждении растений в период роста (капуста, сельдерей). Наконец, имеются и такие виды, у которых легко вызвать реакцию любым из этих способов (резушка Таля).

Эффективность яровизации зависит от правильно выбранной температуры. Для большинства видов оптимальный ее уровень от 0 до 5 °С. Следует отметить, что оптимальной температурой является та, при которой данный вид адаптировался в течение многих поколений к жизни в определенном климатическом районе. По этой причине яровизация хлопчатника будет проходить при температуре 20—25 °С, а озимой пшеницы — при 0—5 °С.

При яровизации наблюдаются существенные изменения в физиологическом состоянии растения, однако, несмотря на многочисленные исследования, трудно сказать, какие из них основные для перехода к цветению.

Фактор, возникающий при яровизации и вызывающий цветение растений, образуется в точках роста и передвигается затем в листья. В частности, об этом говорят результаты опытов, проведенных польским ученым Е. Хробо́чек еще в 1934 году. Хробо́чек охлаждал различные части растений свеклы при помощи холодной воды, подаваемой через каучуковую трубку. Ускорение цветения наступает

тогда, когда охлаждению подвергались точки роста. Если воздействовать низкими температурами не на взрослые растения, а на семена, то яровизационные изменения происходят в зародышах.

Яровизированные растения могут подвергаться разъяровизации. При этом происходит ликвидация возникших под действием низких температур стимулов цветения. Это достигается выдерживанием яровизированных растений при относительно высоких температурах. Например, в опытах английских ученых Первиса и Грегори, проведенных в 1945 году, было показано, что яровизационный эффект уничтожается, если семена выдерживать при температуре 35 °С.

Разъяровизация нашла применение в практике сельского хозяйства при выращивании лука. В южных районах с большим вегетационным периодом лук выращивается как двулетнее растение. В молодых луковицах, образованных к концу первого вегетационного периода, в результате последующего зимнего хранения на холоде происходят яровизационные изменения. Если такие луковицы посадить, то они могут выпустить цветоносную стрелку. А это нежелательно при выращивании лука-репки. Когда было установлено, что высокие температуры предотвращают цветение яровизирован-

ных растений, был разработан производственный прием разъяровизации луковиц, предназначенных для посадки после зимнего хранения.

Но не всегда разъяровизацию удастся вызвать высокими температурами. Маточники хризантем зимой хранят в прохладном помещении. Если их высадить весной в грунт, то растения быстро зацветут. Ведь они прошли яровизацию, да к тому же ранней весной дни сравнительно короткие, что также способствует цветению хризантем. Чтобы избежать этого, растения прищипывают, удаляя яровизированные почки. Кроме того, разъяровизацию маточников хризантем можно вызвать, осветив растения светом низкой интенсивности.

Знание закономерностей яровизации позволяет поистине творить чудеса. Так, в 1978 году с помощью этого приема удалось получить за 381 день (почти за год!) три поколения известной озимой пшеницы Мироновская 808. Это крупное достижение отечественных ученых имеет большое практическое значение. Дело в том, что при выведении новых сортов требуется вырастить целый ряд поколений. В природных условиях можно снять только один урожай озимой пшеницы в год. В теплице без яровизации результат такой же. А вот с помощью яровизации удалось получить три

генерации. Как же ученые добились этого?

Семена каждого поколения подвергались яровизации в темноте при температуре 1—2 °С. Через 60 суток их высаживали в сосуды с дроблевым керамзитом, погруженным в питательный раствор, который содержал все необходимые макро- и микроэлементы. Сосуды выставляли в теплицу, где поддерживали температуру порядка 25—30 °С и круглосуточное интенсивное освещение. Каждый квадратный метр площади теплицы освещала лампа накаливания мощностью 4 кВт. Чтобы растения не перегревались, между ними и источником света устанавливали водяной фильтр, задерживающий тепловые лучи.

Исследователи работали по следующему графику. Семена поместили на яровизацию 23 января. 25 марта их высадили в вегетационные сосуды с керамзитом. Спустя 65 дней был собран первый урожай. Полученные семена яровизировали и т. д. В результате 11 февраля следующего года был снят урожай третьего поколения. Без яровизации подобных темпов достичь не удалось бы.

### **Растения измеряют время**

Длина светового дня — еще один существенный фактор, определяющий развитие растений (переход к цветению). Аме-



риканские ученые В. В. Гарнер и Г. А. Аллард в начале 20-х годов открыли явление фотопериодизма. Суть его в том, что разные растения неоднозначно реагируют на продолжительность дневного освещения.

Помещая растения в условия неодинаковой продолжительности светового дня, исследователи установили, что они по-разному реагируют на короткий и длинный день. Оказалось, что одни растения быстрее развиваются на укороченном дне, другие — на удлиненном, а третьи вообще не реагируют на продолжительность освещения. В связи с этим были выделены три группы растений. Короткодневные виды зацветают, если световой день длится 8—12 часов. К этой группе относятся перилла, соя, просо, рис, конопля, хризантема. Длинноднев-

ные растения зацветают при продолжительности светового дня, равной 16—20 часам. В эту группу вошли овес, ячмень, рудбекия, подорожник, лен, свекла, люпин. И, наконец, нейтральные растения, зацветающие при любом световом режиме, представлены томатами, конскими бобами, подсолнечником и многими сортами гороха.

Чтобы растения зацвели, вовсе не обязательно выдерживать их в течение всей жизни в условиях соответствующего фотопериода. Например, для короткодневного проса достаточно создать благоприятный фотопериод в течение 10—12 дней после появления всходов. Дурнишник пенсильванский зацветает в том случае, если 12-часовой день сменяется 12-часовой ночью.

Различие между короткодневными и длиннодневными растениями состоит в том, что первые цветут осенью, когда световой день резко укорачивается. Вторые же — в начале лета, когда день значительно длиннее ночи. Осенью распускаются хризантемы, георгины, астры. Среди короткодневных растений есть такие, которые цветут и на длинном дне, однако в этом случае их цветение и плодоношение идет медленнее, чем в условиях благоприятного светового режима. Среди растений длинного дня есть виды, которые на коротком дне совсем не цветут (например, львиный зев). Большинство же других представителей этой группы способны цвести и плодоносить на коротком дне, но формирование цветков и плодов у них сильно задерживается и протекает более медленно, чем на длинном. Наличие нейтральных растений указывает на то, что среди представителей растительного мира есть переходные формы.

В большинстве семейств, например сложноцветных, злаковых, бобовых и пасленовых, разные виды принадлежат к различным фотопериодическим группам, но в некоторых семействах все виды только длиннодневные и нейтральные (крестоцветные, гвоздичные, лютиковые) либо только короткодневные и нейтральные

(молочайные, амарантовые).

Открытие фотопериодизма имеет большое значение для растениеводства, для получения цветков и семян у нецветущих и бесплодных особей, нескольких репродукций семян в течение одного года, для ранней выгонки декоративных и овощных растений и т. д. Явление фотопериодизма должно обязательно учитываться при выведении новых сортов культурных растений. Для умеренных широт подбираются сорта, более приспособленные к цветению на длинном дне, а для южных — на коротком.

Почему же разные растения требуют для своего развития неодинаковых фотопериодов? Оказалось, что между характером фотопериодической реакции растений и их географическим происхождением существует тесная связь. Впервые на это обратили внимание советские исследователи В. Н. Любименко, А. В. Дорошенко, В. И. Разумов, О. А. Щеглова. Выяснилось, что родина растений короткого дня — тропические и субтропические страны, а растения длинного дня — выходцы с территорий, расположенных в более высоких широтах. Как известно, на экваторе в любое время года длина светового дня равняется 12 часам. В средних широтах летом этот показатель возрастает и достигает 16—18 часов.

В Заполярье в июне длина светового дня составляет 24 часа. Таким образом, летом в южных районах световой день короче, чем в северных. В соответствии с этим на юге обитают в основном короткодневные растения (представители семейств молочайных и амарантовых), а на севере — длиннодневные (виды семейств крестоцветных, гвоздичных и лютиковых). Все это говорит о том, что явление фотопериодизма — не что иное, как приспособление растений к определенным условиям существования.

Однако приверженность к определенной длине светового дня препятствует распространению видов в разных широтах. В самом деле, если растение цветет только в условиях короткого дня, то оно не образует семян в северных районах. Какая же польза от этого свойства, если оно ограничивает расселение вида?

Польза заключается, во-первых, в том, что это приспособление гарантирует цветение в наиболее благоприятных условиях. В самом деле, длиннодневные растения наших широт цветут в начале лета, когда достаточно тепла и солнечного света для их роста и развития. Если бы они цвели осенью, то не успели бы сформировать семена и погибли бы, не оставив потомства. А во-вторых, все

растения одного вида благодаря фотопериодизму зацветают почти одновременно, синхронно, что благоприятствует успешному их опылению.

По-видимому, длиннодневные и короткодневные виды произошли в ходе эволюции от нейтральных, более древних по происхождению и неспециализированных. Специализация длиннодневных видов, произрастающих в климатических условиях умеренных и северных широт, дала им огромные преимущества перед нейтральными. То, что эти растения при осеннем или зимнем коротком дне не цветут, способствует их сохранению и является, таким образом, приспособлением к перезимовке. Ведь в период цветения интенсифицируется обмен веществ, что делает растения неустойчивыми к неблагоприятным факторам среды.

Специализация короткодневных видов в тропических и субтропических странах также пошла им на пользу. Эти растения на длинном дне не цветут, а вегетируют и, таким образом, переживают жаркое и сухое лето или период проливных дождей. Хотя продолжительность дня в тропических странах колеблется незначительно (на острове Ява максимальная разница составляет всего лишь 48 минут), тем не менее многие обитатели этих мест очень

чувствительны даже к малейшему ее изменению. Экспериментальным путем установлено, что увеличение или сокращение периода дневного освещения всего на 1 минуту соответственно ускоряет или тормозит зацветание яванского риса более чем на сутки. Любопытно установить точность «часов», которыми «пользуются» эти злаковые растения. Оказалось, что ошибка составляет всего 0,07 процента. Как тут не вспомнить строки из книги «Голос леса» Рабиндраната Тагора:

*О свет, возникший в первый день творенья!*

*С небес на это дерево слети.*

*Тебе подвластно таинство цветенья,*

*Назначь же срок — когда ему цвести.*

*И вспыхнут нежным пламенем бутоны,*

*И, славя солнце, затрепещут кроны.*





Действительно, солнечному лучу «подвластно таинство цветения». Долгота дня — это своеобразные астрономические «часы», указывающие растениям, когда им зацвести и размножиться, а когда начинать готовиться к зимовке.

Следует отметить, что растения разных фотопериодических групп отличаются по своим внешним признакам, если их выращивать на длинном или коротком дне. Многие длиннодневные растения в условиях короткого дня не образуют цветоносного стебля, а остаются в фазе кушения или розетки. Это явление читателям, безусловно, хорошо известно. Осенью, когда наблю-

дается короткий день, озимые злаки обильно кустятся, образуя множество побегов и листьев. Растения рудбекии из семейства сложноцветных на коротком дне образуют розетки листьев, они резко отличаются от особей того же возраста, но выросших на длинном дне. У большинства длиннодневных растений укорочение длины дня приводит к тому, что растения как бы прижимаются к поверхности земли, их главные стебли растут медленно или вовсе, не растут. Наоборот, при увеличении длины

дня они начинают тянуться вверх, образуя мощные прямостоячие стебли с длинными междоузлиями. Что же касается короткодневных растений, то они успешно развиваются на коротком дне. На длинном же дне у них наблюдается интенсивный вегетативный рост, но цветки не образуются.

Органом, воспринимающим фотопериодическое воздействие, служит у растений лист. Образовавшийся в нем на благоприятном фотопериоде фактор цветения транспортируется затем к точкам роста, где начинают формироваться цветки. Листья воспринимают изменение длины светового дня с помощью системы фитохромов,

	<i>Короткий день</i>	<i>Длинный день</i>
<i>Длиннодневное растение</i>		
<i>Короткодневное растение</i>		

Влияние длины дня на длиннодневное растение табака лесного и короткодневного растения табака настоящего (сорт Мерленд Мамонт).

о которой мы говорили в разделе «Голубой и зелено-желтый». Фитохромы имеют важное значение в жизни длиннодневных и короткодневных растений. На это указывает тот факт, что красные лучи оказались наиболее активными в отношении задержки цветения короткодневного растения сои.

Как мы уже отмечали, под влиянием красных лучей фитохром красного света превращается в фитохром дальнего красного света:

$\Phi_{\text{кк}} \xrightarrow{\text{красный свет}} \Phi_{\text{дкк}}$ . Ночью под действием дальнего красного света  $\Phi_{\text{кк}}$  трансформируется в  $\Phi_{\text{дкк}}$ , и это способствует переходу к цветению короткодневных растений. Наоборот, для вступления длиннодневных растений в фазу цветения необходимо высокое содержание фитохрома дальнего красного света, которое возрастает на длинном дне.

### **Почему хризантемы цветут осенью!**

Еще в глубокой древности человек был очарован красотой хризантем. И вот в течение уже более двух тысячелетий эти цветы украшают наши сады.

В Японию хризантема была завезена давно, и очень полюбилась местным жителям. Японцы называли ее «кику», что в переводе означает «солнце». Цветок стал символом небесного светила в Стране

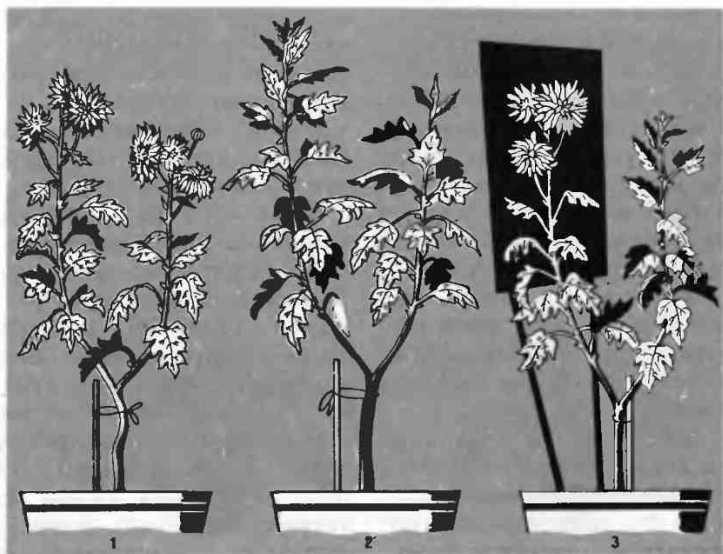
восходящего солнца. Стилизованное изображение этого растения украсило герб Японии, боевые знамена, оно чеканилось даже на монетах. Высшая награда страны — орден хризантемы.

