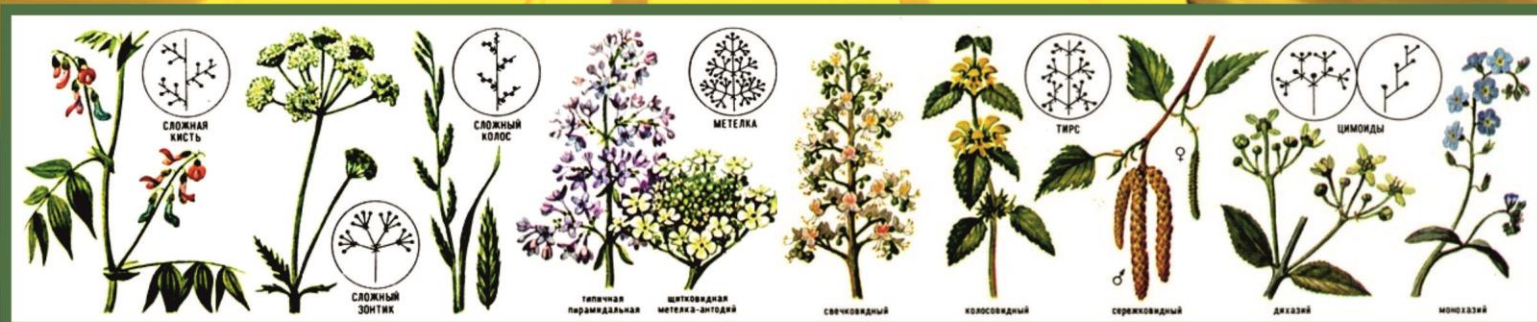
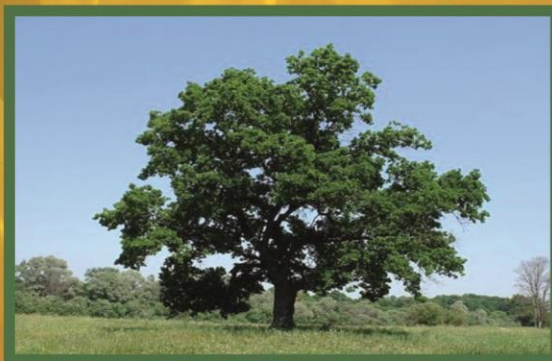


Г.С. Эрдели

Наши зелёные друзья

Беседы о растениях



Воронеж 2014

УДК 581.14 (0.75)

ББК 41.2

Эрдели Г. С. Наши зелёные друзья: Беседы о растениях. – Воронеж: электронная версия, 2014. – 171 с.

Охраняется законом об авторском праве. Нарушение ограничений, накладываемых им на воспроизведение всей книги или любой ее части, включая оформление, преследуется в судебном порядке.

Книга по ботанике «Наши зелёные друзья: Беседы о растениях» написаны кандидатом биологических наук, доцентом Галиной Сергеевной Эрдели, много лет проработавшей на кафедре физиологии и биохимии растений Воронежского государственного университета.

В книге рассказывается о строении цветковых растений, их отдельных органов (корни, листья, стебли), жизнедеятельности на разных этапах развития, взаимоотношениях с окружающей средой и приспособлении к ней.

Для учащихся и преподавателей средних школ, для поступающих на биологические факультеты вузов и для всех, кто интересуется растениями, любит их и выращивает. Издание второе, дополненное.

Компьютерное и художественное оформление – Силкина Т. Б.

© Эрдели Г. С., 2014

© Эрдели Г. С., Интернет - фото

Эрдели Галина Сергеевна – Наши зелёные друзья: Беседы о растениях.

Сведения об авторе

Эрдели Галина Сергеевна родилась в Воронеже 22 декабря 1926 года, кандидат биологических наук, доцент, участница Великой Отечественной войны. В 1947 году окончила сельскохозяйственный техникум в ст. Славянской Краснодарского края, по специальности – агроном-плодоовощевод. В 1949 году поступила учиться на биолого-почвенный факультет ВГУ. После его окончания работала на Областной станции юннатов, а с 1958 года – в университете: садовником, лаборантом, преподавателем, доцентом кафедры физиологии и биохимии растений. Изучала действие регуляторов роста на растения, в том числе более 20 лет совместно с учёными университета г. Галле, Германия.

Издательством ВГУ выпущены воспоминания о военном времени: «Прошлое всегда рядом»; о работе в университете: «Люди и растения в моей жизни»; миниатюры: «Запахи земли», «Переключка» (соавторство – И. А. Дудин); научно-популярные книги о растениях: «Наши зелёные друзья: Беседы о растениях», «Первое знакомство с зелёными друзьями», «Рядом с нами», «Почему трава растёт» и другие.

На официальном сайте профкома сотрудников ВГУ выставлен ряд книг: «Этот удивительный живой мир»; «Ещё о войне. Эстафета памяти» (соавторство – Т.Б. Силкина), «Воспоминания» – книга в 4 частях («Детство», «Военная юность», «Семейная жизнь», «По моей стране»), «Язык травы», «Раздумья», «Предшествование»; «Отрывочные воспоминания», «Подводя итоги»; «Моя военная юность», «Рядом с нами»; «Почему трава растёт?», «Первое знакомство с зелёными друзьями».

ЛЮБИТЕ ЭТИХ ЛЮДЕЙ И ГОРДИТЕСЬ ИМИ

Великий дар дан человеку – умение учиться. Будете счастливы, если этот дар сохраните на всю жизнь. Далеко в прошлом мои студенческие годы, но именно они по-настоящему сформировали характер, жизненную позицию – науки нам преподносили выдающиеся учёные – личности. В Воронеже тогда была особая творческая атмосфера: интересно в родном СХИ, ну, а уж в лесотехническом, ВГУ, технологическом, медицинском... Особо жадным до этих знакомств можно было и на лекции в соседнем вузе побывать, и в библиотеке взять ту или иную книжку прославленного учёного. Слышал об историке С. И. Батраченко из пединститута, Б. И. Кущеве из технологического, Я. А. Угае из университета... Имена – как вершины, люди – пример для подражания.

В последние годы произошёл непростительный разрыв между представителями большой науки и остальной частью общества. Когда руководил колхозом в Новой Криуше, старался хоть на малой территории, но ликвидировать этот пробел – приглашал в школу писателей, учёных, художников, актёров из Воронежа. Особую ценность обрели «класс Семаго» в школьном лесничестве, у истоков которого стоял известный учёный из НИИ им. Докучаева Б. И. Скачков. Были попытки оказывать помощь некоторым учёным в проведении научно-практических конференций. Всё это, конечно, хорошо для детворы отдельно взятого колхоза, но в принципе – капля в море. Поэтому и возникла идея издать серию книжек, интересно написанных именитыми учёными. На эту мысль навело знакомство с рукописью о жизни растений, автором которой является редкостный знаток своего дела Г. С. Эрдели. Учебное пособие с таким доходчивым изложением сложных явлений, проблем – величайшая редкость. Это особое приближение к языку Пришвина, Бианки, Брэма, Акимушкина. И безо всяких колебаний администрация нашего района решила совместно с университетом принять участие в издании учебного пособия «Наши зелёные друзья». Часть тиража пойдёт в библиотеки калачеевских школ. Встреча детей с такой книжкой – праздник. Но мы этот праздник приумножим – в райцентре и сёлах организуем встречи с Галиной Сергеевной. Люди должны знать таких учёных, гордиться ими.

Живая легенда – так кратко можно охарактеризовать биографию Г. С. Эрдели. Участница Великой Отечественной войны, как учёная она много

сделала для сельского хозяйства – её изысканиями заинтересовались в Германии. В соавторстве с Г. Н. Хожайновой и Г. Шиллингом, биологом из ГДР, издан научный труд, в котором разработана эффективная методика борьбы с полеганием хлебов. Г. С. Эрдели – автор интереснейших воспоминаний о своём роде (дедушка Апполос Ржаницын был в Вологодской области, в Моршанске Тамбовской области уважаемым священником), о своём поколении... Человек тех убеждений, в которых главенствуют добро, забота о ближнем.

Если государство не в состоянии познакомить детей с творчеством таких учёных, то сделать это – наш долг, и от нашей жизненной позиции, зависит, какими за порог выйдут выпускники школ вверенных нам районов. Сложив усилия, мы подарим нашим детям особые учебники по разным предметам, а, главное – особые учебники жизни, которые могут написать широко известный Л. Л. Семаго, П. А. Бороздина – филолог, знающая в совершенстве литературу народов нашего бывшего СССР, химики – Я. А. Угай, В. Ф. Селеменев... Если математик В. А. Костин с великой любовью занимается в Верхнем Мамоне филиалом возглавляемого им факультета ПММ, то, наверное, с не меньшей любовью он напишет книгу своей науке, и о людях, живущих ею... Важно преподнести детям философию так, как её видит профессор из лесотехнической академии В. П. Фетисов, а о проблемах сельского хозяйства лучшим рассказчиком станет ректор агроуниверситета В. Е. Шевченко... Введение в науку о космосе дал бы лауреат Ленинской премии, Герой Социалистического Труда А. Д. Конопатов. Необходим учебник православного прочтения проповедей русских классиков...

Словом, книжкой уважаемой мною Галины Сергеевны Эрдели начало положено. Не сомневаюсь, что главы районных администраций вместе с Издательством ВГУ и ректорами вузов определятся, кто какое Имя откроет учащимся наших школ. Этот совместный проект значительно упрочит положение науки и образования в Воронежской области.

*Глава администрации Калачеевского района,
почётный работник общего образования
Российской Федерации
Анатолий Бакулин*

ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

В настоящее время в связи с экологическими проблемами, сопровождающимися резким обеднением живой природы, возрос интерес к познанию животных, растений и их роли в жизни человека. Между тем научно-популярной литературы, посвященной этим вопросам, крайне мало. Остро ощущается недостаток учебных пособий, в которых основные закономерности жизни организмов изложены понятно, но с учетом достижений современной науки: за последние десятилетия именно в биологии достигнуты наиболее впечатляющие успехи.

Книга «Наши зелёные друзья» посвящена жизни растений. Очень важно, что наряду с описанием процессов, происходящих в отдельных органах – корнях, листьях, стеблях, автор создает картину целостности растительного организма. Книга пронизана любовью к растениям, возникает особый стиль, сразу увлекающий читателя.

Г. С. Эрдели подчеркивает связь морфологических особенностей того или иного органа с его функцией. Например, в беседе о цветке и процессе оплодотворения подробно описываются приспособления к опылению (расположение цветков, время зацветания, окраска, аромат и др.). При этом рассказывается о химических соединениях, определяющих запах цветков, приводится много интересных подробностей об оплодотворении, о развитии и созревании семян, излагаются особенности азотного обмена семян.

В разделе «Корневое, или минеральное, питание растений» Г. С. Эрдели разбирает вопросы, связанные с превращением азота, и специально останавливается на способах, позволяющих быстрее утилизировать азот и избежать вредного для человека накопления нитратов.

При описании корневой системы автор обращает внимание на то, что корень – орган, в котором синтезируется ряд важных органических соединений (витаминов, гормонов), без которых жизнь растения невозможна. В последнее время подчеркивается необходимость включения микроэлементов в питание человека. В связи с этим в книге приводятся интересные сведения о растениях,

накапливающих микроэлементы.

Процессом, обеспечивающим питание растений углеродом, является фотосинтез. Г. С. Эрдели подчеркивает огромную роль этого процесса, масштабы его значения для человека. Современные представления о механизме фотосинтеза в доступной форме излагаются автором при рассмотрении структуры и функции хлоропластов.

Одной из основных особенностей организма, в том числе растительного, является его способность регулировать процессы жизнедеятельности и на этой основе приспосабливаться к меняющимся условиям среды.

Г. С. Эрдели подробно рассказывает о системе гормональной регуляции и её роли в процессах роста, развития и приспособления растений к внешней среде. Хорошо показано, как можно регулировать темпы развития растений, их переход к размножению, описаны особенности старения организма и его отдельных органов. Специальный раздел посвящен клонированию растений. Рассматриваются все этапы этого процесса, дается подробное объяснение физиологических изменений на каждом этапе.

Книга «Наши зелёные друзья» способствует возникновению у читателя целостного представления обо всех жизненных процессах растения. Очень важно, что сделано это в доступной и увлекательной форме. Всё сказанное позволяет рекомендовать книгу для средней школы.

*Профессор Московского педагогического
университета, доктор биологических наук
Н. И. Якушкина*

ОТ АВТОРА

При подготовке рукописи к изданию учтены ценные замечания, сделанные доцентом ВГУ В. В. Чуриковой, преподавателями средних школ Воронежа Е. В. Коростелевой и Т. А. Алексеевой, директором Зональной библиотеки ВГУ С. В. Янц. Автор приносит им глубокую благодарность.

Особую признательность автор выражает научному редактору, доктору биологических наук, профессору Московского педагогического университета Н. И. Якушкиной и рецензентам: доктору биологических наук, профессору Орловского госуниверситета Т. И. Пузиной, кандидату биологических наук, доценту Курского педуниверситета Е. Н. Овсянниковой, кандидату биологических наук, доценту Тамбовского госуниверситета Н. В. Давидчук

Автор считает своей приятной обязанностью поблагодарить тех, кто оказал материальное содействие в издании данной книги – декана биолого-почвенного факультета ВГУ профессора, доктора биологических наук В. Г. Артюхова, главу администрации Калачеевского района Воронежской области А. Н. Бакулина, а также корреспондента газеты «Сельская жизнь» Э. П. Ефремова – инициатора написания данной книги.

Отдельная благодарность М. А. Бабенко за помощь в подготовке рукописи, Т. Б. Силкиной за оформление электронной версии данной книги, профкому сотрудников ВГУ за предоставленную возможность представить электронную версию книги на официальном сайте профкома.

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Книга Галины Сергеевны Эрдели «Наши зеленые друзья: Беседы о растениях» относится к разряду научно-популярных литературных произведений.

Замечательным, доступным для понимания языком автор ведёт беседы с читателем. Каждая беседа – занимательный рассказ, в котором много интересных, познавательных подробностей о жизни наших зелёных друзей.

«Как и любое другое существо, не исключая человека, растение проходит периоды детства, юности, зрелости и старения. Это называют онтогенезом».

Галина Сергеевна поднимает очень много вопросов и даёт на них полноценные ответы. Например: *«Что мы знаем о том, как живет растение, как питается, как относится к своим соседям, ко всему, что его окружает?»*; *«... почему они так называются – «растения?»*; *«Почему ... животные, человек, растут только до той поры, когда станут взрослыми, а растения продолжают расти всю жизнь?»*

Произведение Галины Сергеевны, несомненно, можно назвать прекрасной одой о растениях. От начала до конца книга пронизана бесконечной любовью автора к зелёным друзьям. Она твердо убеждена, что растения являются не просто важной, но самой необходимой составляющей для жизни на планете Земля: *«... можно без преувеличения сказать, что благодаря растениям создан весь животный мир, в том числе и мы с вами, ведь без кислорода, необходимого для дыхания, была бы невозможна эволюция живых существ».*

В книге чувствуется крайняя озабоченность автора дальнейшей судьбой наших зелёных друзей: *«... растения горят в лесных пожарах, леса вырубаются на строительство, на дрова. Многие виды растений занесены в Красную книгу, им грозит вымирание от развития промышленности и даже бездумного уничтожения диких трав на букеты».* Её тревога одновременно и за будущее человечества, за здоровое и полноценное существование, за разумное сосуществование с удивительным и таинственным миром растений.

Растительный мир – дружественный для человека. Он всегда должен помнить об этом, и мудро, бережно, заботливо, с любовью относиться к зелёным друзьям.

Татьяна Силкина

БЕСЕДА ПЕРВАЯ

ЧТО ТАКОЕ РАСТЕНИЕ?

Этой книжкой мы начинаем беседы о растениях. Они всегда с нами, они окружают нас, но об их значении в нашей жизни мы не всегда задумываемся и часто забываем.

А помнить об этом необходимо, потому что без растений, которых всё меньше становится на нашей Земле, не будет и нас. Растения нас кормят. Это не только хлеб, крупы, овощи, фрукты и разнообразные пряности. Косвенно растения дают нам мясо, молоко, жиры, яйца, рыбу, — ведь животные питаются растениями.

Растения всё еще в значительной мере одевают и обувают нас: хлопок, шерсть, кожу не всегда могут подменить их синтетические заменители, как и дерево в строительных работах. Они утешают нас в трудные минуты, дарят радость и делают нас лучше, очищают воздух от вредных примесей и бактерий, лечат нас, помогают геологам в поисках полезных ископаемых.

И, наконец, вспомним, — кислород создан и пополняется только зелёными растениями. Потому можно без преувеличения сказать, что благодаря растениям создан весь животный мир, в том числе и мы с вами, ведь без кислорода, необходимого для дыхания, была бы невозможна эволюция живых существ. Учёные считают, что фотосинтез возник у одноклеточных организмов около трёх миллиардов лет назад.

А растения горят в лесных пожарах, леса вырубаются на строительство, на дрова. Многие виды растений занесены в Красную книгу, им грозит вымирание от развития промышленности и даже бездумного уничтожения диких трав на букеты.

Движения растений

Мир растений окружает человека. Он очень разнообразен, этот зелёный

мир: от одноклеточной водоросли до гигантских деревьев, от растений, длительность жизни которых всего несколько недель, до растений, которым тысячи лет.

Что мы знаем о том, как живет растение, как питается, как относится к своим соседям, ко всему, что его окружает? Но, прежде всего, почему они так называются – «растения»?

Потому, что они растут всю свою жизнь. В молодости интенсивнее, в зрелости рост замедляется, а когда совсем заканчивается, растения умирают.

Скорость роста у разных растений неодинакова. Побеги бамбука, появившись из земли, могут вырасти за сутки на один метр, а тису для этого понадобится сорок лет (рис. 1).



Рис. 1. Бамбук (слева); тис и плоды тиса (справа)

Рост растений не происходит непрерывно, у них есть и периоды отдыха – покоя. Они возникли из-за неблагоприятных условий, у нас – зимних морозов, в некоторых районах земного шара – периодов засухи. Но теперь периоды покоя сохранились у этих растений даже при вполне хороших условиях. Так закрепились в наследственной памяти особенности обмена веществ.

Почему же животные, человек, растут только до той поры, когда станут взрослыми, а растения продолжают расти всю жизнь? Потому, что у растений рост выполняет еще одну, особую обязанность – движения, перемещения в пространстве. Растения не могут изменить своего положения, перейдя на другое место, как это делаем мы с вами. Они перемещаются своей растущей частью.

Вы обращали внимание, как навстречу солнечным лучам поднимаются

утром листья многих растений? К вечеру листья устало опускаются вниз. Это хорошо заметно у белой акации – робинии. Ещё заметнее направление листьев к свету у комнатных растений на окне. А у молодых растений лебеды верхние, раскрытые днём листья, вечером поднимаются вверх, закрывая собой верхушечную почку (защищая от ночной прохлады?).

Если набраться терпения, можно заметить, как, дотронувшись до опоры, начнёт изгибаться усик винограда, закручиваясь вокруг неё.

Наверное, все знают, что настоящая мимоза (в начале весны продают цветы одной из акаций, листья которой похожи на мимозу) отвечает на прикосновение, складывая и опуская листочки, причем сигнал передаётся всему побегу.

Ранней весной можно наблюдать, как раскрывается принесённый в тёплую комнату цветок тюльпана, напрасно ожидая прилёта мошек (рис. 2). Это тоже движения растений, хотя они связаны не столько с ростом, сколько с наполненностью особых клеток водой, их *тургором*, растяжением клеточных оболочек.



Рис. 2. Весенние цветы – тюльпаны

Движения, связанные с механическим воздействием или влиянием температуры, чередованием дня и ночи, называют *настиями* (сейсмонастии, термонастии, фотонастии). Примером фотонастии могут служить цветки душистого табака, маттиолы, одуванчика (рис. 3). Цветки одуванчика (правильнее назвать – *соцветия*) раскрываются на солнце, а маттиолы, табака – вечером.



Рис. 3. Цветки душистого табака, магнолии, одуванчика

Существуют цветки, раскрывающиеся в определенные часы дня (только солнечного дня). В некоторых ботанических садах даже есть такие цветочные часы.

Раньше всех «просыпается» козлородник – около 4 утра, следом за ним – шиповник. Около 5 часов раскрывает цветки цикорий, осот огородный, лилейник, на час позже – одуванчик, тюльпан, ещё позже – осот полевой, картофель. Около 8 утра распрямляется венчик вьюнка полевого, а водяная лилия поднимает свои цветки над водой. Перед пасмурным дождливым днем её цветки на воде не видны, это хороший предсказатель погоды. Поздно радуют своими цветками бархатцы и ноготки – в 9, а мать-и-мачеха и кислица даже в 10 часов.

«Спать ложатся» раньше всех, в 10 утра, осот полевой, козлородник, часом-двумя позже – осот огородный, в час дня сворачивается венчик у ипомеи, в 3-4 часа у одуванчика и ноготков, на час позже у тюльпана. Дольше всех из «дневных» цветов не закрываются цветки лилейника и шиповника – до 8 вечера.

Эти сроки установлены для средней полосы России, но они могут немного меняться в зависимости от зоны. Понаблюдайте за вашими цветами и составьте свои цветочные часы.

Ростовые движения называют *тропизмами*. Они бывают разными: фототропизм, геотропизм, хемотропизм, гидротропизм и аэротропизм (рис. 4).

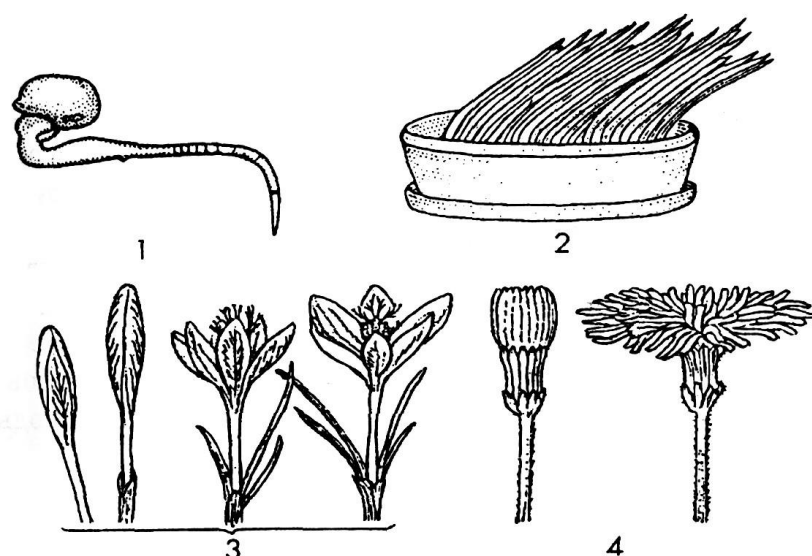


Рис. 4. Тропизмы и настии: 1 – геотропизм (положительный у корня, отрицательный у стебля); 2 – фототропизм; 3 – термонастии; 4 – фотонастии

Растение как бы «слышит зов» – света, земли, воды, питательных веществ и направляет свой рост в ту сторону, где есть этот, необходимый ему, фактор. И в противоположную сторону от того, что ему вредно.

Все мы видели, как поднимается, растёт вверх стебель, по какой-то причине пригнувшийся к земле. А если проросток положить горизонтально (во влажной камере, потому что корни не выносят подсушивания), то уже через 1-2 часа можно увидеть изгиб не только стебля, но и корня. Он изогнётся вниз. Считается, что клетки корня реагируют на земное притяжение положительно, а стебля – отрицательно. И хочется думать – это каждая часть проростка «слышит» необходимый ей зов: корень «слышит зов» земли, а стебель – света.

Стебель и листья чувствительны лишь к свету. Многообразно реагирует на окружающие условия корень. И это не удивительно – корень играет чрезвычайно важную роль в жизни растения. Не зря Козьма Прутков предупреждал: «Зри в корень!». О роли корня мы ещё будем говорить, сейчас важно заметить, что чувствителен к условиям самый кончик корня. Он передаёт полученный сигнал растущим клеткам (они расположены на 1-2 см выше). Эти клетки изменяют направления роста. Если самый кончик прищипнуть, корень не будет реагировать, пока не образуются новые клетки.

Впервые эту особенность обнаружил Чарльз Дарвин. Он сказал, что окончание корня подобно мозгу дождевого червя, и подвергся жесточайшей критике даже со стороны своих почитателей. Их шокировало слово «мозг», уподобление растения животному. В те годы считалось, что между растительным и животным миром не может быть совсем ничего общего.

Только у растений

Несмотря на то, что (как мы теперь знаем) существует много общего между животным и растением на молекулярном уровне, в биохимических процессах, есть и существенные различия. В частности, определяющие рост клеток. Ростовые движения возможны по-

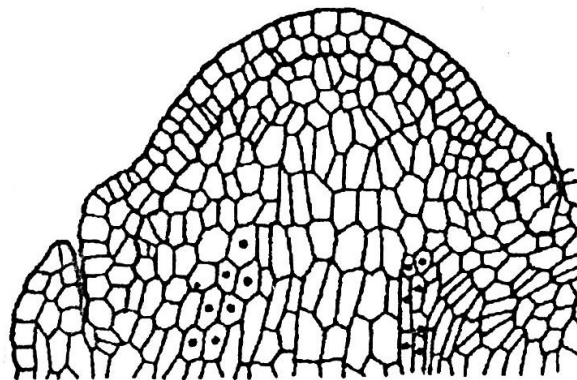


Рис. 5. Верхушечная меристема стебля (схема)

тому, что клетки растений имеют особенности роста. Начало роста – деление клеток – не отличается от деления клеток у животных, только у растений оно происходит в особых зонах – окончаниях корня и стебля, в тканях, которые называются *меристемы*, а клетки – *меристематическими*. Клетки меристемы плотно прилегают друг к другу, они почти квадратной формы (рис. 5). В окончаниях побегов и корней меристемы *апикальные*. Меристема, ответственная за рост стебля в толщину – *камбий*.

В стеблях злаковых растений (пшеница, рожь, бамбук) есть ещё один тип меристематической ткани, её называют «вставочной» меристемой. Клетки вставочной меристемы расположены в узлах побега. Они как бы «вставлены» в побег, потому так и называются. Вставочная меристема помогает стеблю злаковых растений подниматься в случае полегания стебля от ветра или других причин

В апикальных меристемах есть несколько десятков особых клеток, более устойчивых к различным воздействиям. У меристемы побега их называют *ме-*

ристеиой ождидания, у меристемы корня – *покоящимся центром*. Считается, что эти клетки помогают восстанавливаться растению в случае повреждения от неблагоприятных условий.

Процесс деления клеток всех типов меристем проходит одинаково. Вначале делится ядро – содержащиеся в нём хромосомы.

В промежутке между делениями клетки, хромосомы удваиваются и разделяются. В это время они невидимы для глаз, видны лишь «глыбки» хроматина. Но уже в начале деления *ядра*, разделившиеся хромосомы становятся видны. Они расходятся к противоположным сторонам клетки. Там из новых хромосом образуются два новых ядра, и хромосомы вновь теряют свои очертания.

Такое деление ядра называется *митотическим*, или, сокращенно – *митозом*.

Ещё во время формирования двух новых ядер начинается деление самой клетки – *цитокинез*. В середине клетки образуется тонкая перегородка из межклеточного вещества, без клетчатки, её называют *клеточной пластинкой*. Затем две, разделённые клеточной пластинкой новые клетки достраивают каждая свою прочную клеточную оболочку, содержащую целлюлозу. А тонкая перегородка сохраняется между клетками, склеивая их. Но в оболочках остаются маленькие отверстия со сложной структурой – *поры*. Через поры проходят нити цитоплазмы, объединяя соседние клетки. Подсчитано: в клетке окончания корня таких пор может быть больше десяти тысяч.

После того, как меристематическая клетка разделится пополам, она растёт, увеличивается до первоначальных размеров. Хромосомы удваиваются, и вновь происходит деление ядра и клетки. Так клетка растения может делиться несколько раз, а потом начинает удлиняться. Процесс деления клеток есть у всех организмов, но способностью к их удлинению обладают только растения. Это называется *растяжением* клеток.

Клетки увеличиваются в длину, потому что растёт клеточная оболочка. Но главное – в клетку поступает много воды, и это оболочку клетки растягивает.

В растущей клетке растения образуется и по мере роста увеличивается в размерах особая часть клетки – *вакуоль*. Вакуоль – окружённое тонкой оболоч-

кой – мембраной (она называется *тонопласт*),местилище воды и растворённых в нём солей и органических молекул (клеточный сок). Есть там и белки-ферменты. Во взрослой клетке в вакуоли откладываются запасные вещества – сахара в корнях сахарной свеклы, катехины в листьях чая...

У взрослой живой клетки вакуоль занимает почти всё внутриклеточное пространство (рис. 6).

Отдельные клеточные структуры: ядро, митохондрии, пластиды располагаются в тонком слое цитоплазмы, покрытом мембраной и жёсткой, прочной клеточной оболочкой. Оболочка клетки состоит в основном, из прочно связанных между собой длинных молекул целлюлозы и пектиновых веществ. Есть там и особый белок – структурный.

Вода, поступая в вакуоль, давит на клеточную оболочку, держит её в натянутом состоянии. Это помогает молодой клетке встраивать новые молекулы в оболочку и удлинять клетку. Но по мере роста клеточная оболочка становится всё более толстой и прочной, и это мешает клетке увеличиваться.

Растяжение клетки регулируется растением. Оно может идти с разной скоростью, и клетки могут достигать разной длины даже на противоположных сторонах одного стебля или корня. Обычно клетка в фазе растяжения может удлиниться раз в 20-30, но может быть увеличение даже в 200 раз! Удлинившаяся клетка имеет форму почти правильного вытянутого прямоугольника.

Куда растут корни

Нормальное направление роста главного корня – вниз, в почвенную глубину. Но при попадании в землю семя может лечь таким образом, что кончик

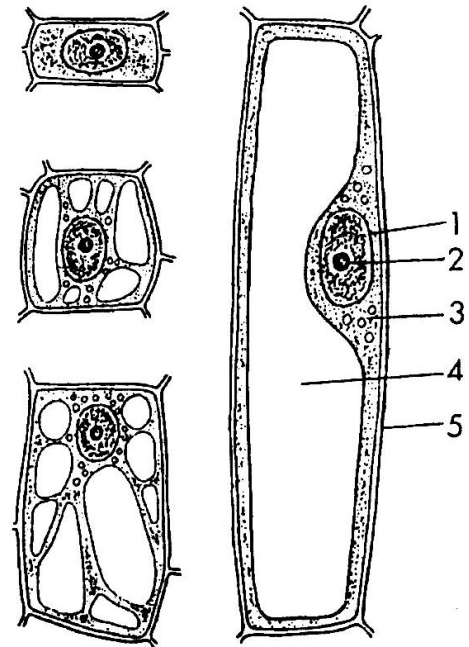


Рис. 6. Рост растительной клетки и образование вакуоли. 1 – ядро; 2 – ядрышко; 3 – цитоплазма; 4 – вакуоль; 5 – клеточная оболочка

корня будет обращён вверх. В этом случае прорастающий корешок станет изгибаться. Растягивающиеся клетки с нижней стороны корня замедлят свой рост, а с противоположной стороны – ускорят, и корень пойдёт расти вниз. Позже направление роста может быть иным, например, в сторону питательных веществ и от веществ ядовитых.

Прорастание и рост стеблевой части проростка вначале замедлены по сравнению с ростом корня. Активный рост стебля происходит несколько позже, когда корешки закрепят в почве проросток и начнут подавать ему воду. Так же как и корень, при неправильном положении в почве стебелёк изменяет направление роста, регулируя скорость роста и длину клеток по обе стороны стебелька. Только здесь клетки верхней части растут медленнее и бывают короче, чем той части стебля, что лежит на земле.

Регуляция роста достаточно сложна. Важное звено в иерархии регуляторных процессов принадлежит особой регуляторной системе, в которую входят растительные гормоны (фитогормоны) и другие регуляторные молекулы, одни из них ускоряют, другие замедляют рост растений.

Несмотря на то, что действие регуляторов (природных и синтетических, созданных в лаборатории) активно изучается уже несколько десятков лет, многое в их действии остается для нас таинственным, как и сам процесс роста.

Распределение обязанностей

В питании растений важнейшую роль играют листья и корни, стеблевая часть ответственна за двусторонний транспорт веществ. От корней в надземную часть поступают вода, минеральные соли и вещества, синтезированные в корнях. От листьев перемещаются в корни, растущую часть стебля, и, конечно, к цветкам, зарождающимся и созревающим плодам и семенам, созданные в листьях органические вещества, по большей части сахара.

Зелёные клетки стебля тоже способны к синтезу, но их доля в общем количестве органических молекул, образованных при фотосинтезе, незначительна.

Распределены обязанности и в клеточных структурах. Как уже говори-

лось, каждая клетка окружена плотной жёсткой оболочкой. Она очень прочная, содержит много молекул целлюлозы (клетчатки) и служит своеобразным скелетом клетки, придает ей форму и защищает от повреждений. Такой клеточной оболочкой у клеток животных нет. Но у клеток растений есть и другая оболочка, она находится сразу же под клеточной оболочкой. Такие оболочки есть у клеток всех организмов, их называют *мембрана*. Мембрану, окружающую клетку растений зовут *плазмалеммой*.

Мембраны построены в основном из белков и липидов, не содержат клетчатки. Они очень подвижны и «отвечают» за избирательную проницаемость: легко пропускают только воду и необходимые клетке ионы и молекулы. Оболочка органоидов клетки – мембрана.

Главное в клетке растений, как и в нашей клетке – *ядро*, плавающие в нём хромосомы. В промежутке между делениями клетки, хромосомы, как мы уже знаем, не видны. Под электронным микроскопом мы видим лишь «глыбки» окрашенного вещества – хроматина. Это и есть хромосомы, только принявшие иную форму.

Хромосомы состоят из главных молекул всех живых существ – дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) и особых ядерных белков. ДНК образована двумя тонкими, очень длинными, неразветвлёнными цепочками нуклеотидов, соединёнными между собой. Они свернуты в спираль и более сложную структуру и окружены ядерными белками.

У каждого организма своя, особая молекула ДНК (рис. 7, А). Она передается по наследству и определяет наследственные свойства организма. В каждой молекуле ДНК закодирована информация о жизнедеятельности всего организма. Содержится она в особых участках молекулы (их называют *гены*). Но в клетке «работают» не все гены, а только те, которые нужны этой клетке в данный момент. Остальные гены «спят».

В промежутке между делениями клетки, каждая молекула ДНК с одного конца понемногу «расплетается», каждая нить достраивает недостающую поло-

вину (рис. 7, Б). Так образуются из одной – две молекулы ДНК, они окружаются своими, ядерными белками – получаются две хромосомы. При делении клетки хромосомы расходятся к противоположным сторонам, из них в новых клетках формируются новые ядра.