Осень — пора цветения хризантем. В это время японцы чествуют свою любимицу. В день праздника этим растением украшают жилища. Люди одевают одежду (шелковое кимоно) с изображением цветка, поэты читают стихи, посвященные хризантеме, и развешивают их текст на деревьях. Певцы исполняют в ее честь песни, а цветоводы устраивают к празднику выставки любимых цветов.

Такая популярность, вероятно, обусловлена тем, что хризантема зацветает, когда другие растения уже завершают свой жизненный цикл. «Цветок запоздалый» — последнее напоминание о лете. Почему же хризантемы зацветают осенью?

Мы уже говорили, что хризантема относится к числу короткодневных растений, а короткие дни бывают как раз в это время года. Непродолжительный фотопериод — это лишь внешняя причина цветения. Однако существуют и внутренние.

Первым высказал идею о наличии в растениях особых «органобразующих веществ» немецкий физиолог



Значение листьев в осуществлении фотопериодической реакции короткодневного растения хризантемы:

1 — растение, выращенное в условиях короткого дня; 2 — растение, выращенное в условиях длинного дня; 3 — левый побег растения находился на коротком дне, а правый — на длинном.

Ю. Сакс еще в 80-х годах прошлого века до появления печатных работ по развитию растений Г. Клебса. Концепции Г. Клебса и Ю. Сакса были основаны на совершенно противоположных идеях: один объяснял развитие растений исключительно влиянием внешних условий, а другой связывал его только с действием внутренних факторов.

Большой вклад в создание современной концепции цветения растений внесли работы советского ученого, академика АН СССР Михаила Христофоровича Чайлахяна. Еще в 1937 году он предположил,

что зацветание растений связано с образованием в листьях веществ гормональной природы, или гормонов цветения. Мы начали наш рассказ с хризантемы не случайно: именно на этом растении ученый ставил свои опыты.

Прежде всего надо было выяснить, какой орган воспринимает фотопериодическое воздействие. Чтобы ответить на этот вопрос, М. Х. Чайлахян создавал благоприятный фотопериод поочередно для различных органов растения. Когда короткий день создавался для почек, растения не зацветали, если же в

условия короткого дня помещались листья, наступало цветение. Из этого был сделан вывод: органом, воспринимающим фотопериодическое воздействие, является лист. Дальнейшие исследования показали, что под влиянием фотопериодического воздействия в листьях возникают особые факторы, которые, перемещаясь к точкам роста, вызывают формирование в них цветочных зачатков. Исследователь пробовал удалять верхушечные почки. Тогда цветки образовывались из почек, расположенных у основания стебля. Следовательно, гипотетические вещества перемещаются в растении из листьев вверх и вниз.

О наличии транспорта гипотетических веществ свидетельствуют также результаты опытов с применением низкой температуры или наркотиков (эфира, хлороформа), которые, как известно, нарушают движение веществ по растению. Оказалось, что, хотя листья находились на благоприятном фотопериоде, однако при прекращении транспорта веществ цветения не наступало, ибо гипотетические факторы не поступали к точкам роста.

На основании своих опытов М. Х. Чайлахян сформулировал гормональную концепцию цветения, согласно которой под влиянием благоприятного фотопериода в листьях про-

исходит образование особого гормона цветения — флоригена. Перемещаясь к точкам роста, он вызывает формирование цветков. На неблагоприятном фотопериоде у растений этот гормон не образуется, поэтому цветения не наступает.

Химическая природа флоригена до настоящего времени неизвестна. Из растений были выделены различные фракции, оказывающие влияние на цветение, однако необходимы дополнительные исследования, которые позволят сделать окончательное заключение относительно природы фактора.



Влияние гиббереллина на цветение капусты.

Вскоре после открытия гиббереллинов начались опыты по испытанию их влияния на развитие растений. В 1956 году американский ученый А. Ланг сделал важное открытие: он установил, что обработка длиннодневных растений гиббереллином способствует формированию цветonoсного стебля даже в условиях короткого дня. Без такой обработки, как мы уже знаем, они существуют в виде розетки.

Это открытие привлекло внимание исследователей. Оказалось, что гиббереллин стимулирует цветение только длиннодневных видов и не оказывает влияния на развитие короткодневных. На основании опытов по влиянию гиббереллинов на цветение

растений М. Х. Чайлахян пришел к заключению, что эти вещества обуславливают рост только цветonoсных стеблей. Сами же цветки формируются под влиянием других гормонов — антезинов. Итак, гипотетический флориген предстал теперь в виде вполне реальных гиббереллинов и гипотетических антезинов. Цветение растений возможно лишь в том случае, если в них содержатся как гиббереллины, так и антезины.

Теперь понятно, почему длиннодневные растения не цветут в условиях короткого дня, а формируют розетки (нет гиббереллинов, необходимых для формирования стеблей). Антезины же в них успешно синтезируются. Добавление гиббереллина извне

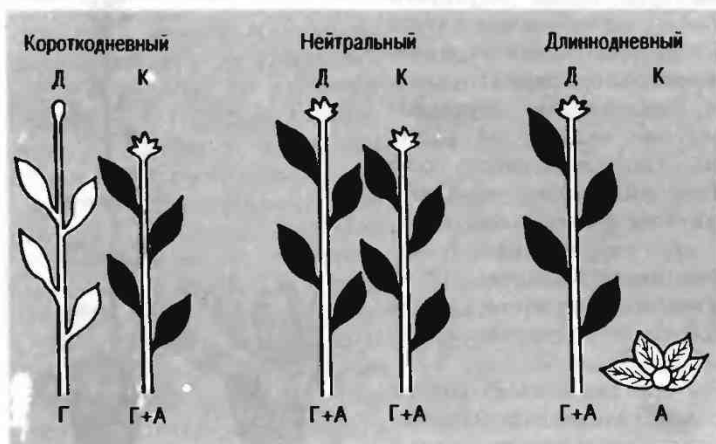


Схема образования гормонов цветения у растений различных фото-периодических групп.

делает комплекс гормонов цветения полноценным, поэтому у растения начинают цвести.

Короткодневные растения в этих же условиях образуют как гиббереллины, так и антезины, поэтому успешно цветут. На длинном дне в них образуются гиббереллины, но не синтезируются антезины. Вспомним: хризантемы в июне успешно растут, у них формируются не только листья, но и стебли. А вот цветки в это время отсутствуют, что связано с нехваткой антезинов.

Ну а нейтральные растения? Они успешно синтезируют гиббереллины и антезины в условиях как длинного, так и короткого дня. Их цветение не зависит от долготы светового дня.

### **Как задержать цветение редиса!**

В Нечерноземной зоне редис получается хорошего качества обычно весной. Если это растение культивировать в июне — июле, то качество корней ухудшается — они становятся деревянистыми, жесткими. Вместе с тем на юге, например в Махачкале, на рынке все лето редис сочный и вкусный. Почему?

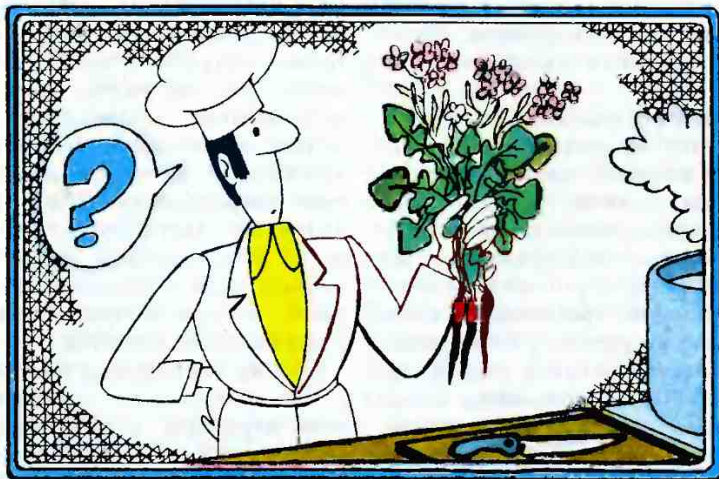
Дело в том, что в Нечерноземье в середине лета растения редиса активно переходят к цветению, образуя длинные цветоносные стебли.

Рост этих стеблей сопровождается потреблением большого количества питательных веществ, которые теперь не откладываются в корне. Накопленные в корнях к моменту цветения органические вещества устремляются вверх, в растущий цветоносный стебель. В корнеплодах остается лишь грубая механическая ткань, которая и придает им специфические свойства.

Почему же растения редиса в Нечерноземье в середине лета переходят к цветению, тогда как на юге продолжают вегетативный рост? В наших широтах в конце июня, как говорят, «заря с зарею сходится», то есть ночь очень коротка, а день длинный-предлинный. На юге же длина светового дня меняется незначительно. На широте Махачкалы в июне уже в восемь часов вечера тьма окутывает землю.

Редис, как установили ученые, относится к растениям длинного дня. Это значит, что он переходит к цветению в том случае, если продолжительность светового дня будет равна 16 часам и больше. Длина светового дня в 16 часов наблюдается под Москвой 11 мая. Если мы посеём редис после этого срока, его проростки получат длинный световой день и вследствие этого, достигнув зрелости, зацветут.

Можно ли предотвратить нежелательный результат?



Можно ли получить полноценные корни редиса в наших широтах в середине лета? Опыты показывают, что это вполне реально. Достаточно растения выдерживать в условиях короткого 12-часового периода. Для уменьшения длины естественного светового дня необходимо в определенное время закрывать грядки светонепроницаемыми ящиками, что задержит появление стеблей. Качество корнеплодов будет отменное. Закрывать растения необходимо, начиная с появления проростков.

### **Синхронное цветение растений**

Одна из загадок цветения растений заключается в том, что представители некоторых видов распускают свои цветки

строго синхронно, в один и тот же день. Словно кто-то взмахнул дирижерской палочкой, и вот зазвучала удивительная симфония цветения. Как писал Спиридон Дрожжин в стихотворении «Весеннее царство»:

*Краснея, почки лепестков  
Вздохнули вдруг,  
И миллионами цветов  
Покрылся луг.*

Наблюдательны, однако, не только поэты, но и дети. Корней Иванович Чуковский в книге «От двух до пяти» привел очень интересное для нас высказывание ребенка: «Вот ты говоришь — чудес не бывает. А разве это не чудесó, что вишни в одну ночь зацвели?».

Групповое цветение растений наблюдается обычно в тропиках. У деревьев ангсаны

(*Pterocarpus indicus*) соцветия развиваются в пазухах молодых светло-зеленых листьев. В определенной местности все растения этого вида зацветают в один и тот же день. На следующее утро лепестки цветков дружно осыпаются. Через несколько дней (обычно через три) деревья ангсаны вновь покрываются цветками. Такое импульсное цветение продолжается до тех пор, пока не распустятся все заложенные в соцветиях бутоны.

Миртовые, произрастающие в бассейне Амазонки, также характеризуются одновременностью зацветания и непродолжительностью периода цветения. В определенный день все миртовые одного какого-нибудь вида, как бы далеко друг от друга они ни росли, покрываются белоснежными цветками. На следующий день на деревьях можно обнаружить лишь увядшие лепестки.

Синхронное цветение наблюдается и у бамбуков. Они дружно зацветают и после созревания плодов погибают.

У орхидеи голубиной (*Dendrobium stuenenii*) цветение наблюдается обычно после грозы с ливнем, который следует за продолжительным сухим периодом. Предполагают, что определяющее значение при этом имеет не воздействие дождя или атмос-



Корифа зонтоносная.

ферного электричества, а внезапное понижение температуры.

В Южной Индии и на острове Шри-Ланка произрастает пальма корифа зонтоносная, или талипотовая пальма (*Corypha umbraculifera*), величественное растение с крупными веерными листьями. Длина листьев до семи-восьми метров, а диаметр — 5—6 метров. Под одной листовой пластинкой корифы во время



дождя могут укрыться 15—20 человек. Корифа зонтоносная — национальная эмблема Шри-Ланки.

Будучи монокарпиком, талиповая пальма зацветает один раз на 40—70-м годах жизни. При этом образуется гигантское верхушечное метельчатое соцветие из тысячи белых цветков. Любопытно, что многие особи корифы зонтоносной зацветают одновременно.

Групповое цветение имеет место и у гигантской горной ротанговой пальмы из Малайзии — плектокомии Гриффита (*Plectocomia griffithii*).

Неизгладимое впечатление производит наблюдаемое в природе распускание цветков виктории — гигантской водяной лилии Южной Америки. Переход от дня к ночи совершается под экватором зна-

чительно быстрее, нежели в средних широтах. Обычно цветки виктории распускаются сразу же после захода солнца, в 18 часов по местному времени. Если в это время наблюдать за зарослями виктории с возвышения, откуда сразу видно много цветков, то можно увидеть впечатляющее зрелище: все бутоны раскрываются совершенно синхронно.

В наших широтах синхронное цветение приписывается некоторым видам ситника (*Juncus*). Эти травянистые растения обитают обычно по сырым лугам, берегам рек, канавам, болотам. Все особи ситника, произрастающие в данной местности, раскрывают свои цветочные почки с интервалом в несколько дней. Зависимости между изменением погоды и распусканием

цветков ситника не обнаружено.

В чем причина синхронного цветения растений? По-видимому, для этого им необходим какой-то сигнал или стимул. Некоторые ученые связывают это явление с неожиданным перепадом температур, с изменением влажности, с внезапным ослаблением солнечной радиации и даже с грозой. Однако серьезных экспериментальных исследований по этому вопросу не проводилось, так что ни одна из гипотез не представляется сколько-нибудь достоверной.

### **Существует ли гормон смерти!**

Из школьного курса ботаники известны три группы растений, различающиеся продолжительностью своей жизни. Однолетние растения (просо, гречиха, лебеда) появляются из семян весной, затем зацветают и после этого отмирают, прожив меньше года. У двулетних (капусты, моркови) в первый год жизни, как правило, развиваются только корни и листья. На второй они образуют цветonoсный стебель с цветками, на которых формируются плоды и семена. К осени второго года двулетники отмирают. К многолетним относятся практически все деревья и кустарники, а также многие травы — земляника, ландыш, осот, мать-и-

мачеха, крапива, георгины и другие.

Однолетники и двулетники отмирают после образования семян. Эти однократно плодоносящие растения называются монокарпическими. О них мы вполне можем сказать словами Г. Гейне:

*Я из рода бедных азров,  
Полюбив, мы умираем.*

К монокарпическим растениям относятся также некоторые многолетние растения (агавы, бамбуки). Например, агавы зацветают на своей родине в Мексике, как правило, на восьмом — десятом году жизни, а в менее благоприятных условиях и значительно позже, тем не менее их цветение — предвестник скорого отмирания. Вот почему, культивируя агавы, люди стремятся не допустить их зацветания. С этой целью, когда в середине розетки листьев появляется молодая почка, ее вырезают. В получившемся углублении скапливается раствор сахаристых веществ, которые предназначались для формирования цветonoсного стебля, достигающего в естественных условиях высоты 12 метров.

Есть монокарпические растения и среди пальм. Саговая пальма образует огромные леса в болотистых низинах Новой Гвинеи. Встречается она также на Молуккских и Филиппинских остро-

вах, на Калимантане и Сулавеси. По сравнению с другими пальмами это небольшое дерево, возвышающееся над субстратом на 8—12 метров. Цветет она один раз в 15—20 лет, после чего отмирает.

Как и у других монокарпических растений, соцветия саговой пальмы огромны и достигают в длину двух метров. Когда они формируются, в растении накапливается особенно много крахмала. В это время дерево срубают, раскалывают ствол по всей длине и из сердцевинки вымывают саговую муку, которую затем прессуют и используют для изготовления саго.

В Средней Азии к числу многолетних монокарпических растений относятся представители рода ферула (*Ferula*) из семейства зонтичных. В течение шести-семи лет ферула растет в виде розетки листьев, затем появляется соцветие, поднимающееся выше человека. После плодоношения растение отмирает.

В отличие от монокарпических растений у поликарпических образование потомства не ведет к их отмиранию. В силу этого они многократно цветут и плодоносят. Это, например, яблони, груши и многие другие виды.

Почему же монокарпические растения гибнут после плодоношения? Исследователи из университета штата Мичиган (США). Л. Нуден

и С. Шрейер считают, что сигнал к «самоубийству» посылают растению его собственные семена, созревание которых означает, что оно исполнило свое жизненное предназначение и должно освободить место для потомства. Предполагают, что семена начинают выделять какое-то химическое соединение — «гормон смерти», под влиянием которого жизненные процессы в растении навсегда прекращаются. Если удалить формирующееся соцветие, то можно продлить жизнь монокарпика.

Остается неясным, почему яблони, груши, персики и другие поликарпические растения интенсивно плодоносят, но после этого не погибают. Может быть, их семена не выделяют «гормон смерти»? Или ученые ошиблись и нет вовсе никакого сигнала смерти у монокарпических растений, а причина их гибели кроется в чем-то ином? В настоящее время исследователи пытаются выделить этот гормон. Если это им удастся, то человек получит мощное средство воздействия на растения — не что иное, как идеальный гербицид. Вероятно, это будет эффективное средство для борьбы с сорной растительностью и в отличие от применяемых в настоящее время гербицидов совершенно безопасное для здоровья людей.

# РАЗДРАЖИМОСТЬ И ДВИЖЕНИЯ РАСТЕНИЙ

Когда ночная тьма скрывает горизонт,  
Скрываются поля, леса, берега и понт.  
Чувствительны цветы во тьме себя сжимают,  
От хладу кроются и солнца ожидают.  
Но только лишь оно в луга свой свет прольет,  
Открывшись в теплоте, сияет каждый цвет,  
Богатство красоты пред оным отверзает  
И свой приятный дух, как жертву проливает...

М. В. Ломоносов

## Растения отвечают на внешние воздействия

Один из характерных признаков живых организмов — способность к раздражению. На любой организм в течение всей его жизни постоянно воздействуют разнообразные факторы внешней среды: свет, температура, звук, сила тяжести, ветер и т. п. Действие всех этих раздражителей вызывает у организма ответные реакции, в основе которых лежит раздражимость клеток.

Уже знакомая нам мимоза стыдливая, — одно из самых чувствительных растений. Одни исследователи полагают, что быстрая реакция мимозы на раздражение в естественной обстановке позволяет ей имитировать «несъедобный» вид. Другие считают реакцию защитным средством организма, позволяющим растению выжить в неблагоприятных условиях, например во время ливневых тропических дождей: с первой каплей мимоза складывает свои листоч-

ки и тем самым уменьшает сопротивление низвергающемуся потоку воды. Благодаря этому дождевая влага вымывает из них меньшее количество ценных веществ.

Известно, что хлороформ и эфир усыпляют человека и животных, делают их нечувствительными к боли. Наркотические вещества действуют на мимозу стыдливую аналогичным образом: если поместить под стеклянный колпак это растение и ватку, смоченную эфиром, то мимоза теряет свою необыкновенную чувствительность. При этом даже в случае очень сильного раздражения ее листочки не будут поникать.

Широко распространено мнение, что чувствительность растений по отношению к раздражителям значительно ниже, чем у животных организмов, которые обладают нервной системой. Однако это не совсем так. Мы уже приводили пример чрезвычайно высокой чувствительности волосков росянки, которая оказа-



лась даже выше, чем у кожных рецепторов человека. Яванский рис очень чутко реагирует на изменение длины светового дня.

В наших лесах растет кислица, которая, подобно мимозе стыдливой, реагирует на различные раздражения. Каждый лист этого растения состоит из трех листочков, которые обычно располагаются в горизонтальной плоскости. Если палочкой или пальцем ударить по листу кислицы, он изменит свое положение. Правда, в отличие от мимозы стыдливой реакция наблюдается не так быстро — через одну-две минуты. Через пять минут листочки опускаются и складываются. Опыт лучше удаётся с молодыми листьями.

Кислица реагирует также на свет. Когда яркий луч солнца пробивается сквозь

полог леса и попадает на нее, то листочки быстро опускаются, прижимаются нижней стороной к черешку и друг к другу. Это предохраняет их от яркого света и излишнего испарения воды.

Что лежит в основе раздражимости у растений? Согласно представлениям советского исследователя И. И. Гунара, внутренние процессы у растений координируются с помощью сложной системы, состоящей из воспринимающей части (рецепторы), — верхушек корней и стеблей, а также цитоплазматических выростов в наружной стенке коровой ткани. Возникающее в них возбуждение передается с помощью фитогормонов и биотоков по определенным тканям к исполнительным органам — особым зонам, где происходят изгибы растений.

## Электричество в растениях

Чарльз Дарвин придавал важное значение раздражимости растений. Он детально изучил биологические особенности насекомоядных представителей растительного мира, отличающихся высокой чувствительностью, и результаты исследований изложил в замечательной книге «О насекомоядных растениях», вышедшей в свет в 1875 году. Кроме того, внимание великого натуралиста привлекли различные движения растений. В совокупности все исследования наводили на мысль, что растительный организм удивительно схож с животным.

Широкое использование электрофизиологических методов позволило физиологам животных достичь значительного прогресса в этой области знаний. Было установлено, что в организмах животных постоянно возникают электрические токи (биотоки), распространение которых и приводит к двигательным реакциям. Так, например, когда исследователи подсоединяли один конец медного провода, идущего от гальванометра, к поверхности свежепрепарированного мускула, а другой — к его поперечному сечению, то стрелка прибора отклонялась от исходного положения, что свидетельствовало о прохождении электрического тока. Если путем раздраже-

ния вызывалось сокращение мускула, то стрелка отклонялась в противоположную сторону.

Ч. Дарвин предположил, что сходные электрические явления имеют место и в листьях насекомоядных растений, обладающих довольно сильно выраженной способностью к движению. Однако сам он не проверял эту гипотезу. По его просьбе эксперименты с венериной мухоловкой были проведены в 1874 году физиологом Оксфордского университета Бурданом Сандерсоном. Подсоединив лист этого растения к гальванометру, ученый отметил, что стрелка тотчас же отклонилась. Значит, в живом листе этого насекомоядного растения возникают электрические импульсы. Когда исследователь вызвал раздражение листьев, прикоснувшись к расположенным на их поверхности щетинкам, стрелка гальванометра отклонилась в противоположную сторону, как в опыте с мышцей животного.

Немецкий физиолог Герман Мунк, продолживший опыты Сандерсона, в 1876 году пришел к заключению, что листья венериной мухоловки в электроном отношении подобны нервам, мускулам и электрическим органам некоторых животных.

В России электрофизиологические методы были использованы Н. К. Леваковским

для изучения явлений раздражимости у стыдливой мимозы. В 1867 году он опубликовал книгу под названием «О движении раздражимых органов растений». В экспериментах Н. К. Леваковского самые сильные электрические сигналы наблюдались в тех экземплярах мимозы, которые наиболее энергично отвечали на внешние раздражители. Если мимозу быстро убить нагреванием, то мертвые части растения не вырабатывают электрических сигналов. Возникновение электрических импульсов автор наблюдал также в тычинках бодяка и чертополоха, в черешках листьев росянки. Впоследствии было установлено, что в любом растении можно обнаружить возникновение электрических потенциалов.

В нормальном состоянии клеток цитоплазма заряжена отрицательно по отношению к своей наружной поверхности. Причина этого заключается в неравномерном распределении ионов: внутри клеток находится больше ионов хлора и калия, но меньше кальция, чем снаружи. Такое распределение ионов, определяющее величину потенциала покоя, связано с тем, что в мембранах клеток находятся особые молекулы-переносчики, которые, подобно насосу, перекачивают ионы внутрь клетки.

Величина потенциала покоя

клеток стыдливой мимозы равна 160 мВ. После раздражения происходит быстрое уменьшение этой величины до 20 мВ. В ответ на раздражение возникает потенциал противоположного знака, или потенциал действия. В клетках мимозы он равен приблизительно +140 мВ, а у насекомоядных растений венериной мухоловки и альдрованды составляет около 100 мВ.

Появление потенциала действия связывается с выходом ионов хлора из клетки, а возможно, с поступлением кальция внутрь ее. Особенно подробно это явление изучено на гигантских клетках водорослей хара и нителла. В них потенциал действия возникает под влиянием механических, химических и электрических раздражителей, правда, в этих клетках его появление не сопровождается движением, как у стыдливой мимозы или насекомоядных растений, однако благодаря огромным размерам в них оказалось удобно вводить электроды. Вот почему они широко используются для изучения электрических явлений у растений.

От клетки, подвергшейся раздражению, потенциал действия распространяется у мимозы со скоростью 2—5 см/с, у венериной мухоловки — 20 см/с, у подсолнечника — 1,3 см/с. Перемещение его происходит, по-видимому,

следующим образом: потенциал действия одной клетки возбуждает соседнюю, в которой возникает собственный потенциал действия, и т. д. Возбуждение передается главным образом по сосудистым элементам.

Если полностью удалить из стебля проводящие ткани, растение не будет отвечать на раздражение генерированием электрического потенциала действия. Важную роль в выработке электрических импульсов в проводящей ткани играют ионы калия. При калийном голодании не возникает потенциала действия в ответ на раздражение. Не случайно в проводящих тканях растений содержится большое количество этого элемента.

У высших растений отчетливо проявляется способность генерировать периодически повторяющиеся электрические импульсы в ответ на действие постоянного раздражителя. Впервые это было установлено в 1936 году на клетках водоросли нителлы.

Распространяющиеся по растению электрические импульсы можно уловить с помощью современных приборов и записать на бумажной ленте. Обычно запись электрических импульсов представляет собой слегка волнистую линию. Однако стоит погрузить растение в горячую воду, как характер кривой резко изменится, волны на бумажной

ленте значительно увеличатся в размерах.

Электрические сигналы оказались причастными к выполнению разнообразных функций. Так, например, механическое раздражение нектарников цветков липы вызывает появление электрического импульса, способствующего усилению образования и выделению нектара.

Электрические сигналы возникают и при действии света на заростки папоротника. Их роль заключается в стимуляции процесса оплодотворения. Аналогично значение биотоков и в оплодотворении цветковых растений. Обычно цветочная пыльца заряжена положительно, а пестик — отрицательно. Это обстоятельство, по-видимому, играет немаловажную роль в попадании пыльцы на рыльце пестика и в оплодотворении. Измерения электрического поля вокруг прорастающих пыльцевых зерен, проведенные с помощью специального электрода, показали, что они генерируют постоянный электрический ток в несколько сотен микроампер. В растущей пыльцевой трубке ток достигает довольно высокой плотности (около  $60 \text{ мкА/см}^2$ ) и регистрируется в течение всего периода их роста. По достижении ими длины в 1 миллиметр или больше на фоне постоянного тока появляются многочисленные импульсы продолжитель-

ностью около 30 секунд с периодичностью в 60—100 секунд.

Правда, у смородины пыльца разнокачественна по знаку электрического заряда. Положительно заряженная фракция оседает на катоде, отрицательно заряженная — на аноде. Катодная фракция обладает большей жизнеспособностью. Использование ее при половой гибридизации повышает процент завязывания ягод, выход семян, ягоды в этом случае более крупные, а появляющиеся сеянцы быстрее укореняются.

### **Обладают ли растения эмоциями?**

В связи с открытием способности растений отвечать на действие различных раздражителей, с достижениями в области электрофизиологии в конце прошлого столетия широкое распространение, особенно в западноевропейских странах, получили представления о психической деятельности растений. Возникла даже фитопсихология, сторонники которой, не располагая экспериментальными данными, настаивали на том, что у растений есть душа, чувства, сознание... Изложение этих взглядов можно найти в книге немецкого профессора Р. Г. Франсэ «Чувствуют ли растения?».