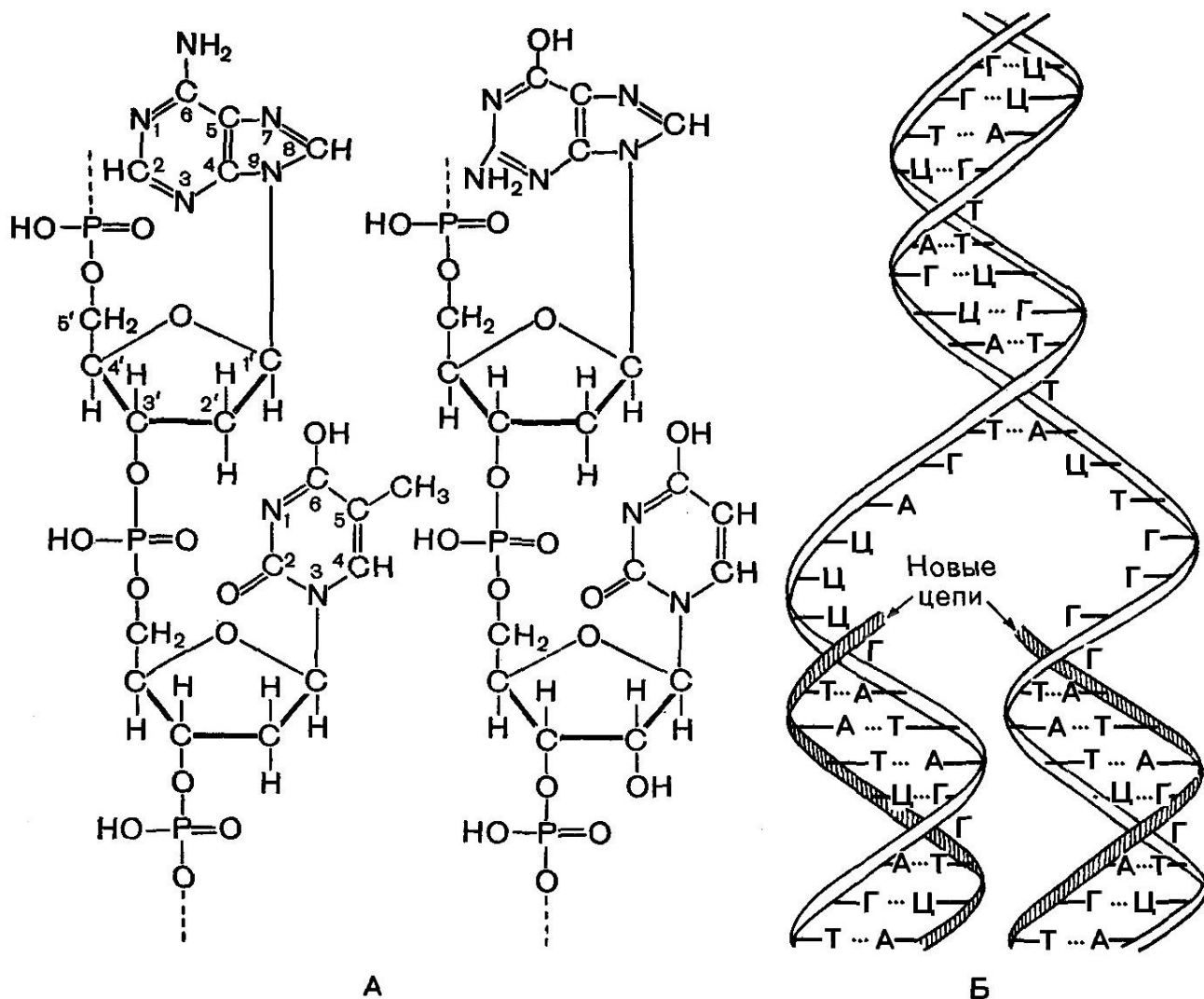


Рис. 7. Структура и репликация (удвоение) ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота). А – часть полинуклеотидной цепи молекулы ДНК; Б – репликация ДНК: А – аденин, Г – гуанин, Ц – цитозин, Т – тимин

Ядро окружено двумя слоями мембран, имеющих подвижные поры: они могут закрываться и возникать. Внутренняя мембрана – гладкая, а наружная – с длинными, червеобразными выростами. Есть мнение, что это они образуют *эндоплазматическую сеть*. Сеть объединяет ядро с остальной частью клетки.

Когда клетке становится нужен какой-то фермент, из протопласта через ядерные поры или по каналам эндоплазматической сети в ядро поступает сиг-

нал. И включается аппарат белкового синтеза.

Начинается он с того, что на нужном участке ДНК синтезируется рибонуклеиновая кислота (РНК) и выходит из ядра в протопласт. Её называют *информационной*, потому что она содержит информацию о строении белка, а еще – *матричной* (мРНК) – поскольку служит матрицей для его синтеза. РНК состоит из одной цепочки нуклеотидов.

В синтезе белка участвуют *рибосомы* – нуклеопротеидные частицы, – органоиды, лишённые мембран, и *транспортные* РНК. Объединённые в группы рибосомы (*полисомы*) соединяются с мРНК и прикрепляются к мембране эндоплазматической сети (образуя «шероховатые» участки). Информация в мРНК всё ещё закодирована.

Белки состоят из аминокислот. Для каждой аминокислоты существует свой код. Специальные – *транспортные* – молекулы РНК находят в клетке каждая свою аминокислоту, подвозят её к закодированным участкам мРНК на рибосомах, соответствующим своему коду. Затем прикрепляют свою аминокислоту к мРНК и предыдущей аминокислоте. Так аминокислоты выстраиваются в цепочку. Когда набраны все нужные аминокислоты, синтез белка закончен. Цепочка аминокислот отделяется от мРНК и сворачивается, принимает соответствующую форму белка.

Примечательно, что из большого разнообразия аминокислот в состав белков входят лишь двадцать, их называют *протеиногенными* – рождающими протеины – белки. В разные белки входят не все двадцать, меньше, но другие аминокислоты в белках не обнаружены. Важно, что *восемь из протеиногенных аминокислот способны синтезировать лишь растения*. В клетках животных эти аминокислоты не создаются, но они нужны всем организмам. Их и называют *незаменимыми*, это – *лизин, метионин, треонин, лейцин, изолейцин, валин*, а также гетероциклическая аминокислота *триптофан* и содержащая ароматическую группу – *фенилаланин*.

Животные (и мы с вами) получают незаменимые аминокислоты с растительной пищей.

К главным органоидам клетки растений относятся *пластиды* и *митохондрии*. В митохондриях и хлоропластах есть своя ДНК, свернутая в кольцо (циклическая форма), она не содержит белков.

Митохондрии участвуют в выработке химической энергии при дыхании. Потому их зовут *силовыми станциями клетки*. Эти органоиды есть и у животных и у человека.

Пластиды могут быть бесцветными или окрашенными – жёлтыми, оранжевыми, красными, тогда их называют *хромoplastы*. Главные пластиды растительной клетки – зелёные, *хлоропласты*. В них происходит фотосинтез – воздушное питание растений, об этом будем говорить позже.

Важную роль в клетках растений играют *диктиосомы*. Их очень много – в одной клетке может быть до двадцати тысяч. Диктиосомы – диски (сплюснутые мешочки), по краям дисков – трубочки. На концах трубочек образуются пузырьки (*везикулы*). Несколько дисков, сложенных стопками, образуют *аппарат Гольджи* – секреторный орган клетки, в нём вырабатываются секреты.

В зависимости от потребности клетки это могут быть вещества, необходимые для образования клеточной пластинки (при делении клетки), клеточной оболочки, вакуоли: различные полисахариды, эфиры... В клетках корневого чехлика аппарат Гольджи вырабатывает слизи, они предохраняют чехлик от повреждений.

Секреты в пузырьках направляются туда, где они нужны. Двигается в ту же сторону и сам аппарат Гольджи. Перемещаются они с помощью особых клеточных частиц – *микротрубочек*. Микротрубочки состоят из белковых молекул – глобул, соединённых в тяжи. Тринадцать тяжей скручиваются спиралью – образуют трубочку. Благодаря такому строению микротрубочки способны к волнообразному или колебательному движению, и служат в клетке транспортным средством.

С микротрубочками связаны белки, подобные мышечным белкам животных – *актинам*. Считается, что эти сократительные белки участвуют в передвижении веществ внутри клетки и между клетками.

Ждет исследователей, а пока остаётся без ответа вопрос: кто и как командует синтезом веществ в аппарате Гольджи и направлением движения микротрубочек.

В протопласте содержатся и другие важные структуры: *пероксисомы, глиоксисомы, сферосомы, лизосомы...* (рис. 8). Все они выполняют присущие им функции, но все работают согласованно, взаимодействуя между собой, иначе растения не были бы живыми.

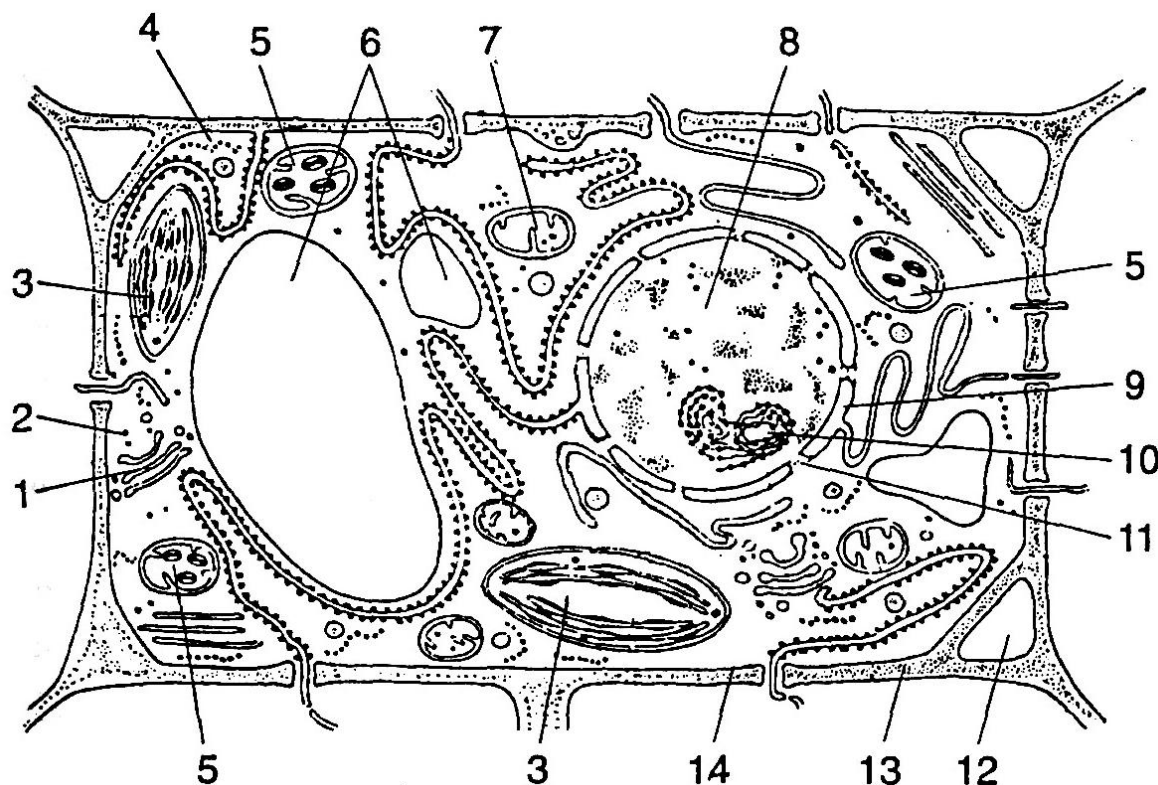


Рис. 8. Строение растительной клетки (схема): 1 – аппарат Гольджи – секреторный орган клетки, 2 – свободно расположенные рибосомы; 3 – хлоропласты; 4 – полирибосомы; 5 – пластиды; 6 – вакуоли, 7 – митохондрии; 8 – ядро; 9 – ядерная оболочка, переходящая в эндоплазматическую сеть; 10 – ядрышко; 11 – поры в ядерной оболочке; 12 – межклеточные пространства; 13 – клеточная оболочка; 14 – плазматическая мембрана

От зарождения до угасания

Как и любое другое существо, не исключая человека, растение проходит периоды детства, юности, зрелости и старения. Это называют *онтогенезом*.

У высших растений первые три периода (этапа) выражены достаточно чётко. Учёные называют период от начала зарождения – слияния половых кле-

ток, до окончания формирования семени (эмбриона) – *эмбриональным* периодом. Второй этап – от начала прорастания до образования первых бутонов – *ювенильным* периодом, или юношеским. Период плодоношения – *зрелостью, размножением*.

Переход к завершающему периоду жизни – *старению*, у растения, как и у человека, выражен не всегда достаточно чётко. Кроме того, у многолетних растений – деревьев и кустарников, периоды старения ежегодно прерываются частичным омоложением. Они испытывают его каждую весну, но омоложение постепенно, год от года, снижается.

Длительность каждого периода у разных растений различна, различны сроки созревания семян, неодинаково время юношества: от нескольких недель до десятилетий. Чем дольше естественный срок жизни, тем дольше юношеский период, также как пора зрелости и угасания.

Сколько лет живет растение

Продолжительность жизни различна: есть растения однолетние, двулетние и многолетние. Однолетние, это те, что в течение одного сезона растут и дают семена. Огурцы, томаты, арбузы относятся к однолетним растениям.

Двулетние (капуста кочанная, морковь, свёкла, петрушка) дают семена на второй год жизни, а в первый год образуют только кочан, корнеплод.

Многолетние растения: деревья, кустарники, многолетние травы растут много лет, потому так и называются.

По тому, сколько раз за свою жизнь растения могут плодоносить, их разделяют на *монокарпические* и *поликарпические*. Однолетники и двулетники относятся к монокарпическим растениям, многолетники – к поликарпическим: достигнув зрелости они плодоносят много раз.

Но среди многолетников есть и монокарпические растения, например, агавы и некоторые бамбуки (рис. 9). Они образуют семена только один раз в жизни, хотя растут много лет. После цветения монокарпические растения отмирают.



Рис. 9. Агава – многолетнее, монокарпическое растение



Рис. 10. Секвойя



Рис. 11. Баобаб

У многолетних растений срок жизни неодинаков. Дольше всех живут деревья. В Америке известны самые большие долгожители Земли – секвойи (рис. 10). Их называют еще мамонтовыми деревьями. И не только за продолжительность жизни (примерно 3-5 тысяч лет), но и за их размеры. Это, пожалуй, самые высокие и толстые деревья. На пне старого дерева устраивали маленькие танцевальные площадки, а в дупле – гараж для машины. В Африке по массивности и длительности жизни подобны американской секвойе – баобабы (рис. 11).

У нас самым большим долгожителем считается дуб: около тысячи лет. Известны и более старые дубы (рис. 12), долго живёт липа (рис. 13).



Рис. 12. Дуб

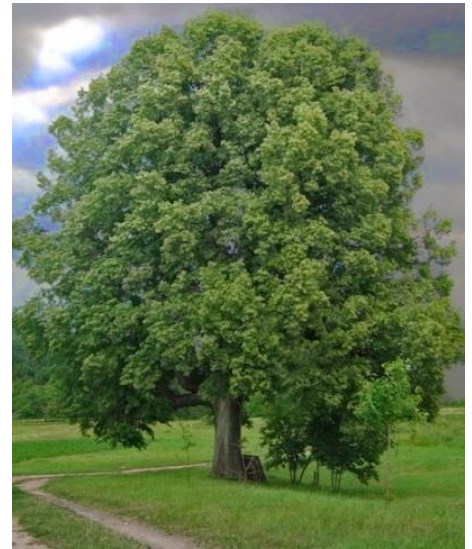


Рис. 13. Липа

Точно определить срок жизни многих деревьев довольно трудно. Считается, что тополь не живёт очень долго. Но на берегу Куры около древней столицы Грузии – пещерного города Уплисцихе прекрасно растут два серебристых тополя, которым по преданию более семисот лет. Шли века, войны, менялась столица, от пещерного города остались развалины. А два близко стоящих друг к другу могучих дерева зеленеют, и ствол каждого из них не охватить и двум мужчинам, взявшимся за руки.

БЕСЕДА ВТОРАЯ

ПЕРВЫЙ ЭТАП ЖИЗНИ РАСТЕНИЯ – ЭМБРИОНАЛЬНЫЙ

Первый этап жизни растения – эмбриональный. Но поскольку зарождение эмбриона и его развитие происходят в цветке, с него мы и начнем.

Цветок

Цветок – важнейшая часть растений, о которых мы ведём беседы. Цветки бывают у растений, которые называют *цветковыми* и еще – *покрытосеменными*.

Это самая большая группа растений, в ней около 250 тысяч видов, что

значительно больше, чем у всех остальных групп высших растений, вместе взятых. Она и самая важная для человека. Все важнейшие культурные растения: хлебные злаки, почти все овощи, плодовые деревья – растения цветковые. Цветковые растения вездесущи, они растут в тундре и тропиках, на болотах и в пустынях, высоко в горах и на морских побережьях.

Цветок – символ красоты, приносящий нам радость и утешение. Но увядший, он не привлекает взгляда. А яблоневый или вишневый сад после опадания лепестков кажется грустным и скучноватым.

Только как раз в эти дни начинается великое таинство Природы: зарождается новая жизнь. И растение все свои силы станет отдавать будущему потомству. В этом высокий, удивительный смысл жизни, которому подчиняется всё живое.

Вспомним, что мы знаем о строении цветка. Чашелистики закрывают бутон, берегут его от повреждений и, зелёные, помогают кормить. У некоторых цветков, например, у тюльпана, чашелистиков нет, их роль до раскрытия бутона выполняют лепестки.

Самое главное в цветке – пестик и тычинки, содержащие пыльцу: женское и мужское начала. Когда они созреют, будут готовы к зарождению новой жизни, бутон раскроется. Яркие лепестки и аромат привлекут насекомых. Питаясь нектаром – сладким пахучим соком, и пыльцой, пчёлы и множество других насекомых, захватят на брюшке и лапках созревшую пыльцу и перенесут её на другой цветок, другие растения. Поможет в этом и ветер.

Цветок часто находится на цветоножке, но не всегда. Бывают цветки, сидящие прямо на стебле (их называют *сидячими*).

Венчик крепится на *цветоложе*, в его середине находится пестик, окружённый тычинками. Количество тычинок почти всегда больше, чем пестиков, чаще всего пестик один, а тычинок может быть и несколько десятков (рис. 14).

Тычинка состоит из *тычиночной нити* и *пыльника*, в нём созревают *пыльцевые зёрна* (пыльца), содержащие мужские половые гаметы.

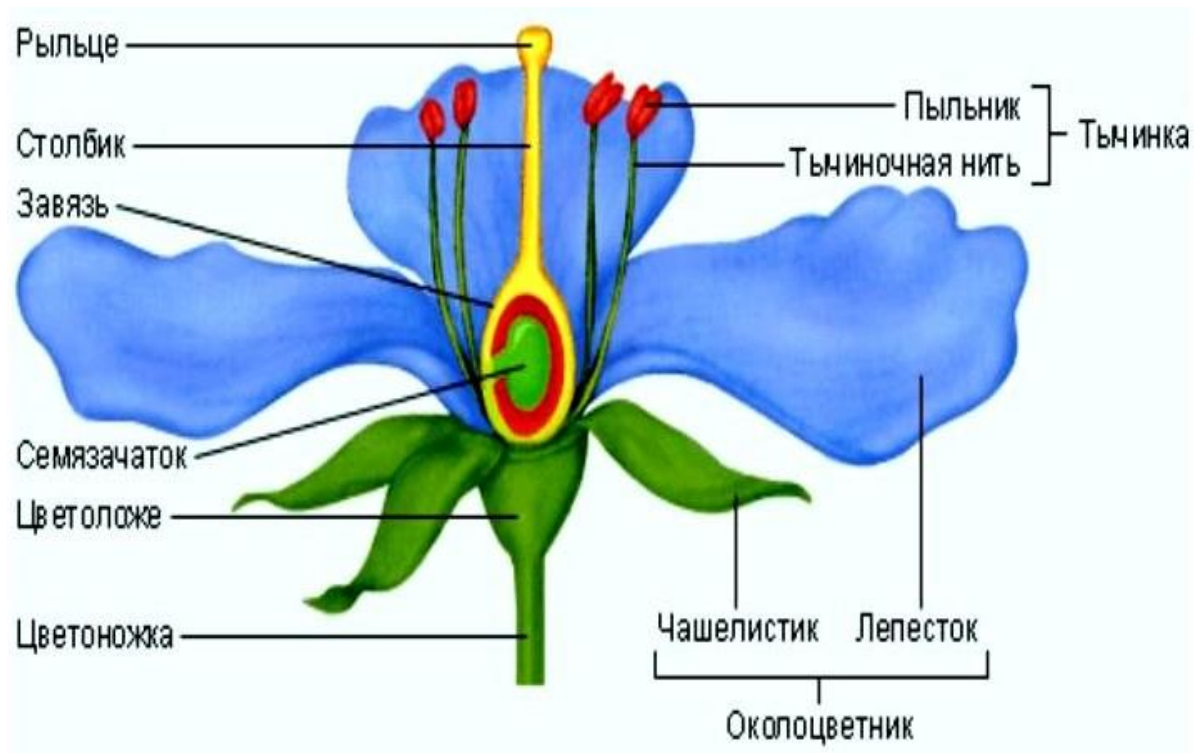


Рис. 14. Строение цветка

В зрелом пестике есть основание – *завязь*, в ней находится *зародышевый мешок* и есть *рыльце*, куда попадают пыльцевые зёрна. Когда зародышевый мешок разрастется достаточно, чтобы в нём мог развиваться зародыш, пестик вытягивается, образуя *столбик*. Вершина столбика – рыльце становится липким, чтобы на нём задерживались пыльцевые зёрна.

В таком состоянии готовности к опылению пестик находится недолго. Если за это время опыления не произойдет, пестик отмирает, засохший цветок опадает: растение не тратит на него силы.

У большинства растений цветок имеет и пестик и тычинки, такие цветки называются *обоеполыми*. Но есть растения с цветками без тычинок или без пестиков. Растения только с пестиками, без тычинок, называются *женскими*, а без пестиков, только с тычинками – *мужскими*. Если мужские и женские цветки находятся на одном и том же растении, их называют *однодомными* и *раздельнополыми*, *однополыми*. Например, огурцы, кукуруза, грецкий орех.

А у ивы, осины, конопли, тополя и некоторых других, женские и мужские цветки бывают на разных растениях. Это *двудомные, однополые* растения.

Конечно, у двуполых растений вопрос о том, быть цветку мужскому или женскому, зависит, прежде всего, от генетической регуляции, но пол может, в разных условиях, меняться. Например, у двудомных растений очень хорошее азотное питание увеличивает количество женских, а калийное – мужских растений. Сухая и холодная погода вызывает стерильность пыльцы, делает её бесплодной, но помогает появлению женских цветков. А высокая температура увеличивает образование цветков мужских.

На пол растений влияет и качество света: коротковолновые лучи образование женских цветков увеличивают, а длинноволновые – уменьшают.

Корни хорошо влияют на образование женских растений, листья – увеличивают число мужских. Удаление листьев приводит к усилению женского начала. Потому частая и сильная обрезка тополей вызывает перерождение мужских растений, превращение их в женские.

Такие изменения пола происходят потому, что в регуляции пола участвует не только генетическая, но и гормональная система. Такой гормон, как цитокинин, создающийся в корнях, усиливает образование женских цветков и растений. Также, лишь несколько слабее, действует и другой растительный гормон – гетероауксин. А гиббереллин, синтезируемый листьями, увеличивает количество мужских цветков и растений.

Влияние гормонов на пол растений известно некоторым огородникам. Если замочить перед посевом семена огурцов и других тыквенных растений в растворе гетероауксина, количество женских цветков увеличится. Ещё лучше опрыскнуть раствором гетероауксина (20 мг на литр воды) третий – четвертый развернувшийся лист у молодых растений.

Опыление

Так бывает и у человека

Растения, которые опыляются пылью с другого цветка, называют *перекрёстноопыляющимися*. *Самоопыляющиеся* – это те, у которых пыльца опыляет пестик своего же цветка, что бывает значительно реже.

Для хорошей наследственности вредны близкородственные браки, поэтому перекрёстное опыление полезно и Природа об этом позаботилась. У подавляющего большинства растений происходит перекрёстное опыление. Существует множество приспособлений для ограничения самоопыления и даже его предотвращения. Таким приспособлением служит, прежде всего, *двудомность* и *раздельноплодность*.

Есть приспособление к перекрёстному опылению и у обоеполых цветков. Среди них известны переходные формы с разными цветками: двуполыми и женскими. Как правило, женские цветки бывают меньших размеров, чем обоеполые. Присмотритесь к цветкам гвоздики разноцветной, шалфея цветного и увидите разницу.

Мешает самоопылению у некоторых растений так называемая *несовместимость*. У большинства растений она объясняется тем, что пыльцевые зёрна не прорастают на рыльцах своего цветка.

Основа такой несовместимости – особые белки, содержащие углеводы (гликопротеины). Когда пыльцевое зерно попадает на рыльце пестика, из его оболочки начинают выделяться эти, содержащиеся в нём белки. А из рыльца столбика выделяются свои белки, подавляющие рост несовместимой пыльцы.

Такие же белки мешают прорасти пыльце другого вида растений. Подобная несовместимость и у человека при пересадке тканей. Её тоже объясняют в основном наличием в клеточных оболочках – мембранах – гликопротеинов.

У обоеполых цветков мешают самоопылению и разные сроки созревания

на одном цветке пестиков и тычинок. У одних растений раньше созревают пестики, а у других – тычинки. Но в этом случае самоопыление всё же может произойти в конце цветения, если дождливая и холодная погода перекрёстному опылению помешают.

В значительных количествах самоопыление бывает у однолетних видов с короткой продолжительностью жизни, и у растений, растущих на сухих и бедных почвах. Следовательно, когда перекрёстное опыление затруднено или невозможно.

Очень редко бывает самоопыление перед раскрытием цветка, в бутонах, чаще всего в плохих условиях среды. Они для разных растений неодинаковы: для одних – холодная погода, для других – очень жаркая. Интересно, что самоопыляющиеся цветки в бутонах отличаются от обычных, они мельче и часто с недоразвитыми лепестками. Такие цветки бывают у кислицы, фиалки удивительной.

Наверное, все знают эту фиалку благодаря чудесному аромату её весенних цветков. В пору их появления насекомых бывает немного и только некоторые цветки завяжут семена. Фиалка должна бы давно вымереть из-за малого возобновления, но у неё выработалось особое приспособление. После весеннего цветения, уже летом, когда под густым пологом леса насекомых ещё меньше, чем весной, на верхушке стебля появляются мелкие, зелёные, закрытые цветки, внутри которых и происходит оплодотворение. Поэтому такие цветки называют *клеистогамными*, иначе – тайнобрачными, а опыление – *клеистогамным*.

Нельзя не сказать о совершенно особом случае самоопыления арахиса. У него бобы образуются в почве и с самого начала развиваются под землей, в подземных, самоопыляющихся цветках. Но у арахиса есть и другие, надземные цветки, они растут около поверхности земли. После опыления их завязи врастают в почву на глубину до 8 см благодаря росту ножки, на которой сидит завязь.

Плоды арахиса потому и зовут «земляными орехами».

Насекомые

Большинство цветков опыляются с помощью насекомых. И разнообразие цветков в какой-то мере связано с разнообразием насекомых.

Внешний вид цветков во многом зависит от окраски и строения лепестков, образующих венчик. Венчик может состоять из отдельных лепестков, как у вишни, лютика (*раздельнолепестным*). Но может быть и сросшимся, как у душистого табака, примулы. Венчик таких цветков называется *сростнолепестным*. У губоцветных сросшаяся нижняя часть лепестков образует трубку. Такой венчик затрудняет опыление. Для этих цветков нужны насекомые с длинным хоботком, чтобы проникнуть глубоко в трубку цветка. Поэтому так трудно опыляется люцерна, её сравнительно мелкие трубчатые цветки способны опылять практически только шмели. Семеноводство люцерны находится в большой зависимости от наличия этих насекомых.

Более разнообразны по форме цветки со сростнолепестным венчиком. Но разнообразие определяет и расположение цветков. Крупные цветки чаще одиночные, хотя могут располагаться близко друг к другу. Цветки мелкие собраны в группы, – *соцветия*, так они больше привлекают насекомых.

Соцветия бывают разной формы (рис. 15). У черёмухи соцветие называется *кисть*, у вишни – *простой зонтик*. А если такие простые зонтики объединяются, получается *сложный зонтик*, так у моркови. У проса соцветие называют *метёлка*.

Когда очень мелкие сидячие цветки без цветоножки располагаются на одном широком ложе соцветия, это *корзинка*. Такое соцветие у растений семейства сложноцветных – астр, одуванчика, подсолнечника. Роль общей чашечки здесь играют зелёные листья по краям корзинки, они называются *обвёрткой*.

Иначе располагаются сидячие цветки у подорожника, образуя *простой колос*. *Сложный колос* отличается от простого тем, что на общей оси сидят несколько колосков. Сложный колос у пшеницы. Похожее на простой колос соцветие у женских цветков кукурузы, но здесь ось соцветия толстая, мясистая. Такое соцветие называется *початок*.

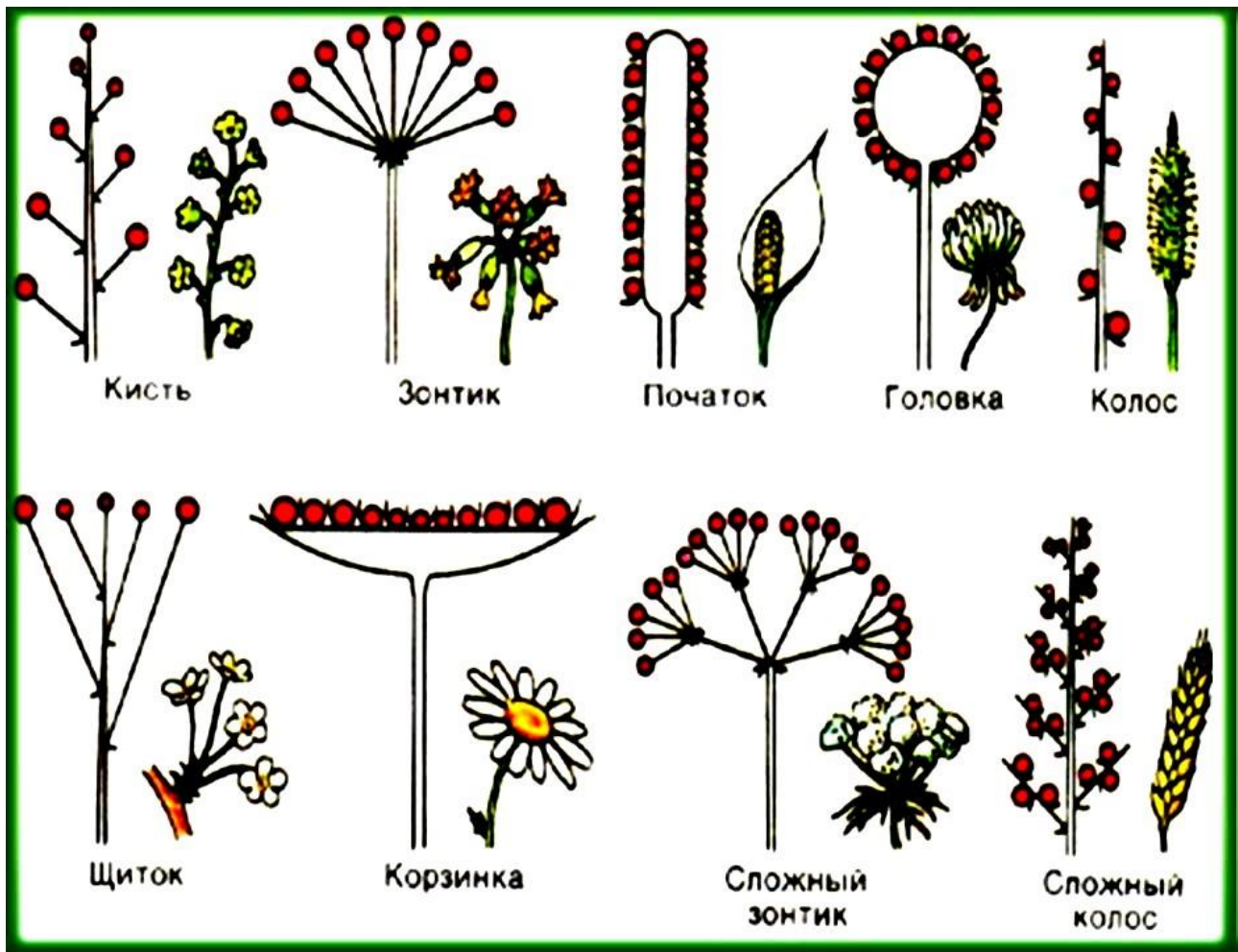


Рис. 15. Формы соцветий

Окраска лепестков представляет полную цветовую гамму, от длинноволновых красных лучей, до ультрафиолетовых. Их не замечает глаз человека, но прекрасно видят пчёлы.

Цвет лепестков зависит от содержания антоцианов, каротиноидов, флавонов и других пигментов. Большинство расцветок определяют антоцианы. Причём они вызывают в кислом растворе красную окраску, слабощелочном – синюю, а в нейтральном – фиолетовую.

Красный ободок в середине цветка нарцисса – от кристаллов каротина, а желтизна лепестков лютика, подсолнечника, зверобоя, донника и других зависит от каротиноидов, растворённых в клеточном соке. У анютиных глазок и наперстянки жёлтый цвет зависит от флавонов. Коричневый пигмент антофеин вызывает чёрные пятна на лепестках конских бобов. Невидимая нам ультрафи-

олетовая окраска, привлекающая пчёл, есть у многих растений. И только белая зависит не от содержания какого-то пигмента, а от очень рыхлого строения лепестков: множества межклетников, заполненных воздухом.

Цветки часто бывают пёстрыми, с различным рисунком. Пожалуй, самая разнообразная палитра у цветков ириса, их так и зовут – цветы радуги (рис. 16).



Рис. 16. Цветки ириса – цветы радуги

Главное назначение окраски – привлечение насекомых. Насекомые различают некоторые цвета лучше человека, при этом интересно, что разные насекомые предпочитают различные цвета. Так, бабочки-белянки летят на красное, жёлтое и сине-фиолетовое. Пчёлы не видят красный цвет, цветки тюльпана, мака они определяют по их сильному ультрафиолетовому свечению.

Цветочные мухи предпочитают яркую жёлтую, синюю и фиолетовую расцветку. Ночные бабочки летят на светлоокрашенные лепестки, ночью легче заметить белый цвет. Но такая ночная бабочка как бражник вьюнковый, отличает фиолетовую и тёмно-пурпуровую краску от тёмно-серой, когда в темноте мы уже это сделать не сможем.

Окраска цветков в разных частях Земли не всегда распространена одинаково. Везде очень мало (4 %) синих цветков, жёлтых много в пустынях и приполярных странах (32-33 %). В приполярных странах и на высокогорьях много растений с белыми цветками (38-40 %), а в Средней Европе их только около 23 %. В тропиках преобладают яркие оранжевые и красные цветки...

Возможно, окраска цветков не всегда связана с привлечением насекомых. Некоторые учёные считают, что их пигменты участвуют в поглощении солнечного света.

На цветной наряд некоторых растений влияют условия минерального питания: усиливается яркость анютиных глазок при внесении в почву микроудобрений, становятся голубыми обычно розовые цветки гортензии, особенно реагирующие на добавление цинка.

Привлечению насекомых служат и *запахи* цветов. Считается, что цвет лепестков издали виден насекомому. Но, подлетая к цветку, насекомое по его запаху решает, посетить цветок или отправиться к другому.

Запах необходим для привлечения насекомых, поэтому ветроопыляемые и опыляемые птицами цветы (есть и такие в тропических странах), почти не пахнут. В тропиках помогают опылению и летучие лисицы – разновидность летучих мышей.

Аромат цветков очень разнообразен, различают примерно 500 различных запахов. Мы знаем радующие нас запахи розы, ландыша... Но есть цветы с сильным, крайне неприятным запахом гниющей рыбы, мяса. В тропических лесах лежат на земле очень крупные, до метра в поперечнике, цветки паразитных раффлезий. Запах и цвет их похожи на разлагающееся мясо, поэтому они привлекают множество насекомых, питающихся мёртвыми животными. Неприятные запахи у южноафриканских стапелий, многих видов кирказонов.

Вы заметили – цветки душистого табака, маттиолы, опыляемые ночными насекомыми, днём почти не пахнут и кажутся завядшими? К вечеру их венчики распрямляются, поглощая воду, и сильный аромат разносится далеко вокруг,

особенно в тёплую погоду. Гораздо слабее запахи цветов, когда очень сухо и холодно, тогда и насекомых летает меньше.

Пахнет нектар, он выделяется нектарниками: некоторые цветки имеют специальные желёзки у основания лепестков. Пахнут лепестки, но могут быть ароматными и тычинки. У пахучих лепестков запахи часто сосредоточены на окрашенных частях – пятнах (у конского каштана, настурции, фиалки...).

Ароматная сладкая жидкость – нектар выделяется цветком активно, но не постоянно, а с некоторыми перерывами – *пульсирует*. Вы можете это заметить, если будете вдыхать в себя несколько минут аромат любого цветка. Вскоре запах исчезнет, но через некоторое время появится вновь.

Учёные такое выделение нектара называют *секрецией*, а нектар – *секретом*. В нём содержатся не только сахара и ароматические вещества, но также органические кислоты, аминокислоты, белки, растительные гормоны и другие вещества. Выделение нектара схоже с выделением (секрецией) в кровь продуктов, которые вырабатываются в клетках желёз животных и человека. И тоже требует энергетических затрат.

Запахи цветов чаще всего зависят от содержащихся в нектаре эфирных масел, смеси различных веществ. У розы запах вызывается первичными спиртами – гераниолом и другими, запах гиацинта – коричневым спиртом. У цветков боярышника, барбариса, рябины запахи в основном обусловлены содержанием различных аминов.