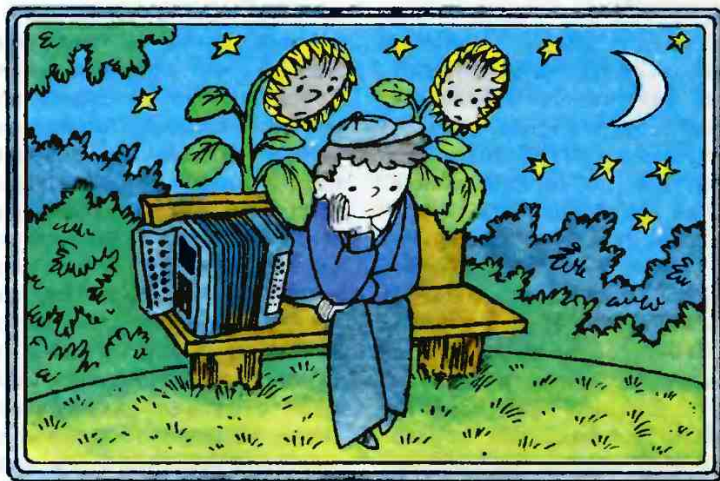
Будучи последовательным материалистом, К. А. Тимиряз-

ев высказался против подобных утверждений, назвав их «фантастическим вздором». Он подчеркивал, что выводы фитопсихологов не имеют под собой ни одного экспериментального подтверждения. Фитопсихология не открыла новых фактов, а только пыталась приложить некоторые термины психологии и физиологии к описанию процессов раздражимости у растений, причем по большей части использовавшиеся аналоги оказывались весьма сомнительными.

Эта критика, а также отсутствие экспериментальных доказательств, в конце концов, привели к забвению фитопсихологии, так что после первой мировой войны почти никто не вспоминал о духовной жизни растений.

Однако в 60—70-х годах интерес к психической деятельности растительных организмов резко возрос, и споры вокруг этого вопроса не утихают до сих пор. В чем дело? Почему стала возможной реанимация, казалось бы, заведомо порочной концепции? Причина видится в том, что современные неопсихологи опираются отнюдь не на отвлеченные рассуждения о душе, а на экспериментальные данные, полученные с помощью совершенных приборов.

Толчком для активизации фитопсихологических пред-



ставлений послужили эксперименты советника нью-йоркской полиции, специалиста по детекторам лжи Клива Бакстера с драценой и креветками, которые якобы демонстрируют телепатические возможности растений.

Опыт с драценой заключался в следующем. К растению подключали датчики биопотенциалов с целью выяснения характера биоэлектрической реакции растения на ожог. Однако прежде чем экспериментатор полез в карман за зажигалкой, стрелка самописца резко задергалась. Складывалось впечатление, что растение «прочло» мысли экспериментатора и прореагировало на них.

Далее Бакстер пришел к заключению, что растения испытывают симпатии и антипатии к определенным людям и

животным. В качестве доказательства приводился такой факт. Человек приближался к двум стоящим рядом филодендронам, вырывал один из них с корнем и ломал «на глазах» у другого. Спустя некоторое время он подходил к сохранившемуся растению, и то бурно реагировало на его приближение, хотя, когда приближался другой человек, оставалось спокойным.

Но, пожалуй, наиболее впечатляющими были опыты Бакстера с креветками. Они вызвали особенно бурные споры, поскольку каждый, кто располагал прибором для записи биопотенциалов, мог повторить их.

Если живую креветку бросить в кипяток, то самописец электрических импульсов находящегося поблизости растения начинает выписывать и

очень сильно выраженные «волны». Значит, растения воспринимают каким-то образом факт гибели креветки и, мало того, реагируют на него? Исследователи ставили этот опыт и тогда, когда в лаборатории никого не было. Вбрасывание креветки в кипяток производилось с помощью механизма, который включался неожиданно. И все равно прибор, регистрирующий электрические импульсы, записывал реакцию растения на гибель креветки. На основании этих опытов, получивших широкую известность в популярных изданиях, стали предполагать, что растения чутко реагируют на явления окружающей жизни, в частности на характер, болезнь и даже настроение хозяина.

У Бакстера нашлись последователи как в Соединенных Штатах, так и в других странах. В лаборатории эвристики Научно-исследовательского института общей психологии Академии педагогических наук СССР изучалась возможность информационной связи между человеком и растением. В этих исследованиях изучалась электрофизиологическая реакция растений на изменения в психическом состоянии человека. В нескольких шагах от сидящего в кресле испытуемого ставили комнатное растение, к различным точкам которого присоединялись электроды. Разность потенциалов между

точками записывалась на бумажной ленте. С помощью гипноза участник эксперимента вводился в определенное эмоциональное состояние, у него вызывались положительные или отрицательные эмоции. Приборы зафиксировали: когда происходила перемена в психологическом состоянии человека, растения изменяли величину электрических импульсов. Если гипнотизер направлял внимание испытуемого на одно из стоящих рядом растений, то самописец регистрировал, что отреагировал на это вспышкой потенциала действия лишь этот цветок. Соседние растения оставались как бы «безучастными».

Известный советский специалист в области электрофизиологии растений профессор И. И. Гунар пытался воспроизвести в своей лаборатории опыты Бакстера, используя значительно более чувствительную электрофизиологическую аппаратуру. Однако эти эксперименты не подтвердили наблюдений советника нью-йоркской полиции. В двух стоящих рядом сосудах находились растения подсолнечника и стыдливой мимозы. К одному из них были присоединены датчики приборов, а другое подрезали ножницами. Гальванометры не реагировали на эти «преступные» действия. Растения оставались безучастными к судьбе соседа.

Но вот кто-то из экспериментаторов приблизился к сосуду с мимозой, подсоединенной к прибору. И тут стрелка гальванометра пришла в движение. Однако этот факт исследователи объяснили не реакцией растения, а действием электрического заряда, которым обладает человек.

В 1975 году американские исследователи Горовиц, Льюис, Гастайгер повторили опыт Бакстера с креветками. Статистическая обработка полученных результатов показала, что не наблюдается связи между состоянием растения и смертью креветок. Эти результаты ставят вопрос об эмоциях у растений под большое сомнение.

### Сон растений

В стихотворении Н. Заболоцкого «Меркнут знаки Зодиака» читаем:

*Колотушка тук-тук-тук,  
Спит животное Паук,  
Спит Корова, Муха спит,  
Над землей луна висит.  
Над землей большая плошка  
Опрокинутой воды.  
Спит растение Картошка...*

Если посмотреть на некоторые наши растения ночью, то может сложиться впечатление, что они завяли. В старых хвойных лесах растет небольшое растение кислица. У него после захода солнца листочки опускаются, прижимаются нижней стороной к черешку и

друг к другу. Пробуждение растений наступает ранним утром, часов в шесть. При этом листочки занимают нормальное положение. У моркови и незабудки в состоянии сна молодые соцветия понижаются, опускаются вниз. Робиния ложноакациевая (белая акация), фасоль и другие растения, как и кислица, с заходом солнца опускают свои листочки. Такая же картина наблюдается в холодные дни и во время дождя. А вот клевер, наоборот, вечером поднимает листочки вверх.

Сном у растений называются периодические изменения положения органов — цветков, соцветий, листьев, побегов, совпадающие со сменой дня и ночи. Одним из характерных признаков состояния сна является торможение видимого роста растений. Ученые установили, что многие деревья, в том числе сосна, летом с часа ночи до пяти часов утра почти не растут. Предполагают, что в это время они спят. Наиболее интенсивно сосна растет утром и вечером.

Ученые подробно изучили движение листьев фасоли в течение дня и ночи. Днем листовые пластинки этого растения располагаются по отношению к стеблю почти перпендикулярно. С наступлением ночи они прижимаются к стеблю. Удивительным оказался тот факт, что движения

листьев фасоли, связанные со сменой дня и ночи, наблюдаются у растений, находившихся длительное время в темноте. Если же фасоль вырастить из семян в темноте при постоянной температуре, то ее листья не реагируют на смену дня и ночи, происходящую за пределами помещения, в котором находятся растения. Для того чтобы возникли ритмические движения, фасоль необходимо кратковременно осветить. Не движутся листья у нее и в том случае, если она выросла при непрерывном освещении. Для таких растений индуктором ритмических движений, связанных со сменой дня и ночи, может служить пребывание в темноте в течение девяти-десяти часов.

Известный индийский ученый Джагдиш Чандра Бос исследовал ответную реакцию листьев стыдливой мимозы на воздействие через определенный интервал электрического тока. Растение по-разному вело себя в течение суток. Автор следующим образом прокомментировал полученные результаты: «Оно (растение) становится полусонным между 21 часом и двумя часами ночи; все еще не спит в 6 часов утра, но после этого погружается в крепкий сон и спит вплоть до 8 часов утра». В это время соответственно и ответная реакция растения на раздражение выражена очень нечетко. Около девяти часов ут-



Кислица:

1 — в состоянии сна; 2 — в состоянии бодрствования.

ра оно медленно пробуждается.

У индийского растения кассии (*Cassia alata*) листочки бывают сложенными в ночное время. Утром они начинают распрямляться и остаются в таком виде весь день. Причина их движений — изменение освещенности. Листочки настолько чувствительны к свету, что при прохождении облака начинают складываться. То же самое наблюдается при искусственном затемнении растений.

Значение сна для растений заключается в том, что свертывание листьев и цветков уменьшает площадь испаре-



Перистый лист робинии ложноакациевой, с широко распростертыми в течение дня (1) и сложенными на ночь (2) листочками.



1



2

Положение листьев фасоли:  
1 — ночью; 2 — днем.



1



2

Лист кассии — растения из семейства цезальпиниевых:  
1 — днем; 2 — вечером.

ния и, следовательно, ограничивает потерю тепла. На примере кислицы Ч. Дарвин показал, что растения с опущенными листьями лучше противостоят действию холода, чем лишенные этой возможности. Так, например, закрывание цветков белой водяной лилии, происходящее обычно в пять часов вечера, спасает растение от излишнего излучения тепла во время довольно прохладной ночи.

### **Время раскрывания и закрывания цветков**

Еще в Древней Греции и Древнем Риме знали, что разные растения раскрывают свои цветки в определенное время суток. Такие растения высаживали на клумбах, они использовались в качестве своеобразных часов.

Одним из первых — между тремя и пятью часами утра — раскрывает свои соцветия козлорободник луговой.

В пять часов желтыми огоньками загораются соцветия осота огородного — самого заурядного сорного растения, которое, однако, высоко почиталось в старину торговцами людьми, в древних травниках наделялось таинственными свойствами.

В пять-шесть часов раскрываются ярко-желтые корзинки одуванчика лекарственного и скерды кровельной, цветущей в июне и июле по посевам,

паровым полям, склонам, обрывам, кустарникам.

В шесть пробуждаются от сна цветки каргофеля и льна, соцветия ястребинки зонтичной, корзинки которой легко заметны по паровым полям, опушкам, придорожным канавам.

Несколько позднее — между шестью и семью часами — раскрываются корзинки ястребинки волосистой, одиночные соцветия которой украшают верхушки безлистных стеблей (стрелок). В это же время открываются соцветия осота полевого, отличающиеся от огородного лилово-пурпурной окраской.

В семь часов поверхность водоемов украшается прекрасными цветками одолень-травы — кувшинки белой.

У некоторых растений цветки раскрываются с наступлением сумерек. К ним относятся энотера, душистый табак, ночная красавица, кактус «царица ночи», дрема, луноцвет.

В определенное время происходит также закрывание цветков и соцветий. Так, например, в 14—15 часов смыкаются цветки мака, каргофеля, соцветия цикория и одуванчика; в 15—16 — соцветия ноготков; в 16—17 — цветки льна; в 17 — соцветия мать-и-мачехи; в 17—18 — цветки белой водяной лилии; в 18—20 — шиповника, а в 20—21 — смолки.

Некоторые цветки, например левкоев, открыты все время, однако их запах ощущается только после захода солнца. Такое явление связано с тем, что опыляются они ночными насекомыми. Пока опыляющие левкой насекомые неактивны, цветки не расходуют приманивающие душистые вещества.

Еще знаменитый шведский ботаник Карл Линней заметил, что раскрытие и закрытие цветков разных растений происходит в определенное время. Он написал научный трактат под названием «*Somnus plantarum*», что в переводе означает «Сон растений». Его наблюдения легли в основу создания цветочных часов, «пущенных в ход» в городе Упсала в 20-х годах XVIII века. Цветочные часы Линнея показывали время с трех — пяти часов утра, когда раскрывались соцветия козлобородника.

В чем причина открывания и закрывания цветков? Чаще всего это происходит в результате изменения освещенности. В этом нетрудно убедиться на опыте. В ясный солнечный день выберите на лугу несколько цветущих одуванчиков, полейте вокруг них почву и закройте небольшим ящиком или ведром. Через некоторое время можно увидеть, что соцветия закрылись. Оставьте растения открытыми. Если день солнечный и теп-

лый, соцветия снова раскрываются. В пасмурную погоду цветки раскрываются в природной обстановке позднее или совсем не раскрываются. На растения оказывают влияние температура и влажность воздуха.

Периодичность открывания и закрывания цветков и соцветий зависит не только от погодных условий, но и от места произрастания растений. Установлено, что одни и те же виды по-разному «показывают время» в Швеции и в Подмосковье. Поэтому пользоваться цветочными часами можно, лишь хорошо изучив растительность своей местности.

Каков внутренний механизм этого явления? Корней Иванович Чуковский в книге «От двух до пяти» приводит следующую версию на этот счет: «Цветы колокольчики к вечеру закрылись. Четырехлетний Боря удивился: — Наверное, там внутри есть мотор».

Разумеется, никакого мотора в цветках нет. Суточный ритм движения лепестков — результат неравномерного роста верхней (внутренней) и нижней (наружной) сторон. Если быстрее растет верхняя сторона, то лепестки отклоняются наружу, при этом цветки раскрываются. Наоборот, более быстрый рост нижней поверхности приводит к отклонению лепестка внутрь, то есть к закрыванию цветка.

## Биологические часы

Итак, растения с наступлением ночи впадают в состояние сна. В определенное время происходит распускание и закрывание цветков. Растения заблаговременно начинают готовиться к неблагоприятным условиям зимы и т. д. Можно предположить, что они каким-то образом воспринимают ритм движения времени.

*В подземной мгле, ты голос солнца услышало  
И потянулось ввысь, чтоб жизни дать начало*

Мы неоднократно уже отмечали: ново то, что хорошо забыто. Естественные испытатели прошлого хорошо знали о том, что растения изменяют ритм своей жизни в зависимости от времени суток. В восемнадцатой книге «Естественной истории» Плиний Старший писал, например: «Я дала тебе травы, указывающие часы, и, чтобы не отвращал ты глаз своих от земли к солнцу, вместе с ним обращаются гелиотроп и люпин. К чему же все еще смотреть ввысь и вопрошать небо. Вот тебе Плеяды у ног твоих».

В настоящее время получены веские доказательства существования биологических часов в живых организмах. Наиболее убедительные добыты с помощью факторостатных камер, в которых в течение всего года поддерживаются постоянные условия —

температура, влажность воздуха, атмосферное давление, интенсивность освещения. Живые организмы — обитатели факторостатных камер — не испытывают действия солнечного света. Однако с приходом весны у животных усиливаются процессы жизнедеятельности, а семена растений лучше прорастают. Рабиндранат Тагор писал о семени в книге «Хвала дереву»:

Каким же образом семена, находившиеся в герметичной камере, «узнали» о том, что за толстыми светонепроницаемыми стенами вступает в свои права весна? Ученые считают, что растениям и животным свойственны внутренние ритмы физиологических процессов. Их первооткрывателем признан французский астроном Жан Жак де Меран. В 1729 году он обнаружил, что даже при постоянной температуре и в полной темноте гелиотроп упорно сохраняет суточную периодичность движения листьев.

Внутренний суточный ритм четко просматривается у фасоли. У этого растения ночью листья опускаются вниз, как бы прижимаются к стеблю, а днем располагаются плоскостью листовой пластинки перпендикулярно к нему. Эти движения сохраняются и в от-

сутствие чередования света и темноты.

Одноклеточная эвглена зеленая днем всплывает на поверхность, а ночью погружается в глубину водоема. В факторостатной камере она продолжает всплывать и погружаться в те же часы, что и в естественных условиях.

Если растение или животное во время эмбрионального развития не подвергалось действию суточно-периодической смены внешних факторов, то у них вначале не наблюдается никакой периодичности. Для возникновения ритмов достаточно единичного раздражения. Это может быть короткий световой период на фоне непрерывной темноты, или короткий темновой период, прерывающий постоянное освещение, а также переход от непрерывной темноты к постоянному освещению, или наоборот.

Оказалось, что лучи различного спектрального состава неодинаково активны в этом отношении. Перенос растений фасоли из полной темноты в условия непрерывного освещения красным светом приводит к четкому появлению суточного ритма движений листьев. Напротив, инфракрасные лучи подавляют проявление ритма. Если же после инфракрасных лучей снова воздействовать на растения красным светом, то угнетающее влияние первой обработки будет снято.

Однако не для всех растений важны именно эти области спектра. На одноклеточную водоросль гониаулакс, о периодичности свечения которой мы говорили в разделе «Лесные и морские фонари», красный свет действует сравнительно слабо, но значительно сильнее влияет синий. Грибы, для которых характерна суточная периодичность некоторых процессов, например опорожнения спорангиев, чутко реагируют только на красный свет.

Эндогенные суточные и годичные ритмы сформировались в результате длительной эволюции. Они позволили растениям приспособиться к сезонным изменениям погоды. Из года в год у особей одного и того же вида физиологические изменения, связанные со сменой времен года, происходили в одно и то же время. Основным ориентиром при этом являлась длина светового дня: увеличение ее в конце января указывало растениям на приближение весны. Напротив, сокращение светового дня в конце лета служило сигналом о начале подготовки к зиме, несмотря на то что погодные условия были по-прежнему благоприятны для роста. Организмы, не распознавшие времени года, погибли, поскольку они были хуже приспособлены к условиям существования по сравнению с теми, кто заранее приспособился.

сабливался к новым условиям существования.

Биоритмы обычно не полностью соответствуют 24 часам. Так, движение листьев у фасоли происходит с периодичностью в 27—28 часов. При помещении организма в камеру с постоянной температурой и неизменным освещением биологические часы начинают либо спешить, либо отставать. Вот почему эти ритмы называют еще циркадными (околосуточными). Это несоответствие биоритмов 24 часам объясняется отчасти тем, что в большинстве районов земного шара, за исключением экваториальных областей, интенсивность освещения в течение суток меняется на протяжении года. Вместе с тем изменяется и угол падения солнечных лучей, количество приносимой ими тепловой энергии, а также спектральный состав света, что оказывает огромное влияние на процессы, протекающие в живых организмах. В результате леса то покрываются нежным зеленым кружевом свежей листвы, то наряжаются в «багрец и золото», а благоухание цветущей сирени сменяет запах опавшей листвы.

Некоторые исследователи полагают, что одним из факторов, приводящих в действие эндогенные ритмы, является космическое излучение. Несмотря на то что в факторос-

татной камере вдоволь и тепла, и света, до тех пор, пока не поступят сигналы из космоса, эндогенные ритмы будут совершаться не столь интенсивно. Если камеру поместить на глубину более 20 метров, куда не проникает космическое излучение, то некоторые эндогенные ритмы как будто бы нарушаются.

В то же время ряд факторов свидетельствует о том, что работа биологических часов обусловлена ритмами в биохимических реакциях живых организмов. Опыты с дрожжевыми клетками показали, что концентрация некоторых веществ ритмически изменяется с интервалом в несколько минут. Эти колебания характерны не только для клеток, но и для клеточных органоидов. Так, например, в течение минуты в митохондриях изменяется скорость потребления кислорода, что определяется ритмическими колебаниями свойств мембран и объема митохондрий. У растений фазы повышенной активности фотосинтеза длительностью около 12 часов сменяются периодами усиления диссимиляции, то есть дыхания.

По мнению некоторых исследователей, суточные ритмы наследуются и, таким образом, имеют внутреннюю природу. Поскольку наследственная информация зашифрована в молекулах дезоксирибо-

нуклеиновой кислоты (ДНК), то, по всей вероятности, и суточные ритмы определяются особенностями ее строения.

Человек пока не открыл механизм биологических часов. Однако нет сомнения в том, что это будет со временем сделано. Понимание сущности биоритмов даст человеку мощное средство управления темпами роста и развития растительных организмов.

### **«Богомольная» пальма из Фаридпура**

У Плиния Старшего в «Естественной истории» приводится описание события, которое невольно вызывает улыбку: «Самым выдающимся чудом из всех, о каких-либо слышали, нужно признать то, которое произошло в наш век, во время падения императора Нерона в области марруцинов: оливковая роща одного из видных всадников Веттия Марцелла вся целиком перешла на другую сторону большой дороги, а с противоположной стороны на место оливковой рощи перешел участок пашни». Безусловно, перемещение рощи и пашни могло привидеться всаднику Веттию. В нашем рассказе речь пойдет о реальных движениях некоторых деревьев.

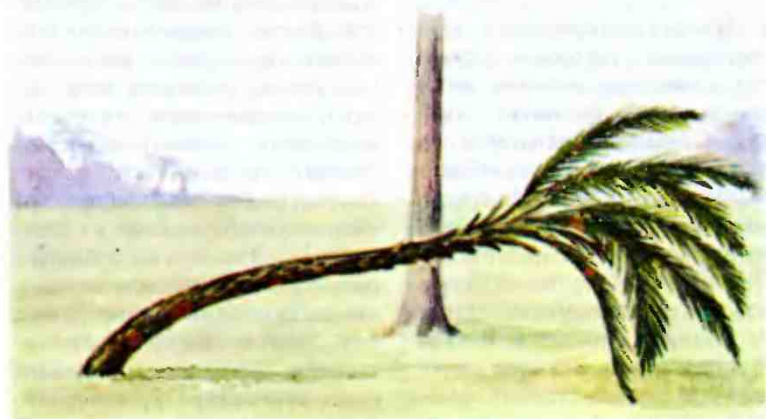
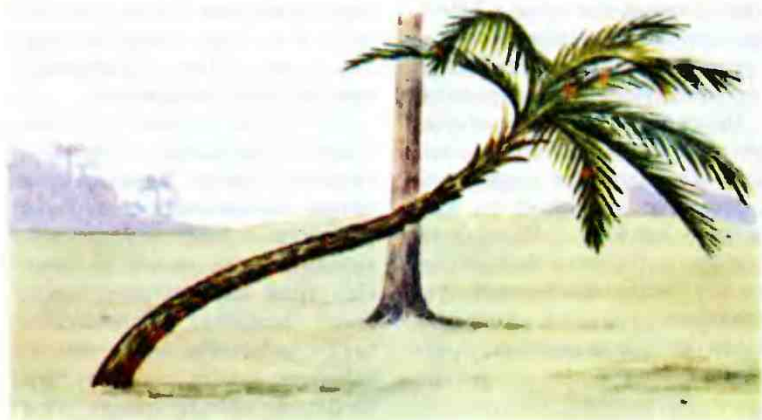
В Англии, недалеко от Ливерпуля, в начале прошлого века росло дерево ивы, кото-

рое временами почти укладывалось во всю длину на землю, а затем вновь принимало вертикальное положение.

В Южной Африке на плантациях кокосовых пальм из-за сильного ветра, дующего в одном направлении, деревья растут под углом и совершают движения вверх и вниз. По утрам они выпрямляются, а в полдень наклоняются таким образом, что можно собирать плоды, не взбираясь на дерево или лестницу.

Известный индийский физиолог растений Джагдиш Чандра Бос, проанализировав эти факты, пришел к заключению, что деревья, растущие под углом, движутся вверх и вниз, но движения эти очень медленные, поэтому непосвященный человек часто их не замечает. Он же сообщил о «богомольной» пальме из Фаридпура. Это дерево в благоговении склоняло свою вершину, расстилая по земле длинные листья, когда в храме звонили колокола, призывающие верующих к вечерней молитве. Утром дерево выпрямлялось и листья поднимались. И так каждый день. При этом вершина дерева смещалась на 3 фута (около 1 метра). «Божественное» поведение пальмы привлекало толпы паломников. Утверждали, что дерево обладает чудодейственными свойствами.

Дж. Ч. Бос с помощью специально созданного им прибо-



«Богомольная» пальма из Фаридпура.

ра записал движения дерева в течение дня и сопоставил полученный график с графиком изменения температуры. Это сделать оказалось не так просто, поскольку владелец пальмы опасался, что чудодейственные свойства дерева исчезнут после богохульного

прикосновения иностранных инструментов. Ученый заверил его, что прибор сделан в Индии и что он будет прикреплен к дереву ассистентом — сыном священника. Оказалось, что момент наибольшего опускания кроны не совпадает точно со време-

нем молитвы. Кроме того, кривая движения была очень похожа на график изменения температуры. Подъем дерева соответствовал падению температуры, и наоборот. Поскольку движения пальмы прекратились с ее смертью, исследователь пришел к заключению, что они осуществлялись благодаря активной жизнедеятельности растения.

Ознакомившись с удивительными движениями деревьев, мы будем теперь более снисходительными к заявлению барона Мюнхгаузена: «Все деревья, что росли на берегу, словно по какому-то знаку дважды поклонились нам в пояс и снова выпрямились как ни в чем не бывало». Поверья о деревьях, перемещающихся с места на место, широко распространены среди разных народов. П. И. Мельников-Печерский в романе «В лесах» писал: «Надвинулись сумерки, наступила Иванова ночь... Рыбаки рассказывают, что в ту ночь вода подергивается серебристым блеском, а бывалые люди говорят, что в лесах тогда деревья с места на место переходят и шумом ветвей меж собой беседы ведут...»

### **Телеграфные растения**

В Индии по берегам Ганга встречается кустарник высотой около одного метра, называемый десмодиумом (*Desmo-*

*dium motorium*). У него типичные для бобовых растений цветки, плод — четковидный боб. Об этом растении упоминается в индийском эпосе «Махабхарата». Некогда, как утверждает легенда, это растение проклинали боги и обрекли в течение всей жизни совершать движения листьями.

Его листья состоят из трех листочков: относительно большой верхней пластинки и двух малых боковых. Крупная доля листа совершает движения, связанные со сменой дня и ночи. Днем она располагается горизонтально, а к вечеру опускается вниз, размещаясь параллельно стеблю. Более интересные движения совершают обратноланцетовидные боковые листочки: они непрерывно описывают круг или эллипс. За этими движениями можно проследить невооруженным глазом, поскольку один оборот совершается за 0,5—1,5 минуты. Из-за непрерывно совершаемых движений десмодиум получил название телеграфного растения.

Интересно отметить, что листочки десмодиума движутся лишь при относительно высокой температуре. Стоит температуре понизиться до 21 °С, как они замирают. У молодых кустарников движения более интенсивные, чем у старых.

В основе движения листочков десмодиума лежит изме-

нение тургора — напряженно-го состояния клеток утолщенных сочленений черешков с осью листа. При опускании листочков ионы калия выделяются из клеток нижней стороны сочленений и поступают в клетки верхней стороны. Благодаря этому внизу тургорное давление падает, а наверху повышается, что приводит к уменьшению объема нижних клеток и увеличению объема верхних. Движение листьев вверх сопровождается переходом калия из клеток верхней стороны сочленений в клетки нижней стороны. Ученые считают, что в основе колебаний содержания калия и тургорного давления лежат ритмические изменения проницаемости клеточных мембран.

В тенистых тропических лесах, произрастающих по берегам водоемов, встречается небольшое растение биофитум чувствительный (*Biophytum sensitivum*), которое, как и стыдливая мимоза, необычайно энергично реагирует на прикосновение. При раздражении этого растения листочки моментально захлопываются, а затем, спустя 3 минуты, снова расправляются. Отдельные листья биофитума как будто без всякой видимой причины опускаются в течение 1—2 секунд на 0,5—1,5 сантиметра, а затем снова поднимаются. У стыдливой мимозы восстановление нормального положения листьев происхо-

дит обычно через 15 минут, то есть значительно медленнее, чем у биофитума. Если раздражение небольшое, то листочки биофитума совершают только одно движение. Однако после сильного раздражения происходит ряд ритмических движений.

У индийского дерева камрунго (*Averrhoa carambola*) из семейства кисличных парноперистые листья занимают днем горизонтальное положение. При прикосновении они опускаются вниз таким образом, что почти соприкасаются своими нижними поверхностями. Можно вызвать движение всех листовых пластинок или одной из них в зависимости от того, прикасаетесь ли вы к ветке или отдельному листочку.

В Индии же встречается второй представитель этого рода — билимба, или огуречное дерево (*Averrhoa bilimba*), высотой до 15 метров. Его листья начинают двигаться в ответ на раздражение, а также при смене дня и ночи. Исследователи отмечают, что, когда листочки огуречного дерева быстро опускаются один за другим или, наоборот, поднимаются, это производит сильное впечатление. Плоды билимбы по внешнему виду похожи на огурцы. Они образуются прямо на стволе. Из них делают соки, желе, прохладительные напитки.