Насекомых в цветках привлекает не только нектар, для многих из них главная пища – пыльца. Пыльца богата белками, жирами, углеводами, минеральными элементами, витаминами. У некоторых растений пыльца тоже привлекает насекомых своеобразным ароматом.

Ветер

Среди перекрёстноопыляемых растений есть такие, что опыляются при помощи ветра. Опыление ветром у цветковых возникло как приспособление к

условиям, где для опыления недостаточно насекомых. Обычно в больших сообществах. У злаков в степи, на лугу, у осоки и пушицы на болотах, в тундре, у лесных пород (берёза, ольха, дуб и некоторые другие). Чаще это растения однодольные, у двудольных ветроопыляемых видов всего около 5 %.

Для лучшего опыления ветром возникли ряд приспособлений. Чтобы листья не мешали полету пыльцы, соцветия трав поднимаются высоко над листьями. А у деревьев цветки расположены на концах ветвей и раскрываются до появления листвы.

У деревьев, цветущих летом, распусившиеся листья будут мешать полету пыльцы. Такие цветки опыляются насекомыми, потому содержат много ароматного нектара. Мёд, собранный пчёлами с цветков липы, считается одним из лучших и ароматных.

Ветроопыляемым растениям не нужны нектар, запах, яркая окраска лепестков. Потому их мелкие цветки невзрачны, но собраны в соцветия (*серёжки, метёлки, колос*), а тычинки и пестики далеко выступают за остатки околоцветника.

Хорошо приспособлена для переноса ветром и пыльца. Она содержит много крахмала, но оболочка сухая и потому не слипается, хорошо рассеивается. Хотя далеко не улетает, оседает поблизости. Это необходимо, ведь срок жизни пыльцы, разносимой ветром, очень мал – даже до нескольких минут. (Из-за лёгкой тонкой оболочки пыльца ветроопыляемых растений быстро высыхает).

Есть и другие приспособления. Чтобы пыльца могла легче найти свой цветок, у каждого вида злаков есть свои сроки цветения в течение суток. Есть ночные, утренние, околополуденные, послеполуденные, вечерние, цветущие утром и вечером и в течение суток.

Дольше живет пыльца растений, зацветающих утром, а также в прохладную и пасмурную погоду – несколько часов. У тех злаков, что цветут после полудня, из-за высокой температуры и сухости воздуха, пылинки живут не дольше пяти минут. Но пыльца у них выделяется не постоянно, а порциями. Причем у

всех растений одновременно пыльники как бы «взрываются», рассеивая пыльцу в течение 3-5 минут. Через некоторое время (от 30 минут до 3 часов) взрывы повторяются ещё один-два раза, также сразу у всех растений на участке. Считается, что такие взрывы вызывает понижение температуры воздуха на 1-2 градуса. Так цветут пырей, житняки, ячмень и некоторые другие злаки.

Рыльца у ветроопыляемых растений живут дольше, они могут принимать пыльцу несколько суток.

И, наконец, вода

У некоторых водных растений, например, роголистника, пыльца переносится с водой. Их цветки хорошо приспособлены для такого опыления, они распускаются в воде, не выступая над её поверхностью. Пыльцевые зёрна у таких растений лёгкие. Кроме того, они сразу же прорастают и в виде нитей легко перемещаются по воде.

На поверхности воды опыляется элодея, а также валлиснерия – двудомное растение. Мелкие мужские цветки валлиснерии свободно плавают на листочках околотцветника, случайно касаясь рыльца женских цветков. Но бывает такая встреча очень редко. Потому эти растения размножаются главным образом вегетативным путем.

Начало начал – опыление и оплодотворение

Альфа и омега. Начало и окончание. Жизнь отдельного существа начинается со слияния двух клеток – мужской и женской. Но у однолетних растений вместе с рождением новой жизни уходит жизнь собственная. После созревания семян они отмирают даже при вполне благоприятных условиях.

Жизнь таких монокарпических растений можно продлить, если удалять увядающие цветки: тогда растение будет создавать новые. Передача жизни по наследству – очень сильный инстинкт (если можно это слово применить здесь) всех живых существ, не исключая и растений. Цветоводы используют этот приём и долго сохраняют свои клумбы цветущими, удаляя завядающие цветки.

Когда пыльцевые зёрна созреют, тычиночная нить очень быстро, почти на глазах, вытягивается. Пыльники легко покачиваются на ней, готовые отдать ветру или насекомым свою пыльцу.

Попав на рыльце пестика, пыльцевое зерно начинает быстро набирать воду, разбухать, выделять белки-ферменты, гормоны и другие молекулы, прорасти.

При прорастании клетка пыльцы вытягивается, образуя *пыльцевую трубку*, проходящую сквозь столбик пестика. Рост пыльцевой трубки у разных растений длится разное время – от 15-30 минут до нескольких месяцев, как у дуба.

Такое проросшее зерно-клетка покрыто двойной оболочкой. А когда дорастает до зародышевого мешка, содержит в себе уже три особые клетки. Каждая из них окружена только мембраной (поэтому их часто называют «голыми»). Две клетки содержат *спермии*, это мужские половые гаметы. Третья клетка, самая большая – *вегетативная*.

Достигнув зародышевого мешка, окончание пыльцевой трубки разрывается и всё, что в ней содержится, попадает в зародышевый мешок.

Внутри зародышевого мешка, в его полости, тоже есть такие «голые» клетки – женские половые гаметы. Отсутствие жёсткой клеточной оболочки позволяет им объединяться – сливаться с мужскими гаметами из пыльцевой трубки. Один из спермиев объединяется с яйцеклеткой и образуется *зигота*, из неё будет развиваться зародыш. Второй спермий сливается с другой клеткой. Самая большая, она находится в центре зародышевого мешка. Из этих слившихся клеток будет формироваться *эндосперм* (рис. 17).

Объединение женской и мужской гамет называется *оплодотворением*, а, поскольку один спермий сливается с яйцеклеткой, а второй – с центральной клеткой зародышевого мешка, этот процесс называют *двойным оплодотворением*. Его обнаружил русский учёный С. Г. Навашин в 1898 году.

Семязачатки образуются внутри завязи пестика и сформировавшиеся из них семена всегда скрыты внутри плода, поэтому цветковые растения называют также *покрытосеменными*.

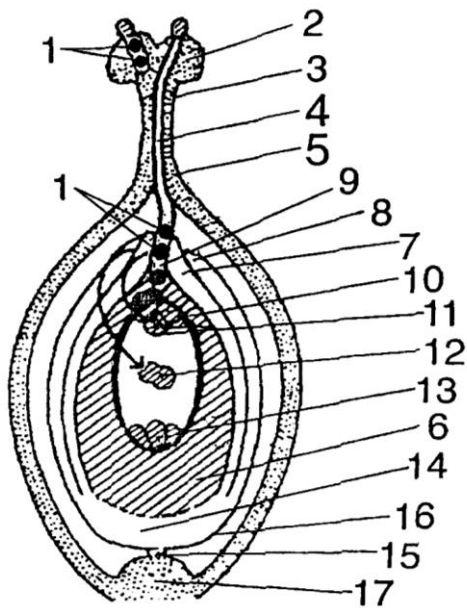


Рис. 17. Строение семяпочки и оплодотворение. Пыльца с генеративной и вегетативной клетками (1) попадает на рыльце пестика (2) и прорастает внутри столбика пестика (3), образуя пыльцевую трубку (4). Семяпочка покрытосеменных растений (16) расположена в полости завязи (оболочка завязи – 5) и состоит из ядра семяпочки – нуцеллуса (6) и окружающих его покровов – интегументов: внутреннего (7) и наружного (8). Края интегументов образуют узкий канал – микропиле (9), через него пыльцевая трубка попадает в зародышевый мешок (10).

В зародышевом мешке пыльцевая трубка разрывается и две мужские клетки, содержащие спермии, сливаются с двумя клетками зародышевого мешка (женскими половыми гаметами), потому и говорят о «двойном оплодотворении». Один из спермиев объединяется с яйцеклеткой (11) (по бокам у нее две клетки, называемые «синергидами») и образуется зигота, из нее будет формироваться зародыш. Второй спермий сливается с центральной клеткой (12), из них формируется эндосперм. Внизу зародышевого мешка расположены три клетки – «антиподы» (13). В нижней части семяпочки находится халаза (14), здесь образуют единую структуру нуцеллус, интегументы и фуникулюс – семяножка (15), которая соединяет семяпочку с плацентой (17)

Как только пыльцевое зерно попало на рыльце «своего» пестика, в завязи уже изменяются биохимические процессы. Начинается подготовка к разрастанию плода, образуются фитогормоны, необходимые для роста семян, стенок завязи.

Считается, что когда пыльца попадает на рыльце, в завязь поступает электрический сигнал (роль в растении электрических сигналов в последние годы успешно изучается (Г. В. Новицкая)), подобный нервному сигналу у животных. Но если не произошло оплодотворения, не объединились мужские и женские половые гаметы, то рост завязи всё равно может произойти. И тогда плоды образуются без семян. Это называется *партенокарпией*.

Партенокарпические (бессемянные) плоды могут образоваться и в том случае, если нанести на пестик несколько капель раствора гетероауксина – фитогормона, стимулирующего рост.

И это не случайно. В оплодотворенной семяпочке содержится много фитогормонов, в частности, гетероауксина. Фитогормоны вызывают приток пита-

тельных веществ к развивающемуся плоду, вызывают разрастание стенок завязи.

Полностью бессемянные плоды образуются очень редко. Чаще это плоды малосемянные, в них всё же, хоть и в малом количестве, образуются ауксины и другие гормональные вещества. А если семян не образуется совсем, такой плод не разрастётся, завязь опадёт. Не случайно партенокарпические плоды бывают только у многосемянных растений.

Рост зародыша

Материнский организм любого живого существа хорошо приспособлен для питания и защиты своего зародыша (рис. 18) от колебаний температуры и других неблагоприятных воздействий.



А

Б

Рис. 18. Семя фасоли с зародышем (А), зародыш фасоли (Б)

У цветковых растений это делают оболочки завязи и, особенно, ткань, из которой и начинала развиваться семяпочка. Сюда поступают из других частей растения вода, различные вещества. Здесь они перерабатываются в такие соединения, которые зародышу необходимы, но сам зародыш ещё не может их вырабатывать. Эта ткань и называется, как у человека – *плацента*.

Клетки плаценты дают зародышу не только питание, фитогормоны, но и другие вещества, их условно называют *морфогенетическим фактором*. Из чего он состоит, пока известно не полностью, но без него зародыш развиваться не будет.

При развитии семени от оплодотворения до созревания, оно проходит очень сложный путь преобразований. Развитие начинается с эндосперма. Зигота начинает делиться позже – через несколько часов после своего образования или после периода покоя, который у разных видов может длиться 8-9 месяцев. (Не надо смешивать этот покой с покоем семян и почек).

Первое деление зиготы уже закладывает программу дальнейшего развития

зародыша и будущего растения на корни и надземную часть: клетка делится поперёк, возникает *полярность*. Следующее деление – в вертикальном направлении.

Из образовавшихся четырёх клеток у каждой будет свой путь развития, но он зависит от соседних клеток. Полярность и клеточное окружение в дальнейшем определяют специализацию новых клеток зародыша.

Вначале зародыш имеет шаровидную форму, потом начинает удлиняться. В верхней части образуются два выступа – будущие семядоли, выступ с противоположного конца – начало роста зародышевого корня. Позже начинает формироваться *почечка*. Клетки оси зародыша от зачатка корня до семядоли, разовьются в стеблевую часть, называемую *гипокотилем*, а от семядолей и выше, до верхушечной почечки – *эпикотилем*.

Созревшее семя окружено оболочкой, её называют *кожурой*, под ней – зародыш и запас питательных веществ. Они могут быть в запасающих клетках – эндосперме, или в первых, особых листочках – семядолях. У некоторых растений в зародыше одна семядоля, поэтому их называют *однодольными* и выделяют в класс *однодольных*. Примерами однодольных растений могут служить пшеница, рожь, кукуруза, лук и другие.

А у яблони, фасоли, гороха и других – семядоли две, это класс *двудольных* растений (рис. 19).

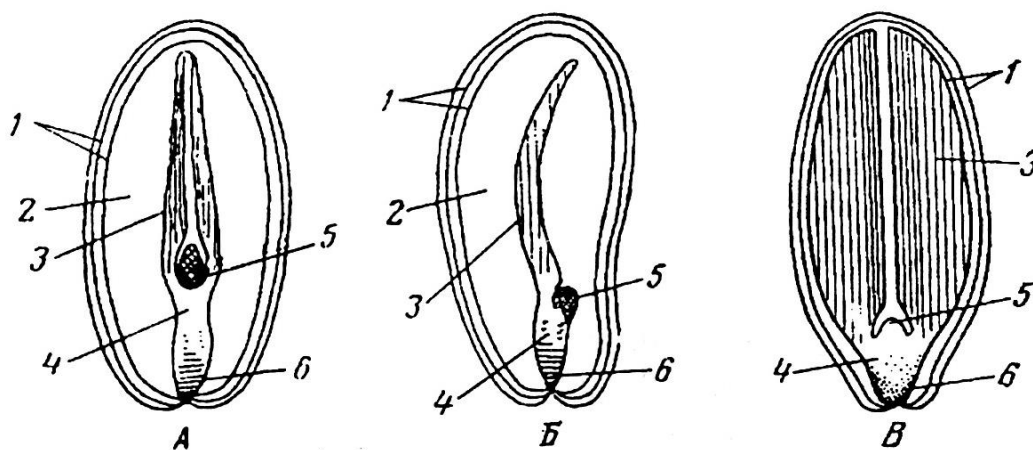


Рис. 19. Строение семян однодольных и двудольных растений (схема). А – семя двудольного растения с эндоспермом (зонтичные, пасленовые); Б – семя однодольного растения с эндоспермом (лилейные); В – семя двудольного растения без эндосперма (тыквенные и др.): 1 – семенная кожура; 2 – эндосперм; 3 – семядоли; 4 – подсемядольное колено; 5 – почечка; 6 – корешок

Главное отличие этих двух классов – число семядолей у зародыша. Но различаются и взрослые растения. У класса однодольных растения имеют *мочковатую* корневую систему, а у двудольных – *стержневую*. Неодинаково и жилкование листьев: у однодольных главные жилки расположены параллельно или дугообразно. У двудольных – сетчатое жилкование. Правда, бывают и исключения, так, подорожник по характеру жилкования и мочковатой корневой системе можно было бы отнести к однодольным растениям, но у зародыша две семядоли. А вот вороний глаз – однодольное растение, несмотря на сетчатое жилкование листьев.

По мере роста зародыша меняется не только его строение, меняется и обмен веществ. Во время интенсивного роста зародыш содержит большое количество гормонов, стимулирующих рост: ауксинов, гиббереллинов, цитокининов, поступающих из пыльцы brassинов. При созревании семени в нём увеличивается содержание тормозящей рост абсцизовой кислоты: она не даёт зародышу прорасти раньше времени.

Изменяется содержание воды. Клетки зародыша в начале его формирования содержат очень много воды, значительно больше, чем ткани, окружающие зародыш. Ближе к окончанию созревания семя активно отдаёт воду. Сухие плоды оставляют себе 9-14 %, но в самом зародыше воды содержится всё-таки значительно больше.

В сочных плодах остаётся около 50 %, при этом внутри косточки вишни, сливы, содержится намного меньше воды, чем в сочном околоплоднике. Как это регулирует растение, пока не ясно.

Первое время формирующийся зародыш получает от растения вещества, необходимые для своего роста. Когда зародыш сформирован, его рост останавливается. Но питательные вещества продолжают поступать, теперь уже в большей степени, чтобы отложиться в запас.

В это же время обмен веществ в семени замедляется, слабее становится дыхание, синтез белков-ферментов и их деятельность, меняется и состав со-

держаться в семени веществ.

По содержанию основного количества запасных питательных веществ в семени растения разделяются на *масличные, крахмалистые* и богатые запасным белком (но они тоже содержат много крахмала, потому некоторые учёные их считают *крахмалистыми*). Надо сказать, что семена крахмалистых растений также содержат и запасные белки, и жиры, но гораздо больше – крахмала.

В нашем питании более значительную роль играют семена крахмалистых растений (пшеница, рожь, ячмень, просо, рис, гречиха) и содержащие белок (фасоль, горох, соя). Сравнительно меньше мы используем для еды семена масличных (подсолнечник, лён, хлопок). Но в природе преобладают растения с масличными семенами (почти 90 % всех растений). И это неудивительно: жиры более компактны, калорийны, следовательно, при прорастании семян дают больше энергии. Кроме того, такие семена меньше поглощают воду, чем крахмалистые, и потому лучше могут сохраниться в неблагоприятных условиях, не заплесневеть. Все растения с мелкими семенами относятся к масличным растениям.

Однако мы употребляем в пищу не только семена, но и плоды, особенно, так называемые, сочные плоды.

Плоды и семена

Помидор – ягода

Из завязи образуется плод, внутри плода из семяпочек образуются семена, а разросшиеся оболочки завязи называют *околоплодником*.

Количество семян зависит от числа семяпочек (семязачатков) внутри завязи. У пшеницы, сливы только один семязачаток, это *односемянный* плод. У яблони их около десятка, у мака – несколько тысяч, такие плоды называют *многосемянными*.

Плоды бывают *сочными* и *сухими*. Многие сочные плоды называются

ягода (рис. 12). С точки зрения ботаника не только крыжовник, смородина – ягоды, но ягода и помидор, и арбуз.

А у сливы, вишни сочный плод не ягода, а – *костянка*. Внутренний слой околоплодника у костянки – косточка и семя только одно.

Разнообразны и сухие плоды. У них различают *зерновку* – у пшеницы, ячменя, здесь околоплодник – плёнка, она срастается с семенной кожурой, семя только одно. *Семянка* отличается от зерновки тем, что околоплодник не срастается с семенем, но семя тоже только одно, семянка у подсолнечника.

Боб и *стручок* – многосемянные плоды, при созревании они вскрываются двумя створками. Только у боба семена сидят на створках (как и у фасоли, гороха), а в стручке они находятся на перегородке между створками. Такой перегородки бобы не имеют. У капусты, редьки, сурепки плоды – многосемянные стручки.

Сухие плоды дуба – желуди (рис. 20). Орехи тоже сухие плоды, одиночные.



Рис. 20. Плоды. Вверху – сочные плоды (виноград, вишня, помидоры); внизу – сухие плоды (желуди, орехи – фундук, грецкий)

Семена разных растений различаются по величине. Самые маленькие семена у орхидей – всего несколько микрометров, они едва различимы. Самые крупные семена у пальм. У сейшельской пальмы, например, семя почти полуметровой длины и весит до десяти килограммов.

Путешественники

Большинство семян имеет шаровидную форму, так им легче распространяться. У некоторых семян есть специальные приспособления для рассеивания их ветром: *пушинки* у тополя, одуванчика, некоторых трав, *крылатки* у липы, клёна, ясеня, берёзы. Подхваченные ветром, они быстро относятся на довольно значительные расстояния от материнского растения.

Рассеивают семена и сами растения. Есть такой цветок – бальзамин, его называют еще «недотрогой». Стоит только прикоснуться к созревшему плоду, створки раскрываются, сворачиваются и семена разлетаются вокруг. Но это бывает и само по себе, когда семена хорошо созреют. У многих многосемянных сухих плодов стручки, бобы и коробочки тоже разбрасывают семена.

Многие семена переносятся птицами и животными, поедающими плоды. Плотная семенная кожура таких семян не переваривается, и семена сохраняют способность прорасти.

А у некоторых растений семенная кожура покрыта жёсткими *волосками*, с их помощью семена переносятся на шерсти животных и даже одежде людей (семена репейника, лопуха, череды...).

Что же дальше?

Созревшие семена покидают материнское растение, и теперь их дальнейшая судьба зависит от случая. Вероятность того, что семя диких растений даст начало новой жизни чрезвычайно мала. Семена тополя, например, если быстро не попадут в подходящие условия для прорастания, погибнут. Недолговечны семена и одуванчика. Потому так много семян у этих растений.

Значительно дольше сохраняют жизнь, или, как принято называть – *жизнеспособность*, т. е. способность прорасти, семена «сорных» трав (сурепки, лебеды, амаранта...). Опыты показали, что глубоко в земле они сохраняют всхожесть даже через 20 лет. Известны семена лотоса, найденные в Японии в залежах торфа через 200 лет. Они проросли в нормальные растения и зацвели, дали потомство.

Семена культурных растений хранятся значительно меньше без потери всхожести. Короче всего жизнеспособность семян сельдерея и пастернака – 1-2 года. Семена многих огородных растений, в том числе моркови, петрушки теряют всхожесть через 2-3 года (понюхайте их, если не пахнут, значит, всходить будут плохо) Немного дольше сохраняют жизнеспособность семена фасоли, томата, редиса – до 5 лет. Дольше всех пригодны для выращивания семена арбузов, огурцов, кабачков – 6-8 лет.

Чтобы сохранить жизнеспособность семян, надо их уберечь от увлажнения и хранить при низкой температуре, почти без доступа кислорода. Это замедлит биохимические процессы, которые, хотя и слабо, но всё же протекают в живых семенах.

Итак, семена созрели. На этом первый этап жизни растения – эмбриональный – завершён. Эмбрион (зародыш) – сформирован. Когда семя станет прорастать, начнется следующий этап онтогенеза – юношество растения.

БЕСЕДА ТРЕТЬЯ

ЮНОШЕСТВО РАСТЕНИЙ

Мы говорили о том, как зарождается растение – образуется семя, зародыш, о том, что происходит на первом этапе жизни растения. После эмбрионального, периода зарождения, наступает период юношеский, или как его называют специалисты, – *ювенильный* период. Он начинается с начала прорастания семени и длится до появления первых бутонов и цветков. Это самый ответственный и «капризный» период. Потому что для перехода к цветению большинство растений требует особых условий внешней среды: воздействия низкой температуры, света или темноты.

Начало прорастания

Возьмём в руки семечко томата или зерновку пшеницы. Сухое, оно ка-

жется безжизненным. Но это впечатление обманчиво. В семени происходят многие жизненные процессы, только в очень медленном темпе и очень ослабленные. Однако, например, дыхание таких семян можно обнаружить даже не очень чувствительными методами.

Если эти семена поместить во влажные условия, все обменные процессы в них резко возрастут. Увеличится в несколько раз поглощение кислорода, усилятся процессы синтеза. Уже через несколько минут после начала увлажнения образуются новые молекулы белков-ферментов в зерновках пшеницы, а также в других семенах.

Есть поговорка: «Береги платье снову, а честь смолоду». Не менее справедливо было бы: «Береги здоровье смолоду», точнее, с самого зарождения. Это справедливо и для растения. Не случайно мы отбираем самые здоровые, крепкие растения и лучшие на них цветки, чтобы получить от них семена.

В созревшем семени есть маленький зародыш – зачатки корня, стебля. Но основное место занимают запасные питательные вещества: крахмал, белки, жиры. Есть и важные уже на первых порах минеральные соли и белки-ферменты, необходимые для биохимических процессов в клетках.

Нам надо помнить, что даже в первые часы увлажнения семенной зародыш реагирует так на условия среды, что скажется и на взрослом растении. Потому, чтобы получить высокий урожай теплолюбивых культур (огурцы, перцы...), следует их семена проращивать в тёплой воде.

Семена всех культур не нужно долго выдерживать в воде, особенно в большом её количестве. При увлажнении увеличивается интенсивность дыхания и возрастает потребность в кислороде, которого в воде мало. Поэтому через 2-4 часа семена лучше поместить на блюдечко, завернув во влажную хлопчатобумажную ткань или высадить в почву. Особенно нетерпимы к длительному замачиванию семена семейства бобовых – фасоли, гороха.

Спустя несколько дней (или часов, а, возможно, недель, это зависит от вида растений), если увлажнение не прекратится, стебелёк начнёт расти и вы-

толкнет из семени кончик корня. Говорят: семя *проросло*. Затем клетки корешка начнут расти, удлиниться. Корень будет всё глубже проникать в почву, закрепляясь в ней, передавая из почвы воду для роста и стеблевой части проростка. Начинает вытягиваться гипокотиль, он выносит на поверхность почвы семядоли, семядоли разрастаются, зеленеют. И тогда трогается в рост *почечка*, растёт главный стебель.

В этом случае говорят о «надземном» прорастании. (Вспомним, что часть стебелька от корешка до семядолей называется *гипокотиль*, первое междоузлие выше гипокотыля – *эпикотиль*, зона между гипокотилем и главным корнем – *корневая шейка*).

Но надземное прорастание бывает не у всех растений (рис. 21, А). У некоторых растений гипокотиль не растёт, и семядоли остаются под землёй. В таких семядолях содержатся запасные питательные вещества. Эти семядоли не разрастаются, как у тех, что выходят на поверхность, и клетки их неспособны к делению. Такое прорастание называют «подземным» (рис. 21, Б), оно бывает у гороха, бобов и ряда других двудольных растений. Под землёй остается эндосперм у злаков.

Выносятся на поверхность семядоли подсолнечника, огурцов, тыквенных, фасоли обыкновенной, а вот у фасоли многоцветной остаются под землёй.

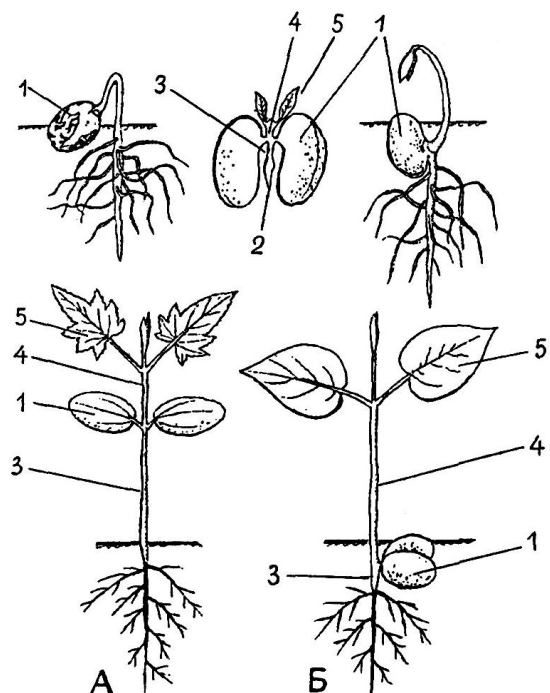
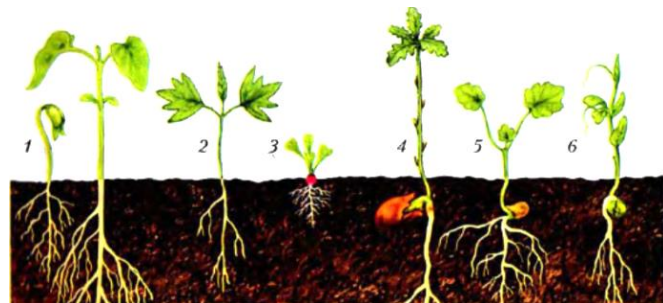


Рис. 21. Типы надземного (1-3 – вверху, А – внизу) и подземного (4-6 – вверху, Б – внизу) прорастания семян. Внизу: 1 – семядоли; 2 – корень; 3 – гипокотиль; 4 – эпикотиль; 5 – листья

Покой семян и почек

Однако для того, чтобы семя тронулось в рост, оно должно не только созреть, но и достигнуть особого физиологического состояния. Семена многих растений только что отделившиеся от материнского организма, не способны прорасти. В них должны завершиться необходимые биохимические процессы. То же происходит в почках древесных пород. Поэтому на веточке, срезанной с дерева осенью или в самом начале зимы, почки не распускаются. Только срезанная позже она может порадовать нас зелёными листиками или даже цветками в вазе тёплой комнаты. Такой покой называют *глубоким*, или *физиологическим*.

Наиболее наглядно глубокий покой почек можно наблюдать у клубней картофеля. Они обычно не прорастают в первой половине зимы, зато во второй половине даже в подвале глазки картофеля дают ростки.

Для большинства растений физиологический покой семян и почек зависит от содержания растительных гормонов. Осенью в них много гормона, тормозящего рост – абсцизовой кислоты. К весне абсцизовая кислота разрушается и увеличивается содержание фитогормонов-стимуляторов: цитокининов, ауксинов, гиббереллинов. Теперь семена и почки готовы к прорастанию, нужны лишь тепло и влага. Этот покой уже *вынужденный*, он зависит только от внешних условий.

Глубокий покой не даёт обманчивой тёплой осенью прорасти семенам и распускаться почкам, когда они могут погибнуть от приближающихся морозов.

Без воды нет жизни

Для активной жизнедеятельности необходимо много воды. Клетки растения в активном состоянии содержат до 70-90 % воды. Семена, которые мы называем сухими, содержат примерно 10-14 % влаги. Полностью лишённые воды семена погибают.

Для того чтобы началось прорастание, в семенах должно быть значительно больше воды, для большинства растений – 60-70 %, для гороха и фасоли – в два раза больше своего веса. Если семенам дать воды меньше, чем необходимо

для прорастания, в них произойдут только процессы подготовки к прорастанию.

Небольшое подсушивание таких семян (до сыпучести) не мешает им прорасти при дальнейшем нормальном увлажнении, и даже прорасти скорее. Огородники используют такой приём для ускорения прорастания семян моркови, петрушки и других, – тех, что долго «сидят в земле».

А в природе это помогает семенам подготовиться к активному росту, дожидаясь достаточно высокой температуры и влажности, чтобы обеспечить ростовые процессы. В холодной почве вода поступает в корни плохо и мала активность ферментов.

Поглощение воды семенем вначале не связано с его жизнедеятельностью. Одинаково поглощают помещённые в воду живые и мёртвые семена. Но уже через несколько часов или даже минут отличие очень заметно: живые семена начинают всё быстрее вбирать в себя воду, регулируя этот процесс. Есть даже метод определения жизнеспособности семян – чем больше семена поглотят воды за первые 4 часа набухания, тем сильнее будет растение и выше урожай. Правда, этот метод годится для крупных и крахмалистых семян (кукурузы). Семена, содержащие много жира (подсолнечник, клещевина, все мелкие семена) в первые часы так много воды не поглощают.

В дорогу жизни провожая...

Заботливая мать, собирая сына в дальнюю дорогу, старается обеспечить его всем необходимым на первых порах самостоятельной жизни. Так и растение размещает в семени все вещества, необходимые для питания зародыша и роста проростка.

Это крахмал, запасные белки, жиры, а также витамины, минеральные соли, фитогормоны... Поэтому в первые дни прорастания зародыш не нуждается в дополнительном питании, ему нужны только вода, кислород и тепло. Но питательные запасы всё же ограничены. И потому как только корешок достаточно укрепитесь в почве, начинает скорее расти стебелёк, ввинчиваясь в землю, стре-

мясь к солнечным лучам.

Листья здесь, в темноте, не нужны, они и не растут. Зато быстро растёт стебелёк, в случае нужды достигая большой длины. Но как только он выбрался на поверхность, к свету, рост его тормозится. Теперь начинают расти и зеленеть листочки, чтобы скорее приступить к работе, к образованию органических веществ.

Чем крупнее семена, тем больше в них запас питательных веществ, тем больше сил у стебелька. Крупные семена нужно сажать глубже, чем мелкие, мелким будет трудно выбраться на свет при глубокой посадке. Очень мелкие семена нельзя сажать глубже, чем на 1 см, а крупные семена хорошо посадить на глубину 5-7 см. Глубина посадки зависит и от почвы: в почве глинистой семена сажают мельче, чем в песчаной.

От 10 дней до 150 лет

Когда созревшее, прошедшее покой, семя попало в благоприятные условия и только «наклюнулось», оно уже не семя, а – *проросток*. И начинается у него очень ответственная пора *юношества* – до появления бутонов.

Этот период у разных растений занимает разное время. У однолетних растений он бывает коротким: несколько недель или дней, у многолетников длится годы и даже десятки лет.

Самый короткий период юности у африканского растения Берхавии репенс, ему достаточно от прорастания до образования семян 8-10 дней. А самый длительный период юности у Пуйи Раймонда, ей необходимо от всходов до зацветания 150 лет. Это растение из семейства бромелиевых растёт на скалистых склонах в горах Анд. Его стебли бывают высотой почти 10 метров и толщиной более метра. Встречается растение очень редко, что неудивительно: после образования семян оно погибает, это монокарпическое растение.

В нашей полосе самый длительный период юности у дуба – до 40 и даже до 80 лет, у яблони, в среднем, лет 15. (В этом одна из причин, правда, не главная, почему плодовые деревья размножают не семенами, а окулировкой,

черенкованием, прививкой).

Как и у человека, юношеский период для дальнейшей жизни очень важен и зависит от внешних причин, у растений – особенно от температуры и света. Только в условиях, которые необходимы для данного растения, в нём произойдут те изменения, после которых «юноша» станет взрослым. Но эти изменения глазу незаметны.

Рост и развитие

Мы часто слышим: *рост и развитие* растений. Что же понимается под этими словами?

Наблюдая за прорастающим семенем, мы видим, что сначала оно наклюнулось, потом появились из земли всходы. У двудольных растений развернулся первый настоящий лист, началось ветвление стебля, образовались бутоны, цветки, созрели плоды и семена. Все эти, и другие изменения хорошо видны и называются фенологическими фазами, или, сокращённо – *фенофазами*. По срокам наступления и длительности фенофаз можно судить о состоянии растения.

Появление листьев и других органов называют морфологическими изменениями – *морфогенезом*, это процессы роста, почти всегда – увеличение веса, массы.

А вот те изменения, которые не видны, которые проявляются позже, часто много позже после того как они произошли, но благодаря которым растение смогло зацвести, это и есть *развитие*. (Говорят ещё – *репродуктивное развитие*). Только если в клетках произошли эти качественные, невидимые внешне изменения обмена веществ, растение в свой срок зацветёт, даст плоды и семена – станет взрослым.

Рост и развитие хотя обычно и связаны между собой, но могут не совпадать по времени: рост может не сопровождаться развитием. Например, если озимые культуры (рожь или пшеницу) высеять весной, они станут хорошо расти, но не зацветут. И, конечно, не дадут урожай семян. У них не будет *развития*.

В зависимости от условий может быть быстрый рост и медленное развитие (при хорошем обеспечении азотом, влагой и невысокой температуре). Может быть, медленный рост и быстрое развитие (при недостатке влаги и высокой температуре растения быстро переходят к цветению, а стебель остается низким). А также – медленный рост и медленное развитие (при холодной погоде) и быстрый рост и быстрое развитие (наиболее благоприятные условия водоснабжения, питания и температуры).

Хранят верность родине предков

Когда-то на Земле появились растения в тех краях, где зима сурова, лето сравнительно коротко, но зато летний день длится долго. Чем ближе к экватору, тем меньше различия зимы и лета. Как по длине дня и ночи (причём летний день короче, а летняя ночь длиннее, чем на севере), так и по температуре. Здесь нет морозной зимы, холодных весны и осени. В этих условиях формировались свои растения.

Затем постепенно часть растений, перенесённых семенами то ли птицами, то ли животными, случайно, а позже и сознательно, человеком, поменяли своё «место жительства» и оказались в иной среде обитания.

Но те качества, которые раньше выработались у растений как приспособление к выживанию при низкой температуре прорастания, к длинному дню или длинной ночи, сохранились на новом месте. Теперь уже как необходимое условие для тех изменений обмена веществ, которые нужны, чтобы перейти к цветению.

Так возникли растения, называемые *озимыми* или *яровыми* по отношению к температуре прорастания, а по отношению к длине дня и ночи – *длиннодневными* или *короткодневными*.

Озимые и яровые

Как вы уже догадались, потребность озимых растений в низкой температуре проявляется в самом молодом возрасте. Даже в зародыше и наклюнувших-

ся семенах. Если наклюнувшиеся семена озимой пшеницы или ржи подержать во влажных условиях на воздухе (нужен кислород) при температуре 0...+7 градусов примерно месяц – два, то при весеннем посеве растения из этих семян станут как яровые. Они зацветут и дадут урожай. Этот приём называют *яровизацией*. *Яровизацией* называют и те изменения в обмене веществ, которые приводят в дальнейшем к цветению. Эти изменения происходят в растениях при осеннем посеве.

Наиболее ярко потребность озимых растений в яровизации проявляется в районах с суровой зимой, им яровизация необходима (это называется «качественной реакцией»).

В районах с более тёплым климатом есть растения, которые могут развиваться и без пониженных температур, их называют *двуручками*, им яровизация не обязательна (у них «количественная реакция»).