## Вслед за Солнцем

С давних времен народ пристально присматривался к явлениям природы и пытался объяснить их. Люди подметили, что цветки и соцветия некоторых растений в течение дня поворачиваются вслед за Солнцем. Так родилась легенда о нимфе Клитии.

Некогда она влюбилась в великого бога Солнца Гелиоса. Но высокомерный бог с высоты своей огненной колесницы не обращал внимания на страдающую нимфу. Она так переживала, что боги превратили ее в растение. Но даже превращенная в гелиотроп Клития продолжала неотрывно смотреть в сторону Солнца, и ее головка все время поворачивалась вслед за движущейся по небосклону огненной колесницей.

К числу растений, следующих за Солнцем, относится и подсолнечник. Растение прибыло к нам из Америки, а наблюдательные русские люди успели создать о нем очень меткую загадку:

*Вертится Антошка  
На одной ножке:  
Где Солнце встанет,  
Туда и глянет.*

Несколько лет назад на страницах журнала «Химия и жизнь» развернулась острая дискуссия относительно справедливости утверждения о вращении корзинки этого рас-

тения вслед за Солнцем. Участники дискуссии пришли к выводу, что движутся не цветущие еще соцветия. Утром они «смотрят» в сторону поднимающегося над горизонтом светила. Верхушки стеблей в это время изогнуты, и корзинки держатся вертикально. В полдень все корзинки обращены к Солнцу. Изгибов стеблей нет, соцветия занимают горизонтальное положение. По мере того как Солнце склоняется к горизонту, верхушки стеблей изгибаются, а корешки поворачиваются в этом же направлении.

Итак, еще не раскрывшиеся соцветия подсолнечника следуют за Солнцем с востока на запад, и весь день солнечные лучи падают перпендикулярно их плоскости. Ночью корзинки «движутся» в обратном направлении. Интересно отметить, что днем они преодолевают свой путь приблизительно за 15 часов, а ночью — за четыре-пять. Как только корзинки распустанятся, движение их ослабевает и даже прекращается.

Но не только цветки и соцветия следуют в течение дня за Солнцем. У некоторых растений движутся листья. Просвирияк приземистый (*Malva pusilla*) — сорное растение, встречающееся по огородам, садам, паровым полям, возле дорог, имеет округло-сердцевидные листья, которые своей пластинкой всегда повернуты

к Солнцу. Для лучшего улавливания его лучей по мере движения светила они поворачиваются вслед за ним. Если на пути солнечного света возникает какая-либо преграда, то движение листьев прекращается, но едва он снова дойдет до них, листья довольно быстро поворачиваются к нему. Интересен тот факт, что сразу же после захода Солнца листья просвирняка быстро ориентируются на восток. Они как бы ожидают восход Солнца, хотя до него еще много часов.

По-иному движутся листья некоторых австралийских деревьев, например эвкалиптов. Их листья непрерывно поворачиваются вслед за Солнцем таким образом, что в течение всего дня каждый из них

обращен к свету не пластинкой, а ребром. Предполагают, что таким образом растения спасаются от избыточной потери влаги в засушливых условиях существования.

Исследуя движения листьев растений, вызванные перемещением Солнца по небосклону, ученые установили, что у видов, принадлежащих к родам люпин, аброния, амарант (щирца), мальвастрем, бурхавия, кальстремия, листья «следят» за Солнцем, располагаясь перпендикулярно к его лучам. У видов, относящихся к родам астрагал, кассия, лядвенец, якорцы, листья располагаются параллельно солнечным лучам. Первый случай можно рассматривать как приспособление растений к интенсивному использо-



Положительный фототропизм цветоножек (1) и отрицательный — плодоножек (2) у цимбалярии настенной.

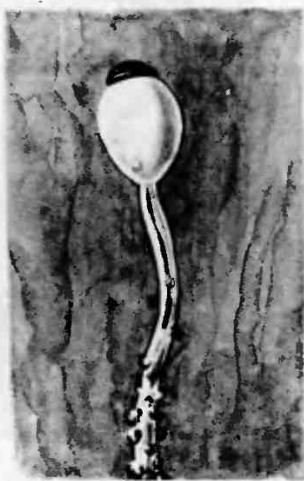
ванию солнечной радиации в процессе фотосинтеза и увеличению продуктивности, а второй — как адаптацию обитателей засушливых районов к водному стрессу, позволяющую уменьшить интенсивность транспирации, ослабить перегрев листьев.

Совершенной системой слежения за Солнцем обладает цимбалярия настенная (*Cymbalaria muralis*) — представитель семейства норичниковых. Она произрастает на каменных обрывах и стенах, иногда в трещинах скал. Эти места благоприятны для прорастания семян цимбалярии и представляют собой своеобразную экологическую нишу, в которой этот вид не встречает конкурентов. Поэтому цимбалярии не резон рассеивать свои семена на открытых солнечных местах.

Во время цветения цветоножки цимбалярии реагируют на световое раздражение таким образом, что цветок всегда оказывается повернутым к свету. Когда же околоцветник завядает и на месте цветка появляется плод, реакция цветоножки становится диаметрально противоположной. Теперь растение как бы стремится отвернуть плод от солнечных лучей, оно «подыскивает» в стене дома или камне темную расщелину, в которую можно было бы рассеять созревшие семена.

## Грибы, «стреляющие» в сторону света

На поверхности конского навоза часто можно увидеть войлочную пленку, усеянную многочисленными мелкими бесцветными каплями. Это развились плесневые грибы из рода пиллобол. Пиллоболовые грибы обладают удивительной способностью. Они образуют полушаровидный спорангий, несущий от 30 до 90 тысяч спор, который по мере созревания резко отбрасывается в сторону света. Спорангии располагаются на расширенной части спорангиеносца. Ученые предполагают, что вздутая часть спорангиеносца пиллобола воспринимает световое раздражение и соответ-



Спорангий мукорового гриба пиллобола.

ствующим образом ориентирует спорангий.

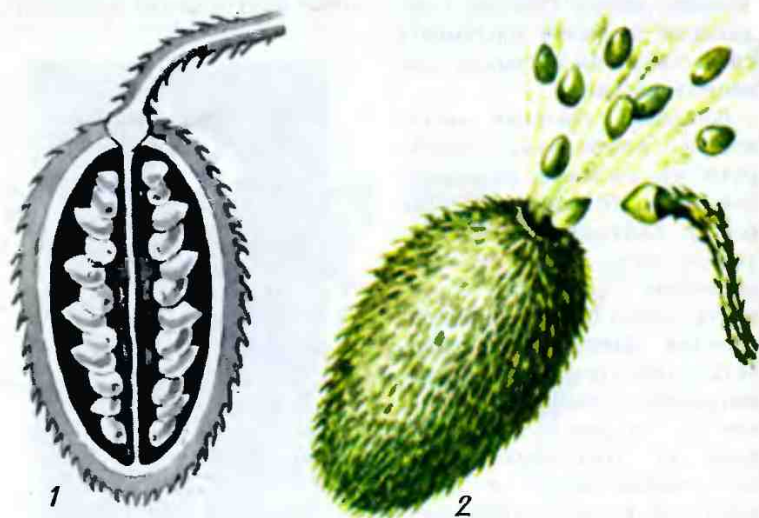
Перед тем как произойдет «выстрел», спорангиеносец переполняется водой. В результате этого в нем повышается тургорное давление, которое и приводит к отрыву спорангия и его отбрасыванию вместе со стружкой воды на довольно значительное расстояние — до 2 метров. Начальная скорость полета составляет 4,7—27,5 м/сек. Спорангиеносцы при этом сморщиваются и теряют свою обычную форму.

Если пилобол кристаллический (*Pilobolus crystallinus*) поместить в темную камеру с отверстием для прохождения света, загороженным тон-

ким листом прозрачной бумаги, то начиная с утра и до полудня можно слышать «пальбу». Это спороносцы, отбрасываемые по направлению к свету, бомбардируют бумажное окно.

### Растения-бомбардиры

Многие читатели наверняка знакомы с недотрогой обыкновенной (*Impatiens noli-tangere*) из семейства бальзаминовых. Оно встречается по сырым местам, в лесах, оврагах. Русское название этого растения отражает способность его плодов быстро растрескиваться при прикосновении. Латинское видовое название *noli tangere* перево-



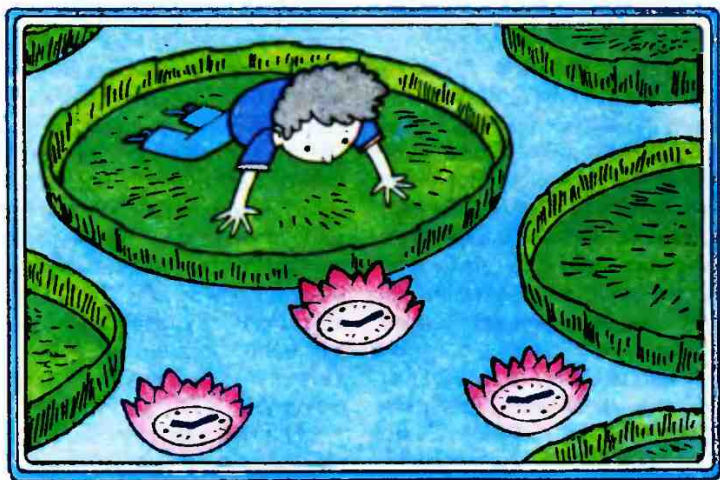
Созревший плод бешеного огурца в продольном разрезе (1) и в момент выбрасывания мякоти плода с семенами (2).

дится как «не прикасайся».

Почему недотрога разбрасывает свои семена? Плод ее состоит из 5 плодолистиков. Когда они созревают, слой крупных клеток, находящихся непосредственно под кожицей, сильно набухает и держится в напряженном состоянии. Одновременно происходит ослабление связи между плодолистиками по линии их сочленения из-за разрушения веществ, склеивающих клетки друг с другом (пектинов). Стоит теперь слегка прикоснуться к плоду недотроги, как связь между плодолистиками нарушается, они быстро закручиваются внутрь наподобие часовой пружины и с силой разбрасывают прикрепленные к ним семена. Аналогичным образом поступают недотроги мелкоцветковая и железконосная.

У бешеного огурца (*Esbalium elaterium*) плод достигает в длину четырех-пяти сантиметров. Внутренняя часть его состоит из тонкостенных раздутых клеток. Они создают довольно сильное внутреннее давление, которое приводит к разрыву оболочки плода. Нарушение целостности оболочки происходит обычно в одном месте — в точке прикрепления плодоножки. Здесь располагается особая ткань, которая при созревании плода распадается. Из оторвавшегося плода все его содержимое вместе с семенами разбрасывается на расстояние до 12 метров, а он сам при этом, подобно ракете, движется в противоположном направлении.

Циклантера взрывающаяся (*Cyclanthera explodens*) — растение, родственное бешено-



ному огурцу. Она относится к семейству тыквенных и произрастает в Центральной и тропической Южной Америке. Это травянистое вьющееся растение с опушенным стеблем имеет пять — семь лопастных листьев. Созревшие плоды внезапно вскрываются подобно плодам бешеного огурца, но с помощью двух клапанов, которые при этом с силой отгибаются назад. В результате семена разбрасываются на расстояние до трех метров.

Баугиния красная (*Bauhinia purpurea*) — дерево из семейства бобовых — рассеивает семена на расстояние до 15 метров благодаря напряжению, возникающему в мертвых тканях околоплодника при его высыхании.

Есть баллисты и в семействе молочайных. Так распространяет свои семена прославленный каучуконос гевея бразильская. В Южной Америке произрастает другой представитель этого семейства — хура трескающаяся (*Hura crepitans*). Это дерево образует похожие на тыкву плоды, состоящие из 15 гнезд. При созревании они с шумом разрываются, разбрасывая семена на расстояние 14—15 метров.

Баллистический способ применяется растениями для разбрасывания не только семян, но и пыльцы. А вот пролесник однолетний (*Mercurialis*



Плод хуры трескающейся.

аппиа) — родственник хуры трескающейся по семейству молочайных — умудряется целиком отбрасывать тычиночные цветки.

### Самозарывающиеся растения

Наблюдения показывают, что видоизмененные подземные стебли (корневища, луковичы, клубни) тем глубже сидят в почве, чем сильнее данное место подвержено промерзанию в течение зимы. Так, например, у хохлатки, растущей под пологом леса, где почва промерзает незначительно, клубни располагаются на глубине всего нескольких сантиметров от поверхности. И, напротив, на открытом месте, где почва хуже защищена опавшей листвой и поэтому сильнее промерзает, клубни этого растения «зарываются» поглубже. По расположению клубней некоторых растений можно определить глубину промерзания почвы в том или ином месте.

Если это действительно так, то возникает вопрос, каким образом происходит углубле-

ние подземных стеблей до безопасного уровня. В отношении корневищ проблема решается довольно просто: первоначально они растут вертикально вниз, а потом, по достижении безопасной в отношении промерзания зоны, начинают расти горизонтально.

Углубление клубней и луковиц происходит в результате сокращения особых так называемых контрактивных, или стягивающихся, корней, вызываемого действием низких температур. Корни — весьма чувствительные органы растений по отношению к различным факторам внешней среды. При похолодании молодые ответвления корней остаются на своем месте, а сокращаются более длинные, контрактивные корни. В силу этого обстоятельства клубни и луковицы перемещаются в глубь почвы. При этом контрактивные корни становятся поперечно морщинистыми, и их легко можно отличить от обычных. Хорошо заметны контрактивные корни у крокуса.

Существуют растения, семена которых обладают способностью к самозарыванию. Так, например, зерновки ковыля заострены с одного конца, а на другом имеют завитую в штопор и согнутую под прямым углом ворсистую нить. Ветер отделяет семена ковыля и разносит их по степи, при

этом ворсистая нить выполняет роль парашюта и стабилизатора. Благодаря ей зерновки всегда попадают на землю острым концом и вонзаются в почву. При набухании стержень ости начинает раскручиваться. Согнутая под прямым углом верхняя часть ости зацепляется за предметы, находящиеся на поверхности почвы, а острая зерновка, подобно штопору, ввинчивается в землю.

Маленькие, невзрачные семена овсюга передвигаются по поверхности почвы. В основе этого движения лежит тот же механизм, что и у семян ковыля. Семя овсюга снабжено длинной, коленчато изогнутой колючей остью. При повышении влажности воздуха колено этой ости, прилегающее к семени, закручивается и укорачивается. В течение суток влажность воздуха колеблется: относительно влажный период сменяется более сухим. При этом ость, раскручиваясь, упирается в землю и толкает семя вперед. Так, переваливаясь с боку на бок, оно медленно перемещается по поверхности поля или луга.