Что лежит в основе такого различия пока неизвестно. Подозревают, что эти растения имеют разную чувствительность к холоду. Но у некоторых растений потребность в низкой температуре можно заменить непрерывным светом, а у некоторых – коротким днём.

Теплолюбивые культуры проходят яровизацию при более высоких температурах: +10...+ 13 градусов.

Мы ещё очень мало знаем о том, что происходит при действии низкой температуры. Установлено влияние температуры на стеблевую почку, в её клетках изменяется обмен веществ. Эти изменения затем передаются при делении новым клеткам.

Однако у озимых растений процесс яровизации может быть обратимым. Это значит, что если во время яровизации потеплеет, примерно, до +15 градусов, то действие низкой температуры снимается и яровизация должна начинаться вновь.

Двулетние и многолетние растения тоже требуют в определённое время низкой температуры для яровизации (в точках роста при прорастании корне-

плодов, в почках у многолетних трав, деревьев).

Почти все деревья нуждаются в действии низкой температуры при прорастании семян. Для этого плодороды проводят «стратификацию» семян: выдерживают зимой во влажном песке в подвале. Нуждаются в стратификации семена яблони, груши, вишни, сливы, винограда, шиповника. А вот семена тополя, шелковицы прорастают сразу же после отделения от растений, им стратификация не нужна.

У взрослых деревьев низкая температура нужна почкам для образования бутонов. Поэтому в очень теплые зимы в Ялте не цветут вишни, а в тропиках не цветут наши яблони.

Итак, мы знаем, что у некоторых растений существует потребность в низкой температуре для перехода к цветению. Но многое здесь ещё не совсем ясно. Так, встречаются не яровизированные растения, цветению которых препятствует корневая шейка. Если на неё подействовать холодом, растение зацветёт. Холод можно заменить таким гормоном, как этилен.

Предполагается, что в основе физиологической и биохимической природы яровизации значительная, а может и основная начальная роль принадлежит фитогормонам. Видимо, не случайно после яровизации в клетках увеличивается содержание фитогормонов-стимуляторов: гиббереллинов и ауксинов, а содержание гормонов, тормозящих рост – снижается. Но является ли это единственной причиной?

Недостаток знания механизма яровизации не мешает огородникам учитывать, что низкая температура весной может вызвать цветение двулетников в первый год их жизни. Это изредка бывает, например, при очень раннем высеве семян свёклы затяжной прохладной весной. У лука-севка холодная почва тоже вызывает обильное появление цветочных стрелок. Поэтому весной с посадкой лука-севка и посевом семян свёклы не нужно очень спешить. А если луковички хранились при низкой температуре (и яровизировались), то полезно непосредственно перед посадкой их прогреть, поместив на несколько часов в

тёплую воду (разъяровизировать).

Почему хризантемы цветут осенью

Почему хризантемы цветут осенью? И почему в середине лета редис «идет в стрелку», то есть образует не корнеплод, а семена?

Здесь тоже сказывается требовательность растений к определённым условиям для своего «взреления» и перехода к цветению. Только теперь уже не к температуре, а к свету или темноте.

Если при прорастании в молодом возрасте, озимым необходимо действие низкой температуры, то потом для них большую роль играет уже длительность светового периода (но только после яровизации).

Растениям южного происхождения, тем, которым яровизация не нужна для перехода к цветению, необходима длительная ночь.

Требования растений к длине дня (или ночи) называют *фотопериодической реакцией*, или *фотопериодизмом* (от греч. photos – «свет» и periodos – «круговращение»). Иными словами, это определённая реакция организмов на продолжительность периодов света и темноты в течение суток.

Фотопериодической реакцией обладают и многие животные, особенно те, что впадают в зимнюю спячку. А также рыбы, насекомые, птицы: их перелёты, линька, миграция и другие приспособительные функции контролируются фотопериодическими реакциями. Но как это происходит, практически неизвестно.

По отношению к длине дня растения условно разделяют на *длиннодневные*, *короткодневные* и *нейтральные*.

Растениям всех трёх групп необходимо светлое время для фотосинтеза, примерно, 8 часов.

Короткодневным растениям для перехода к цветению необходима полная и непрерывная темнота в индукционный период, не меньше 12-16 часов, при-

чем мешает фотопериодической реакции даже лунный свет. У короткодневных растений выработка соединений, ответственных за образование цветков, происходит в полной темноте, её нельзя прерывать и короткой вспышкой света. В этом случае индукционный период должен начинаться сначала.

Короткодневные растения чутко реагируют на длительность периода темноты. В опытах профессора Б. Ф. Мошкова растения периллы (это короткодневное растение), которые освещались только 8 часов, зацвели все. Из тех, что были на свету 8 часов 30 минут, зацвела примерно половина, а из освещённых 9 часов не зацвело ни одно растение. Такая высокая чувствительность короткодневных растений объясняется тем, что в районе экватора никогда не бывают сумерки, и день сразу же сменяется ночью.

Длиннодневным растениям после 8 часов света, для фотопериодических реакций требуется ещё не менее 8 часов хотя бы очень слабого освещения. Темнота им не нужна.

В северных районах сумерки летом бывают длительными и светлыми (вспомним знаменитые белые ночи Ленинградской и других, ещё более северных областей).

Растения нейтральные для перехода к цветению не нуждаются в каком-то определённом световом режиме. Но в группе нейтральных есть такие растения, которым необходимо чередование периодов: сначала длинный день, потом – короткий, и наоборот. Так, пеларгония крупноцветная зацветёт только, если сначала будут короткие, а потом длинные дни. Опыты показали, что период коротких дней для пеларгонии можно заменить периодом пониженных температур. А вот, например, комнатное растение бривофиллум требует для цветения вначале длинных дней, потом коротких.

При выращивании растений полезно, а иногда и необходимо знать, как реагирует на длину дня растение, урожай плодов или семян которого вы хотите получить. К длиннодневным растениям относятся фасоль, горох, овёс, ячмень, сахарная свёкла, лук, шпинат, редис и другие.

Примеры растений короткого дня: просо, соя, кукуруза, конопля, топинамбур, хризантема, а вот подсолнечник в зависимости от сорта может быть и нейтральным. У пшеницы есть сорта, требующие длинных или коротких дней. Не требуют определенной длины дня для перехода к цветению томат и мята.

Количество дней соответствующего светового режима называют индукционным периодом, он может быть различным, например, для перехода к цветению просу нужно 7 коротких дней, а сое – 20.

Нужны листья

В отличие от температуры, влияние которой при яровизации проявляется на стеблевой почке, для реакции на длину дня нужны листья (рис. 22). Но ни старые, ни очень молодые, растущие, листья не реагируют на длину дня. Только листья молодые, но уже закончившие рост, содержат особый пигмент, соединённый с белком – *фитохром*. Он поглощает свет в красной области спектра (длина волны 620-650 наннометров), передает полученный сигнал молекулам клеток листа и включает биохимические процессы синтеза тех молекул, что необходимы для цветения. Действие красного света можно снять дальним красным светом (735 наннометров). Но здесь пока ещё тоже много невыясненного: обнаружено, что длинный день можно, у некоторых, по крайней мере, растений, заменить слабым магнитным полем (Г. В. Новицкая).



Рис. 22. Левый побег рос при коротком дне, правый – при длинном

Азот влияет неодинаково

У всех растений под влиянием внешних условий в листьях вырабатыва-

ются и перемещаются в верхушечные почки особые вещества. При благоприятных фотопериодических условиях создаются вещества, благодаря которым растение зацветает. А при неблагоприятных – такие, что цветение задерживают. Короткодневные растения особенно чувствительны к веществам, цветение тормозящим.

Это могут быть специфические и не специфические вещества. В частности, влияет на переход к цветению азотное питание растений, но только по-разному. Усиленное азотное питание ускоряет рост всех растений, но переход к цветению у кукурузы, проса, салата, люпина – ускоряет, а у горчицы и овса – задерживает. У гороха, сои, фасоли, конопли – усиленное питание азотом не влияет на сроки зацветания.

При недостатке азота позже зацветают растения перца, салата, редиса, а вот пшеница, люцерна, клевер в этих условиях начинают цвести раньше.

Анализ показывает, что почти все азотнегативные – растения длинного дня, а азотпозитивные, с яркой реакцией на хорошее азотное питание – короткодневные. Растения нейтральные и со слабой реакцией на длину дня – нейтральны и по отношению к азотному питанию. У таких растений азот влияет только на рост, но не на сроки зацветания.

Интересно, что длина дня влияет на образование различных веществ в растениях. При длинном дне у всех растений вырабатывается больше углеводов и крахмала, а при коротком – больше белков и других соединений, содержащих азот.

Мы видим, что на зацветание длиннодневных и короткодневных растений влияют обычные, неспецифические вещества. Однако, это влияние проявляется не само по себе, а через действие теперь уже особых, специфических веществ: растительных гормонов.

У растений фотопериодически нейтральных длина дня и особенности углеводного и азотного обмена на зацветание не влияют. У них переход к цветению определяет возраст растения и взаимодействие всех его органов (корней,

листьев). Такая внутренняя регуляция тоже зависит от условий внешней среды. Но главную роль здесь играют возрастные изменения, градиент биохимических процессов по стеблю, в том числе и распределение гормонов.

Прежде чем говорить о гормонах растений, обратим внимание на особенности перехода к цветению у растений длинного и короткого дня.

Две фазы перехода к цветению

Необходимо знать, что у травянистых растений цветение происходит в две фазы. Сначала, в первой фазе, образуются цветочные стебли, а цветки – позже, во второй фазе. В каждой фазе есть особенности обмена веществ: при образовании цветочных стеблей усиливается углеводный обмен, световое дыхание и образование в листьях гиббереллина, а в стеблевых почках – ауксина.

При переходе к цветению, во второй фазе, усиливается превращение азотистых соединений, темновое дыхание, в стеблевых почках увеличивается образование нуклеиновых кислот и белков. А в листьях возрастает образование веществ, строение которых пока неизвестно, условно их называют *антезины*.

Длиннодневные и короткодневные растения различаются по чувствительности к этим двум фазам.

Длиннодневным растениям длинный день необходим для прохождения первой фазы – образования стеблей. Вторая фаза (образование цветков) у них может проходить при любой длине дня. Так, например, редису длинный день нужен для роста стебля. На коротком дне стебель не образуется, растёт корнеплод. (*Чтобы получить хороший урожай, огородники редис высевают рано весной или во второй половине лета – когда дни короче*).

Короткодневные растения первую фазу могут проходить при любой длине дня. А для образования цветков им необходим короткий день, точнее – длительная темнота.

Потому хризантемы и зацветают только ближе к осени, когда день станет короче.

Основоположник изучения реакций фотопериодизма, особенностей перехода к цветению, установления требования растений к длине дня и ночи и роли фитогормонов, – советский академик Михаил Христофорович Чайлахян. Эти исследования вошли в учебники физиологии растений всего мира.

БЕСЕДА ЧЕТВЕРТАЯ

ГОРМОНЫ И ДРУГИЕ РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ

Теперь настало время познакомиться с регуляторной системой растений, главные участники которой – гормоны. В отличие от гормонов животных их называют *фитогормонами* – растительными гормонами.

Что такое гормоны

Слово «гормон» означает «возбуждаю», «двигаю». О том, что у человека и животных есть такие вещества, знали сравнительно давно. Было известно, что у животных есть органы или группы клеток (их называют *железы*), где вырабатываются гормоны. Действуют гормоны в крайне малых количествах. И, что очень важно, – влияют на обмен веществ не там, где они образовались, а перемещаются с кровью по организму в то место, где проявляется их влияние. Иными словами они действуют на определённом расстоянии, дистанции от места их образования. Потому их называют еще *веществами дистанционного управления*.

У растений тоже есть подобные вещества. Они действуют в таких же малых дозах, перемещаются по растению с водным током и часто влияют на расстоянии от места их синтеза.

Также как и у животных, в растении содержание гормонов не постоянно. Их образование увеличивается или уменьшается, происходит разрушение или переход в запасную, неактивную форму. Растение регулирует эти процессы.

Сходство и различие

Гормоны растений, как и гормоны животных, участвуют в регуляции деятельности всего организма. Но гормоны животных и растений имеют черты и сходства, и различия.

Гормоны животных по химическому строению делятся на две большие группы. К одной группе относят производные аминокислот – полипептиды и белки, к другой группе – стероидные гормоны.

Среди растительных гормонов нет белков и полипептидов. *Фитогормоны* – *низкомолекулярные вещества*, однако, и здесь есть сходство. Близки по химическому строению, к тому же образованы из одного предшественника, из аминокислоты триптофана, – гормон растений индолил-3-уксусная кислота (гетероауксин) и серотонин животных (рис. 23).

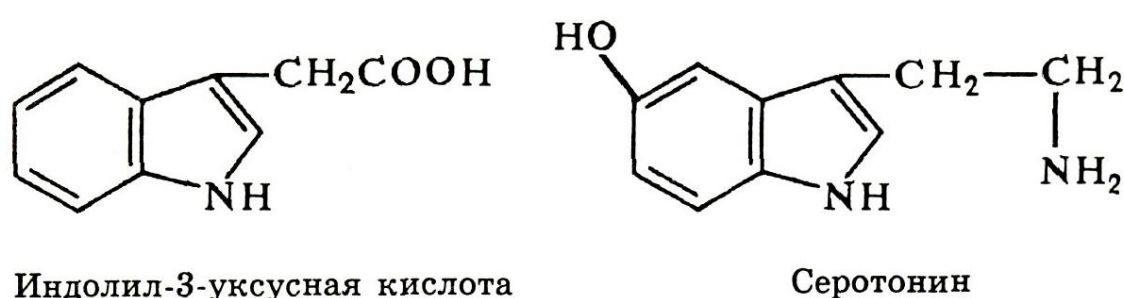


Рис. 23. Структурные формулы индолил – 3-уксусной кислоты (гетероауксина) и серотонина

У беспозвоночных серотонин выполняет обязанности гормона. У высших животных в головном мозге – роль медиатора (посредника) – передачи нервного импульса между нейронами.

Фитогормон гиббереллин (тетрациклический дитерпеноид) имеет сходное строение с кортикостероидами животных. Цитокинины растений близки к циклическому аденозинмонофосфату (АМФ) животных.

Сходство заключается также в том, что хотя фитогормоны образуются и не в специальных тканях, железах, как у животных, но всё же в определённых частях растения. Ауксины, в основном, в образовательных тканях – меристемах

стебля, корня, формирующихся семенах, гиббереллины – в листьях, цитокинины – в клетках корня. Действие же ауксинов проявляется в растущих, растягивающихся клетках стебля, в образовании корней на черенках. Влияние гиббереллинов – в растущих клетках стебля, цитокининов – в делящихся клетках стебля и листьях.

Все фитогормоны влияют на биохимические и физиологические процессы: активность ферментов, дыхание, фотосинтез. Но наиболее наглядно их действие сказывается на росте растений, поэтому их называют *регуляторами роста*. Одни из них ускоряют, другие – замедляют рост отдельных органов и растения в целом. Противоположно действующие гормоны есть и у животных, например, *инсулин и глюкагон*.

Регуляторы роста составляют целостную, сложную и слаженную систему, состав которой полностью ещё неизвестен. По мере изучения открываются новые соединения, влияющие на рост. Сейчас хорошо известны фитогормоны – стимуляторы роста: *ауксины, гиббереллины, цитокинины*, и фитогормоны - ингибиторы роста: *абсцизовая кислота и этилен*. В состав регуляторной системы входят и другие вещества, тормозящие рост. Их не относят к фитогормонам: они действуют в основном там, где образовались, и в концентрациях значительно более высоких, чем гормоны.

По мере необходимости растение очень быстро может изменять содержание стимуляторов и ингибиторов и ускорять или замедлять процессы роста и развития. И это неудивительно, ведь для управления необходимо либо ускорять, либо замедлять регулируемые процессы. А для растений рост – не только изменение размеров. Как вы знаете, рост – важнейший процесс, с помощью которого растение «уходит» от вредных воздействий меняющейся среды обитания. И приближается к тому, что ему нужно.

Влияние фитогормонов на растения многосторонне, но наиболее ярко оно проявляется на каких-то особенностях ростового процесса. Их так и называют: гормоны корнеобразования, роста стебля, деления клеток...

Гормон корнеобразования

Немножко истории

Гетероауксин был первым, обнаруженным в растении гормоном. Его существование предсказал еще Ч. Дарвин. В 1880-1881 годах Дарвин опубликовал опыты, проведенные вместе с сыном Френсисом. Они изучали реакцию на свет и место восприятия светового луча у проростков канареечной травы. Канареечная трава – злак, у неё, как и у всех злаковых растений (ржи, пшеницы, овса) первый настоящий лист в прорастающем семени покрыт чехлом из живых бесцветных клеток. Он называется *колеоптиль*.

Колеоптиль помогает первому настоящему листу злака пробиться на поверхность почвы, к свету. Клетки колеоптиля первое время растут быстрее, чем настоящий лист. Затем лист догоняет верхушку колеоптиля, прорывает её и появляется над землёй, а колеоптиль отмирает.

В опытах Дарвина проростки с начавшим рост колеоптилем помещали в тёмную камеру с маленьким отверстием в боковой оболочке. Через него подавался свет. Чтобы установить, какая часть проростка воспринимает световой сигнал, у одних растений надевали на самый кончик светонепроницаемые колпачки. Другим надевали светонепроницаемые цилиндры на колеоптиль, но при этом верхушка колеоптиля оставалась открытой. Часть колеоптилей оставалась без светонепроницаемых укрытий, и они, спустя несколько часов, изгибались в сторону света.

Изгибались к свету и те проростки, где не затенялась только верхушка. Но место изгиба было ниже, чем верхняя, незатенённая часть колеоптиля! Не реагировали на свет, росли прямо, колеоптили с колпачком на самом кончике проростка (рис. 24).

Дарвин сделал вывод: реагирует на свет верхняя часть колеоптиля и передает сигнал расположенным ниже, растягивающимся клеткам.

Дарвин провёл и другие опыты. В них он подтвердил, что воспринимают действие раздражителей (свет, земное притяжение) «сенсорные зоны» – верхушка побега, кончик корня. И предположил, что с помощью химического вещества они передают раздражение в другие, «моторные зоны».