### **Почему стебли и корни растут в разные стороны!**

При прорастании семян растение определенным образом ориентируется в пространстве: корни у проростков, как

правило, растут вниз, а стебли — вверх. Очень хорошо об этом сказал М. М. Пришвин: «Чем выше поднимается дерево, тем и крылышки-ветки постепенно поднимаются, как будто собираясь по воздуху с силой ударить, вырвать дерево и унести его к солнцу. А самые верхние крылышки совсем высоко поднимаются, и на самом верху пальчик елки показывает направление вверх...»

Возьмите комнатное растение бальзамина или колеуса и расположите его горизонтально. Через несколько дней вы увидите, что его стебель изогнут вверх. Движение стеблей и корней под действием силы тяжести получило название геотропизма. Это явление имеет важное приспособительное значение. Благодаря ему корневая система растений всегда оказывается в почве, а стебель выносит листья к солнцу. В процессе естественного отбора сохранились в основном те формы, которые обладали способностью к росту корней и стеблей в диаметрально противоположном направлении.

В чем причина геотропизма? В горизонтально расположенном проростке ауксина располагаются в тканях неравномерно. Они скапливаются в нижней части стебля или корня. Это приводит к усилению деления и растяжения клеток в этой части стебля, что оп-

ределяет его изгиб вверх. Остается неясным, почему корень при этом растет вниз. Ученые считают, что клетки корня значительно более чувствительны к ауксину. Те концентрации ауксинов, которые стимулируют рост клеток стебля, угнетают деление клеток корня. По этой причине в горизонтально расположенном проростке клетки корня интенсивнее делятся и удлиняются не на нижней, а на верхней стороне. Это и приводит к изгибу корня вниз.

Существует и другое объяснение геотропизма. Известно, что у животных имеется особый орган, воспринимающий изменения положения организма в пространстве. По своему строению это сферическая полость, внутренняя поверхность которой имеет реснички. Кроме того, внутри полости располагается небольшой известковый камешек — статолит. При наклоне организма он оказывает давление на те или иные реснички. Благодаря возникающим сигналам организм и координирует свое положение в пространстве.

В клетках корневого чехлика растений имеются особые крахмальные зерна, которые используются в процессе жизнедеятельности только в крайних случаях. Ученые пришли к заключению, что они выполняют функцию статолита в органе равновесия растений. При изгибе они оказывают давле-

ние на определенные зоны цитоплазмы и клеточных мембран. В ходе длительной эволюции у разных частей клетки выработалась своя восприимчивость к этому давлению. При естественном положении корня действие статолитного крахмала не приводит к его искривлению. Если же положение корня смещается, то давление крахмальных зерен воспринимается по-иному и растение реагирует на это искривлением корня вниз. В пользу статолитной теории геотропизма свидетельствует тот факт, что растворение статолитного крахмала приводит к дезорганизации роста.

В настоящее время гормональная и статолитная теория геотропизма объединены в одну. Считается, что растение воспринимает силу тяжести при помощи рецепторов статолитов. Затем происходит передача возбуждения соседним клеткам, в которых происходит изменение содержания ауксинов. Ауксины вырабатываются преимущественно на стороне, испытывающей более сильное давление зерен статолитного крахмала.

Можно заставить растение хотя бы недолго расти корнями вверх. В этом нетрудно убедиться на опыте. Посадите семена крупного размера, например тыквы. Через некоторое время из земли покажется изогнутый в виде дуги стебелек. Оба конца стебелька с семядо-

лями и корнями пока что находятся в почве. Стебелек стремится выпрямиться. Поскольку конец с корешками держится в почве прочней, то при выпрямлении стебля семядоли извлекаются из почвы.

Теперь создадим проросткам другие условия: почву вокруг семядолей уплотним, а около корешков взрыхлим. Распрямление стебелька приведет к тому, что из почвы будут извлечены корешки. Благодаря этому растение окажется растущим вверх корнями. Вполне естественно, нормально питаться такой проросток не сможет. По истечении запасов питательных веществ в семядолях он погибнет.

Не так давно американский биолог Роберт Сэнфорд обнаружил в джунглях Венесуэлы дюжину видов древесных растений, корни которых растут не вниз, а вверх по стволу. Причина этого явления в следующем. Почва в тех местах содержит очень мало питательных веществ, поэтому такие необычные корни позволяют растению получать дополнительное количество элементов минерального питания, извлекая их из стекающей по стволу дождевой воды (вспомним, что подобным образом питаются в тропических лесах эпифиты). Когда исследователь искусственно повысил содержание питательных веществ в дождевой воде, то рост корней вверх усилился.

На мертвых травах снег лежит давно,  
А их метелки семя сохранили,  
И в снег, живое, падает оно,  
И в лед вмерзает, чистое от пыли.  
Все снежная скрывает пелена,  
Как будто мир затих от потрясений.  
Земля уснула, семенем полна,  
Чтобы проснуться в зелени весенней.

П. Комаров

### Бесконечная цепь перемен

На большинстве территорий земного шара происходит постоянная смена времен года. Весна сменяется летом, лето — осенью, осень — зимой. Каждое время года по-своему прекрасно, и мы, жители средних широт, хорошо это знаем.

Нам бесконечно дороги и зеленый дым зарождения жизни, и грустное увядание растений, вступающих в состояние покоя. Нас радуют крошечные фонарики подснежников, желтые огоньки одуванчиков, закутанные в белые шали кусты черемухи, медовый запах липы, аромат антоновских яблок, первый встреченный в лесу боровик, золотое сияние кленов, негреющие костры раздетых октябрьским ветром рябин.

Бесконечная цепь перемен лика природы обусловлена сдвигами в физиологическом состоянии растений в зависимости от времен года.

### «Листья падают в саду...»

К началу октября весь лес одевает осенний пестрый наряд. Однако уже в середине сентября начинается новое явление в жизни леса — листопад. Осыпается от легкого дыхания ветра празднично окрашенная листва деревьев, гаснут осенние краски. Ветер разносит аромат тлеющих листьев. Вот и клен уже облетел, осыпалась липа. В конце октября почти все листопадные деревья стоят в лесу голыми. И только на дубах еще трепещут желто-бурые листья.

Листопад — это биологическое явление, обусловленное жизнедеятельностью растений. В конце лета в месте прикрепления черешка листа к стеблю образуется отделительный пробковый слой. Клетки этого слоя имеют гладкие стенки и легко обособляются друг от друга. К началу листопада связь между ними нарушается, и лист остается висеть лишь благодаря сосудистым пучкам, которые, по-

добно мельчайшим «водопроводным трубам», соединяют лист с остальной частью растения. Отделив лист, можно легко заметить сосудистые пучки: на листовых рубцах они видны в форме трех — пяти или большего числа крупных точек. Достаточно капельки росы, осевшей прохладной ночью, легкого дуновения ветра, стоит слегка тряхнуть дерево или громко крикнуть, как листья начинают опадать. Иногда они осыпаются с деревьев и при полном безветрии под собственной тяжестью. В ясную погоду в лесу удивительно тихо, и потому отчетливо слышен непрерывный шорох падающих листьев.

Листопад — это и приспособление растений к условиям существования. Если бы они оставались на зиму в зеленом наряде, то непременно погибли бы от недостатка влаги, так как листья по-прежнему испаряли бы воду, а корневая система, не способная функционировать при низкой температуре, не смогла бы обеспечить ею растения.

Многие растения тропических и субтропических стран также подвержены листопаду, однако там он приходится на самое жаркое время года, когда корневая система не может в достаточной степени обеспечить растения водой. Слоновое дерево, или бурзера мелколистная (*Bursera microrhulla*), растущая в юго-

западных пустынях США, имеет крохотные листья, которые появляются только после дождя и сохраняются до тех пор, пока имеется хоть какая-то влага. В отсутствие ее они опадают. Другой пример — цитварная полынь, растущая в Средней Азии. Ранней весной она имеет серо-зеленую окраску. Ко времени установления самой жаркой погоды происходит почти полное очищение стеблей от листьев за исключением верхушечных. В августе, когда происходит массовая бутонизация цитварной полыни, пустыня приобретает иной вид — она становится буровато-красной из-за того, что листья полностью опадают, обнажая красноватые стебли. Сбрасывает молодые побеги при недостатке влаги саксаул. Благодаря этому, а также отсутствию листьев он сводит транспирацию до минимума. Таким образом, и в аридных областях листопад и веткопад предохраняют растения от гибели в результате обезвоживания.

Из правил есть исключения. Встречающаяся в саваннах Судана и Зимбабве акация беловатая (*Acacia albida*) сбрасывает свою листву при наступлении влажного, а не сухого сезона. Когда саванна выгорает и все деревья стоят голые, акация беловатая, напротив, покрывается свежими листьями. Это загадочное поведение растения некоторые



ботаники связывают с его чрезвычайно высокой потребностью в свете. В период дождей небо закрыто тучами, и для акации света недостаточно, поэтому она сбрасывает листья. Наоборот, когда интенсивность освещения возрастает, появляются новые листочки.

Хвойные растения транспирируют значительно слабее, чем лиственные породы. Так, например, сосна испаряет за лето в девять раз меньше воды по сравнению с березой. Поэтому для них листопад не имеет такого значения.

В зимнем лесу часто можно наблюдать, как под тяжестью снега молодые деревца сгибаются до самой земли, а некоторые ветки обламываются. Если бы зимой на деревьях сохранялись листья, то это имело бы катастрофические

последствия. Поэтому вечнозеленые растения средних широт имеют целый ряд приспособлений, позволяющих им выносить тяжесть снега (конусовидная крона, ветки прочны и упруги и т. д.).

Немаловажное значение имеет тот факт, что листопад способствует удалению веществ, накопившихся в листьях в ходе вегетации. В связи с этим его можно рассматривать как сложный и чрезвычайно важный процесс выделения растениями различных веществ.

Перед опадением листьев в них обнаруживается не только повышенное содержание вредных веществ, но и существенное уменьшение полезных элементов (азота, фосфора, калия и др.). Из листьев во внутренние части растений перемещаются углеводы и

азотсодержащие соединения. Некоторые из этих веществ устремляются в корни, где откладываются про запас до весны. Во время весеннего сокдвижения они направляются к пробуждающимся почкам.

Какие изменения в окружающей среде указывают растениям наших широт время листопада? Едва ли можно рассматривать в качестве причины случайные морозы, ослабление поглощения корнями воды вследствие понижения температуры почвы. Уменьшение длины светового дня — один из важнейших факторов, стимулирующих сбрасывание листьев. Искусственное укорачивание светового периода также приводит к усилению оттока веществ из листьев, более быстрому формированию отделительного слоя, ускорению начала листопада.

Вместе с тем способность к листопаду определяется также внутренними факторами, например цикличностью протекания физиологических процессов. На это указывает тот факт, что лиственные деревья средних широт, перемещенные в такие места, где ни температура, ни количество осадков не изменяются существенным образом с наступлением зимнего периода, тем не менее сбрасывают листья. То же самое наблюдается при выращивании листопадных растений в оранжереях, где под-

держиваются благоприятные для роста условия. Таким образом, листопад обусловлен не только внешними, но и внутренними факторами. По всей вероятности, он «запрограммирован» в аппарате наследственности листопадных пород.

### **«Не мертвец и не живой...»**

У растительных организмов периоды вегетации, интенсивного роста чередуются с покоем. В состоянии глубокого покоя у растений резко заторможен обмен веществ и прекращается видимый рост. Однако это не значит, что в нем полностью остановились все процессы жизнедеятельности. Некоторые из них, как отмечалось в разделе «Чародейкою зимою околдован, лес стоит», идут и во время зимнего покоя.

Совершаются в это время и процессы роста, только это никак не проявляется внешне. Состояние зимнего покоя — период интенсивной деятельности так называемой образовательной ткани, или меристемы, из которой возникают новые клетки и ткани. Как у вечнозеленых, так и у листопадных растений в это время закладываются зачатки листьев в вегетативных почках и элементы цветков — в цветочных. Без этого предстоящий весной переход к активной жизнедеятельности был бы по-

просто невозможен. Вот почему для большого числа растений, и прежде всего для всех многолетних форм, покой — обязательное условие дальнейшего нормального роста в период вегетации.

Способность погружаться в состояние покоя, выработанная растениями в ходе эволюции, — важное приспособление к периодическому наступлению неблагоприятных внешних условий. Это лишнее раз подтверждается тем фактом, что растения иногда перестают расти не только зимой, но и летом. Например, в засуху некоторые из них сбрасывают листья и совершенно прекращают видимый рост — точно так же, как и глубокой осенью. Это явление получило название вынужденного покоя. В таком состоянии лесные деревья и кустарники находятся и в самом конце зимы. Если в январе — феврале срезать в лесу березовую ветку, принести ее в комнату и поставить в воду, то листовые почки вскоре тронутся в рост и дадут побеги.

Однако если такую ветку срезать в октябре или ноябре, то она не распустится очень долго. В это время растение находится в состоянии глубокого покоя, который не могут нарушить даже самые благоприятные для роста условия. Глубокий покой — необходимая фаза развития

растений, сменяющая период вегетации.

Продолжительность периода покоя у разных деревьев и кустарников различна. Например, у бузины, жимолости, крушины, сирени, черной смородины — период глубокого покоя короткий, он заканчивается уже в октябре. Если выращивать их в оранжереях, то они ведут себя как вечнозеленые растения: почки, которые должны были дать побеги весной будущего года, распускаются уже в ноябре, задолго до того, как растение сбросит старые листья. Возможно, эти растения в прошлом действительно были вечнозелеными. В процессе эволюции, по мере похолодания климата, они приспособились к новым условиям и стали сбрасывать на зиму листья, но сохранили способность проходить период покоя при относительно высокой температуре.

Значительно дольше — до января — длится это состояние у березы бородавчатой, боярышника, тополя белого. А самый длительный «отдых» — у липы мелколистной, клена татарского, ели сибирской, сосны обыкновенной. Зимующие почки липы, например, неспособны прорасти почти полгода. У дуба, бука, ясеня почки находятся в покоящемся состоянии вплоть до конца апреля.

## Сигнал к покою

В состояние покоя многие деревья и кустарники в европейской части СССР вступают в июле—августе, когда погода, казалось бы, еще позволяет им нормально расти. Сигналом служит уменьшение продолжительности светового дня. Этот сигнал у растений воспринимают листья, а их отсутствие — почки. Когда дни становятся короче, в растениях изменяется соотношение между фитогормонами, стимулирующими и ингибирующими процессы роста. В листьях увеличивается содержание наиболее важного природного ингибитора роста — абсцизовой кислоты, которая тормозит синтез гидролитических ферментов (амилазы, протеиназы и др.), необходимых для распускания почек, прорастания семян и других процессов вегетации растений. Из листьев абсцизовая кислота транспортируется в почки и «усыпляет» их. Важную роль в переходе растений в состояние покоя играет и этилен, вызывающий старение листьев, ускорение созревания плодов, определяющий пребывание почек в состоянии покоя. Одновременно в тканях растений уменьшается содержание естественных стимуляторов роста, например гиббереллинов.

Некоторые южные растения, если пытаться выращивать их в северных широтах, не прижи-

ваются здесь лишь по той причине, что в новых для себя условиях не улавливают вовремя сигнал к погружению в состояние покоя: ведь они привыкли к совсем иной длительности светового дня. Когда же они, наконец «разберутся», что зима на исходе, то оказывается уже поздно: ткани растений, застигнутые морозами в состоянии активного роста, гибнут. А зная факторы, от которых зависит вступление в состояние покоя, можно добиться, чтобы эти растения перезимовали и на севере. Для этого, например, каждый день, еще до наступления сумерек, надо закрывать их светопроницаемыми чехлами. Укорачивая таким образом естественный световой день, мы заставим растение своевременно начать подготовку к зиме.

Многие читатели, вероятно, обращали внимание на то, что деревья, растущие вблизи уличных фонарей, дольше других не сбрасывают осенью листву. Впервые это заметил в начале нынешнего столетия австрийский физиолог Г. Молиш. Он пытался объяснить подобное явление особенностями испарения воды листьями. На самом же деле поздний листопад у этих растений объясняется именно искусственным продлением светового дня.

На переход растений в состояние покоя оказывает влияние и температура: для неко-

торых видов (преимущественно южного происхождения — ясеня, конского каштана, сирени, вишни) понижение ночных температур — главный сигнал к покою.

В естественной обстановке понижение температуры обычно происходит как раз в то время, когда заметно укорачивается световой день. Неудивительно, что жизненный ритм растений регулируется совместным действием этих двух факторов. Изменение освещенности, воспринимаемое растениями через систему фитохромов, служит первым стимулом к перестройке физиологических процессов, которая затем завершается под действием температурных сдвигов.

Низкие температуры просто необходимы некоторым растениям во время покоя: лишь после значительного охлаждения (не менее чем до 0 °С на протяжении трех-четырех недель) они впоследствии могут нормально возобновить свой рост. Это было известно еще в глубокой древности. Например, Плиний Старший в своей «Естественной истории» писал: «Своевременно наступающие холода весьма способствуют укреплению деревьев, которые тогда превосходно развиваются, а в противном случае, если их ласкают австры<sup>1</sup>, истощаются и особенно в пору

цветения». Это подтверждают и эксперименты. Например, если куст черники осенью разделить на две части и одну выращивать всю зиму в теплице, а другую оставить в естественной обстановке, то та половина, которая провела зиму в тепличных условиях, будет расти летом значительно хуже. По этой же причине персиковые и грушевые деревья, выращиваемые в обогреваемой оранжерее часто погибают.

В тропиках, казалось бы, идеальном месте, где круглый год тепло, большинство листопадных растений умеренной зоны растут ничуть не лучше, чем у себя дома. И здесь дело опять-таки в том, что «тепличные» условия не позволяют им погрузиться в состояние покоя, необходимое, чтобы накопить силы для бурного развития в сравнительно короткий период вегетации.

### **Природные антифризы**

Растениям, которые зимой укрыты снегом, под его теплой шубой не так уж холодно. Но как противостоят морозам деревья и кустарники, обнаженные ветви которых насквозь пронизывает холод? Почему не гибнут их почки и побеги?

Устойчивость растений к низким температурам создается главным образом благодаря внутриклеточным изменениям,

<sup>1</sup> Австры — теплый южный ветер.

и прежде всего их химическому составу.

Роль антифриза — вещества, которое снижает температуру замерзания растворов, находящихся в клеточных вакуолях, играют сахара: они накапливаются в клеточном соке во время подготовки растения к зиме. Они же предохраняют белки цитоплазмы от коагуляции (свертывания) при понижении температуры. Чем больше сахаров накопили растения в своих тканях, тем лучше они противостоят действию низких температур. Хорошо известно, что если у плодовых деревьев, например яблонь, плодоношение летом было особенно обильным, то зимой они оказываются менее морозостойкими. В этом случае питательные вещества расходуются в основном на формирование плодов, а про запас сахаров откладывается мало. Неудивительно, что такие деревья легко вымерзают.

Плохо переносят морозы и те растения, которые осенью интенсивно росли, например, вследствие длительной теплой погоды или в результате обильной подкормки азотом. Причина здесь та же: растения плохо подготовились к зиме, их питательные вещества использовались на рост вегетативных органов (стеблей, листьев), а не откладывались в виде запасных углеводов.

Снижается морозостойкость растений и весной, когда са-

хара начинают использоваться в процессах жизнедеятельности, превращаются в другие соединения. Поэтому так опасны для растений даже слабые весенние заморозки, хотя температура далеко не достигает уровня зимних морозов, которые они прекрасно перенесли.

Но устойчивость растений к морозам объясняется не только накоплением сахаров в их тканях. Как показали исследования известного советского физиолога растений члена-корреспондента АН СССР И. И. Туманова и его учеников, формирование морозоустойчивости — сложный, ступенчатый процесс. Закаливание озимых злаков и плодовых деревьев начинается в осенние солнечные дни, когда еще довольно интенсивно идет фотосинтез, а процессы дыхания уже ослаблены. В это время в тканях накапливаются сахара и другие защитные вещества, а в клетках становится меньше воды.

После этого цитоплазма готова к прохождению второй фазы закаливания, которая протекает при регулярно повторяющихся слабых морозах (от  $-2$  до  $-5$  °C). В это время изменяется ультраструктура цитоплазмы, перестраивается ферментный аппарат клеток, вследствие чего они приобретают способность переносить значительное понижение температуры. Теперь растению холода не страшны.

## Жизнь под снегом

Безжизненными кажутся деревья в февральском лесу, но это обманчивое впечатление. В их соке и почках быстро нарастает содержание цитокининов, уровень которых совсем недавно — в декабре—январе — был минимальным. Максимальная концентрация цитокининов в соке обнаруживается у клена за две недели до вскрытия почек. Увеличение количества этих фитогормонов еще в феврале говорит о том, что незаметно для нашего глаза деревья уже начали подготовку к грядущей весне.

Но, пожалуй, наиболее деятельная подготовка к весне совершается в это время под толщей снега широколиственного леса. Если здесь раскопать снег, то можно обнаружить пробившиеся сквозь опавшую листву бледно-желтые ростки со свернутыми листьями, а иногда и бутонами. Осенью этих ростков здесь не было.

Дело в том, что в широколиственном лесу почва зимой не промерзает из-за большого количества перегноя и глубокого снежного покрова,

создающих прекрасную теплоизоляцию. Благодаря этому температура почвы здесь всю зиму около 0 °С, поэтому в ней остается незамерзшая влага, доступная растениям.

Что же касается питательных веществ, столь необходимых для роста, то подснежное развитие растений происходит за счет готовых, отложенных ранее запасов. Например, у медуницы и ветреницы эти запасы находятся в корневищах, у пролески и гусиного лука — в луковичках, у чистяка и хохлатки — в клубнях.

Интенсивное использование этих отложенных про запас питательных веществ в процессе дыхания способствует повышению температуры самого растения. Часто вокруг него даже протавляет снег. Например, в феврале начинают расти под снегом побеги мать-и-мачехи, заложенные еще осенью. Если в это время откопать растение, то можно увидеть, что вокруг него в снежном покрове протаяла крошечная пещерка.

Еще трещат суровые морозы, а под снегом уже начинается весна...

# ОГЛАВЛЕНИЕ

К читателю . . . . .	5	Aqua vitae — живая вода . . . . .	88
Фотосинтез, или величайшая тайна зеленого растения . . . . .	10	Величайшее в мире богатство . . . . .	88
Ошибка Ван-Гельмонта . . . . .	10	«Острою секирой ранена береза...» . . . . .	89
«Самое интересное из веществ во всем органическом мире». . . . .	13	Кленовый, пальмовый и другие соки . . . . .	91
Красный цвет — символ созидания . . . . .	15	«Волшебная» роса . . . . .	94
Ловушка для света . . . . .	18	Много ли воды испаряют растения? . . . . .	100
О чем поведали меченые атомы? . . . . .	20	Наедина с пустыней . . . . .	104
Эта удивительная кукуруза . . . . .	22	Как ограничить транспирацию? . . . . .	105
Новый источник горючего . . . . .	24	Деревья «худеют» и «поправляются» . . . . .	107
Зеленая электростанция . . . . .	30	Растения — накопители воды . . . . .	108
Фотосинтез и урожай . . . . .	33	Друзья пожарников . . . . .	115
«Чародейкою зимою околдован, лес стоит...» . . . . .	37	Основные добытчики воды . . . . .	117
Леса — легкие планеты? . . . . .	38	Влага из воздуха . . . . .	118
«Лес, точно терем расписной, лиловый, золотой, багряный...» . . . . .	42	В поисках воды . . . . .	122
Радуга флоры . . . . .	45	Оригинальный способ получения воды . . . . .	122
Зеленые животные — реальность или фантазия? . . . . .	51	<b>Как питаются растения?</b> . . . . .	124
<b>«И дышит сад...»</b> . . . . .	56	На первое — макро-, на второе — микроэлементы . . . . .	124
Непопулярная тема . . . . .	56	«Безжизненный» элемент — основа жизни . . . . .	125
Как можно обнаружить дыхание растений? . . . . .	57	Можно ли перевести злаки на самообеспечение азотом? . . . . .	127
Две фазы дыхательного процесса . . . . .	58	Да здравствуют бактериальные удобрения! . . . . .	129
Откуда взялись митохондрии? . . . . .	63	Цианобактерии повышают урожай . . . . .	131
Большие дела крошечных клеток . . . . .	64	Священный папоротник . . . . .	132
Время рыбам нереститься . . . . .	67	Растения без почвы . . . . .	137
Растения на болоте . . . . .	68	Огурцы на окне . . . . .	140
У растения повысилась температура . . . . .	72	Золото — из пылини, алюминий — из плауна . . . . .	142
«Вечерний лес теплее поля — к ведру» . . . . .	78	Не бойтесь: деревьев-людоедов не существует! . . . . .	144
Атмосфера для хранения плодов . . . . .	79	Растения, поедающие насекомых . . . . .	146
Лесные и морские фонари . . . . .	81	Хищники из мира грибов . . . . .	159
		Овеянный легендами... паразит . . . . .	161

Чем питаются эпифиты . . . . .	168	Физиологи на страже урожая	264
Выращивание растений в воздухе . . . . .	172	От детства до старости . . . . .	270
Почва для космоса . . . . .	173	По ступеням качественных изменений . . . . .	270
<b>Загадки роста . . . . .</b>	<b>174</b>	Растения-долгожители . . . . .	272
Рост и развитие — не одно и то же . . . . .	174	«Двуличные» растения . . . . .	275
Как быстро растут растения? . . . . .	175	«Для нас людей — любовь, а для травы иль дерева — цветенье...» . . . . .	278
«Поющие» и «рыдающие» растения . . . . .	177	Холод ускоряет развитие . . . . .	279
Сад Тартарена . . . . .	178	Растения измеряют время . . . . .	281
Сказочная репка на современ- ных полях . . . . .	184	Почему хризантемы цветут осенью? . . . . .	287
На лунном грунте . . . . .	196	Как задержать цветение редиса? . . . . .	291
Зеленые меломаны . . . . .	196	Синхронное цветение растений . . . . .	292
Талая вода — стимулятор роста . . . . .	201	Существует ли гормон смерти? . . . . .	295
Электричество и рост растений . . . . .	202	<b>Раздражимость и движения растений . . . . .</b>	<b>297</b>
Щедрость магнитного поля . . . . .	207	Растения отвечают на внешние воздействия . . . . .	297
Внимание: невесомость! . . . . .	209	Электричество в растениях . . . . .	299
Растения для Луны . . . . .	214	Обладают ли растения эмо- циями? . . . . .	302
Луна и рост земных растений . . . . .	216	Сон растений . . . . .	305
Солнечная активность и урожай . . . . .	217	Время раскрывания и закры- вания цветков . . . . .	308
Солнечные затмения — хоро- шо это или плохо? . . . . .	219	Биологические часы . . . . .	310
Свет и рост растений . . . . .	219	«Богомольная» пальма из Фаридпура . . . . .	313
Голубой и зелено-желтый . . . . .	222	Телеграфные растения . . . . .	315
Лазер повышает урожай . . . . .	223	Вслед за Солнцем . . . . .	317
Световоды в растениях? . . . . .	227	Грибы, «стреляющие» в сто- рону света . . . . .	319
Семена после взрыва . . . . .	231	Растения бомбардиры . . . . .	320
«Ветер, ветер, ты могуч...» . . . . .	231	Самозарывающиеся растения . . . . .	322
Поговорим о фитогормонах . . . . .	234	Почему стебли и корни растут в разные стороны? . . . . .	323
Верхушка колеоптиля — кла- дезь ауксинов . . . . .	235	<b>Растения осенью и зимой</b>	<b>326</b>
Эликсир для кишмишного винограда . . . . .	239	Бесконечная цепь перемен . . . . .	326
Ошибки ассистента, ставшая крупным открытием . . . . .	244	«Листья падают в саду...» . . . . .	326
Абсцизовая кислота в расте- ниях и в животных . . . . .	248	«Не мертвец и не живой...» . . . . .	329
Ускоритель созревания плодов . . . . .	249	Сигнал к покою . . . . .	331
Искусственный листопад . . . . .	250	Природные антифризы . . . . .	332
Клетки растений на искус- ственной питательной среде . . . . .	251	Жизнь под снегом . . . . .	334
Физиологи растений помогают селекционерам . . . . .	255		
Рассада из... пробирки . . . . .	258		