В работе «Способность к движению у растений» Дарвин писал: «Едва ли будет преувеличением сказать, что кончик корешка, наделённый способностью направлять движение соседних частей, действует подобно мозгу одного из низших животных, находящемуся в переднем конце тела, воспринимающего впечатление от органов чувств и дающему направление различным движениям» (Дарвин Ч. Способность к движению у растений. Соч. М.Л., 1941, Т. 8. С. 517).

Опыты Дарвина в те годы не нашли ни должного интереса, ни последователей, вероятно, из-за неосторожного сравнения с «мозгом» животного. В конце XIX века это казалось более чем странным. Его работы раскритиковали известные в те годы учёные.

Но через несколько лет многие исследователи в разных странах стали повторять опыты Дарвина, видоизменять их и установили, что, действительно, из самой верхней части к растягивающимся клеткам перемещается какое-то вещество. При одностороннем освещении вещество перемещается по теневой части coleoptilya, усиливая растяжение этих клеток. Это и вызывает изгиб в

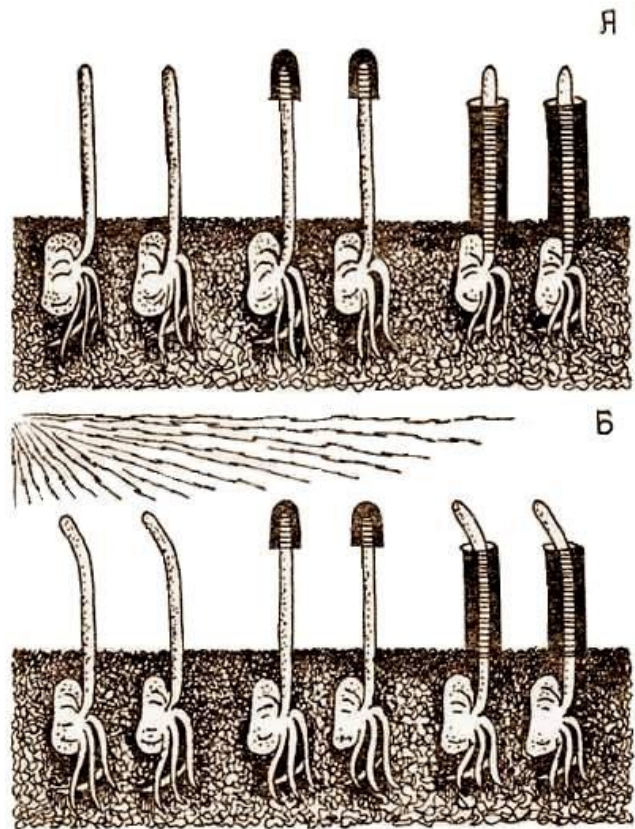


Рис. 24. Опыт Ч. Дарвина с этиолированными проростками канареечной травы: *А – проростки со светонепроницаемыми колпачками или цилиндром до опыта, Б – проростки после одностороннего освещения*

сторону света (фототропическая реакция).

Основные исследования были проведены советским учёным Н. Г. Холодным и европейским исследователем Ф. Вентом в двадцатых годах XX столетия. Выдвинутую ими независимо друг от друга гормональную теорию тропизмов так и называют теорией Холодного–Вента.

Тайна приоткрывается

Долгое время не могли установить, что за вещество ускоряет рост клеток. Оно содержится в чрезвычайно малых количествах, тогда недоступных для анализа в растениях. Но в 1934 году группа голландских учёных-химиков выделила это вещество, установила структуру. Назвали вещество *ауксином*. Оказалось, ауксин – уже известная химикам, легко получаемая в лаборатории искусственным путем индолил-3-уксусная кислота (сокращенно – ИУК).

ИУК часто называют *гетероауксином*. Гетероауксин получил свое название в ходе исследования. Было выделено три вещества, их назвали «ауксин а», «ауксин б» и между ними – гетероауксин, считалось, что он неактивен. Но оказалось, что гетероауксин и есть главное вещество, влияющее на рост клеток.

(Сейчас близкие к ИУК по строению или действию вещества, создаваемые в лабораториях, часто называют ауксинами).

В биологических лабораториях всего мира начался бум по изучению действия ИУК на растения. Наверное, меньше было в свое время алхимиков, пытавшихся получить золото!

Ауксины обнаружили во всех растениях, в молодых, делящихся клетках, в образующихся и прорастающих семенах.

Содержание ауксина в растениях неравномерно, больше всего - в верхушечной почке стебля и самом кончике корня. Высокое содержание ауксина вызывает приток в эти клетки воды и питательных веществ, активный рост клеток, богатых ауксином и торможение роста боковых побегов. Это называется *апикальным доминированием*. Если удалить самый кончик корня или верхушку по-

бега, то их доминирующее – преобладающее – влияние исчезнет, начнут расти боковые побеги, пробуждаться пазушные почки, станет ветвиться корень.

Доминирующее влияние верхушки хорошо заметно у подсолнечника. Если у молодого растения удалить верхушечную почку, получится кустистое, с цветущими маленькими корзинками по всему стеблю, выросшими из пазушных почек. А если прищипнуть кончик корня – начнут расти боковые корешки.

От теории к практике

В практике растениеводства хорошо известны приемы прищипки верхней почки для усиления роста боковых побегов и «пикировки» – удаления кончика корня у рассады овощей для образования мочковатых корней. Не все знают, что таким приёмом человек регулирует содержание ауксина в растении.

Было сделано много попыток использовать синтетическую ИУК для повышения урожая растений, но наиболее известным и широко распространённым приёмом осталось увеличение корнеобразования у черенков, особенно трудно укореняемых растений. (В магазинах продается порошок калиевой соли гетероауксина. В таком виде он может храниться много лет, но в растворе разрушается в течение двух дней).

Если обработать нижнюю часть черенка гетероауксином (пастой или поместив на несколько часов в раствор), то в этой части стебля образуется большое количество корневых зачатков, что называется *ризогенезом*.

Ауксин необходим для образования корней в культуре изолированных тканей. Когда в стерильных условиях на питательной среде из группы клеток выращивают целое растение.

Потому гетероауксин и называют гормоном корнеобразования.

Ауксин известен как стимулятор, но при обработке растений гетероауксином можно получить не стимуляцию, а торможение роста. При более высокой дозе он действует как ингибитор. Тогда же было установлено, что стимуляцию вызвать значительно труднее, чем торможение роста. И химики стали со-

здавать в лабораториях дешёвые и эффективные синтетические ауксиноподобные вещества, чтобы бороться с сорной растительностью.

Так началось применение химических средств для прополки сельскохозяйственных культур. Сейчас созданы вещества разной структуры, их называют *гербициды* («убивающие траву»). Есть гербициды сплошного действия – убивающие все растения, а есть гербициды избирательного действия. Избирательно действующие гербициды не мешают расти нужной культуре, например, сахарной свёкле. Остальные растения при действии гербицида погибают или очень плохо растут, не мешая расти свёкле.

Гормон роста стебля

«Бешеный рис»

Примерно в то время, когда внимание биологов было приковано к ИУК, в Японии изучали причину заболевания риса, которую назвали «бешеный рис».

Некоторые растения по непонятной причине начинали расти очень быстро, становились длиннее своих соседей раза в два, но урожая зерна практически не давали. Учёные установили, что болезнь вызывает фузариевый микроскопический грибок *гибберелла*, он поселяется на стебле риса и вызывает его усиленный рост. Вещество, которое ускоряло рост стебля риса выделили, установили его структуру и назвали по имени грибка – *гиббереллином* (рис. 25).

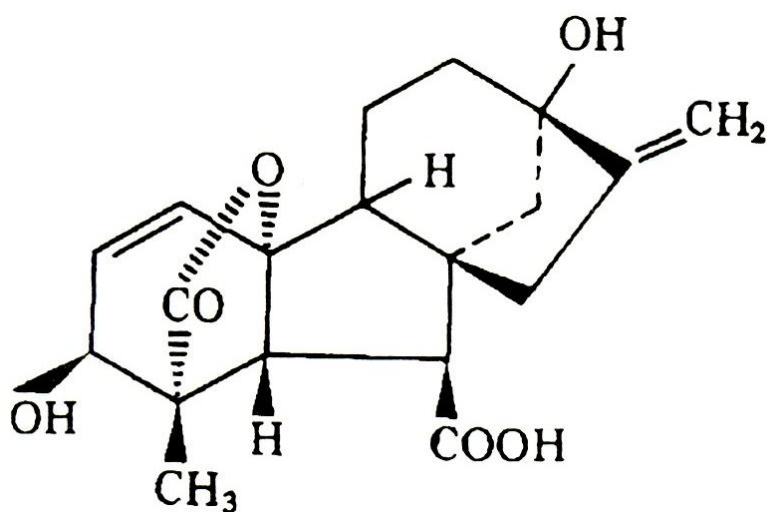


Рис. 25. Структурная формула гиббереллина А-3

То ли потому, что был в то время ауксиновый бум (к тому же считалось, что ИУК – единственный регулятор роста). А возможно и потому, что учёные других стран не знали в те годы о работах японцев, но первыми обратили внимание на гиббереллин американцы в конце сороковых годов. После победы над Японией в 1945 году им стали доступны исследования и архивы этой страны.

Изучение гиббереллина в Европе началось в 1950-х гг. И вскоре было обнаружено, что в растениях тоже синтезируется гиббереллин и влияет на их рост. Только в отличие от грибка, растение регулирует его количество.

После разносторонних исследований установили: в растениях содержатся различные формы гиббереллина, имеющие очень небольшое различие по структуре. Разные формы гиббереллина (известно 60 форм) в разной степени ускоряют рост разных растений. На большинство растений сильнее всего влияет гиббереллин, условно называемый A_3 . Он ускоряет рост стебля большинства растений, но рост стебля огурцов ускоряет другая форма – A_7 . На огурцах гиббереллин увеличивает образование мужских цветков. Да и на многих других раздельнополых растениях гиббереллин усиливает мужское начало (в отличие от ауксина, действующего противоположно).



Рис. 26. Влияние гиббереллина на зацветание двухлетнего растения Золотая розга в первый год жизни: 1 – обработанное гиббереллином, 2 – контрольное

Гиббереллин называют гормоном роста стебля потому, что его влияние сильнее всего проявляется на росте стебля. Гиббереллин ускоряет его во много раз и вызывает стеблеобразование у двулетников в первый год жизни (рис. 26). Он может вызвать цветение двулетников (кочанной капусты, свёклы) в первый год их жизни и заменить длиннодневным растениям длинный день.

Вспомним, что длиннодневные растения именно в период образования и

роста стебля нуждаются в длинном дне. Это связано с содержанием в растениях гиббереллина. На длинном дне в листьях синтезируется гиббереллин и передвигается в точку роста стебля, вызывая его рост.

Если при коротком дне наносить на точку роста по каплям раствор этого фитогормона (концентрации 25 мг на литр воды) подряд несколько дней, можно вызвать рост стебля, что и приведёт к цветению.

В отличие от ауксинов, гиббереллины не нашли большого применения в сельском хозяйстве. Вытягивание стебля под влиянием фитогормона делает стебель тоньше. Сухая масса растения даже уменьшается. Только при выращивании кишмишных (бессемянных) сортов винограда полезно опрыскивание цветущей кисти для увеличения размеров ягод, в пивоваренной промышленности при производстве солода. И в цветоводстве удлинение цветоножек полезно при выращивании цветов на срез, для букетов.

Широко используются в растениеводстве, как это ни покажется странным, антигиббереллины – химические препараты, тормозящие образование гиббереллинов и потому рост растений.

Эти препараты называют ретардантами, (от лат. retare – «задерживаю», «торможу»).

Применяются они, в основном, на посевах злаковых культур – озимой пшеницы, ржи. Дело в том, что стебли молодых злаков содержат много гиббереллинов, особенно при дополнительном питании азотом и достаточном увлажнении, потому быстро растут в высоту. Но быстро выросший стебель не выдерживает веса колосьев и хлеб полегает. Поэтому если в начале интенсивного роста стебля (фаза кущения, до «выхода в трубку», не позже!), растения опрыснуть растворами ретардантов, образование гиббереллинов уменьшится. Стебель какое-то время станет больше расти не в высоту, а в толщину. Прочное основание стебля повышает устойчивость растений к полеганию.

Ретарданты широко применяются на посевах хлебов почти во всех евро-

пейских странах, это один из обычных агротехнических приемов, подобно внесению удобрений. Применяемый у нас в стране ретардант называется ТУР, а ещё он может повысить морозостойкость озимых, если обработать раствором семена перед посевом.

Гормоны деления клеток

Третьей группой гормонов, найденных в растениях, стали цитокинины. В отличие от гиббереллинов, цитокинины в растениях искали. Искали вещество, которое содержится в кокосовом молоке. Оно необходимо при выращивании нового растения из кусочка стебля табака. (Это называется «культура изолированных тканей», см. беседу 9.). Ауксин тоже необходим, но одного ауксина было недостаточно, без добавления кокосового молока клетки не делились.

Обнаружили вещество можно сказать, случайно, и не в кокосовом молоке. Однажды решили испробовать давно хранившийся в пробирке препарат молекул ДНК, и оказалось, что он заменил в культуре изолированных тканей кокосовое молоко. Было это в 1955 году в США.

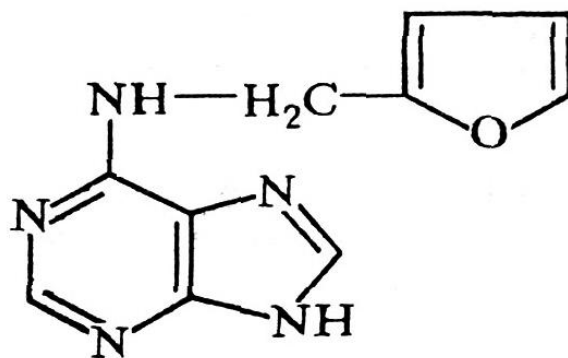


Рис. 27. Структурная формула кинетина

Позже установили его строение, назвали *кинетином* (рис. 27).

Химическое название кинетина *6-фурфуриламинопурин*, он получается при разрушении молекул ДНК. В лаборатории синтезировали группу сходных с кинетином молекул и назвали «кининами». Но в это время уже были известны биологически активные вещества у животных, их называют кининами. Они по химическому строению иные (полипептиды). И в отличие от кининов животных, растительные кинины стали называть «цитокининами».

Долгое время считали, что цитокинины в растениях образуются при распаде молекул ДНК, но сейчас известен предшественник, и путь синтеза в выс-

ших растениях природного цитокинина – *зеатина*.

Считается, что цитокинины образуются в кончике корня и с током воды перемещаются вверх. Больше всего цитокининов содержится в делящихся клетках верхушек побега, клетках камбия, в образующихся и прорастающих семенах.

Цитокинины необходимы для прорастания семян, роста листьев, они задерживают старение листьев. С помощью цитокининов можно прервать глубокий покой почек у деревьев, повысить устойчивость растений к неблагоприятным условиям: высокой или низкой температуре, недостатку воды и болезням.

В отличие от гиббереллинов, увеличивающих образование мужских цветков и растений, цитокинины, как и ауксины, только еще сильнее, усиливают образование цветков женских.

Замачивая семена, а ещё лучше, опрыскивая молодые растения огурцов растворами кинетина, (также и гетероауксина), можно значительно увеличить число женских цветков, собрать более высокий урожай плодов.

Таким образом, не только в культуре изолированных тканей, цитокинины необходимы и в целом растении. *Но, несмотря на то, что они вызывают разностороннее влияние, их называют гормонами деления клеток, по наиболее заметному действию на группы изолированных клеток и весь растительный организм в целом.*

Фитогормоны – ингибиторы

Долгое время считалось, что к фитогормонам можно относить только такие вещества, которые стимулируют рост. Потому, когда нашли в растениях абсцизовую кислоту, установили влияние на растения и структуру, учёные не хотели признавать её гормоном. Тем более не хотели признавать гормоном этилен, у которого из гормональных свойств только возможность действовать в чрезвычайно малых дозах (даже одна миллионная часть этилена в воздухе влияет на растения).

Но сейчас и абсцизовую кислоту, и этилен относят к фитогормонам, они входят в гормональную систему растений.

Гормон стресса

Абсцизовую кислоту называют «гормоном стресса» за её специфическое влияние в резко возникающих неблагоприятных условиях (при стрессах). Особенно при недостатке воды и низкой температуре.

Абсцизовую кислоту выявили практически одновременно в Англии и США в пятидесятые годы прошлого столетия.

В Англии изучали причину опадания (abscission) листьев осенью у листопадных пород. В США изучали причину глубокого покоя (dormancy – покой) почек. Поэтому когда вещество было выделено, то в одной лаборатории назвали его «абсцизин», а в другой – «дормин».

Позже химики установили строение молекулы, сравнили строение абсцизина и дормина, оказалось, что это одно и то же вещество. Учёные договорились называть его абсцизовой кислотой. Хотя, по-видимому, она играет более значительную роль в глубоком покое семян и почек, чем в опадании листьев (рис. 28).

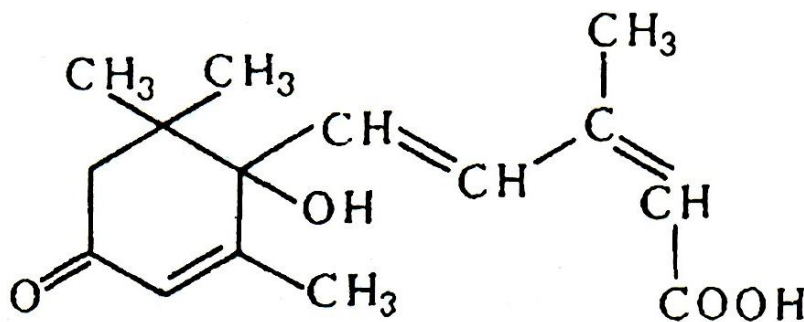


Рис. 28. Структурная формула абсцизовой кислоты

Абсцизовая кислота синтезируется в листьях, а также корнях, созревающих семенах и плодах

Надо сказать, что абсцизовая кислота тоже оказывает разностороннее влияние на растения. Несмотря на то, что в большинстве случаев она тормозит рост и многие процессы обмена веществ, вызывает глубокий покой и старение растений, участвует в геотропической реакции корней, она нужна и как стиму-

лятор для начального роста зародыша и молодых листьев.

В созревающих (но ещё не созревших полностью) семенах абсцизовая кислота препятствует синтезу белков-ферментов и потому преждевременному прорастанию. Но когда семя подсыхает, её содержание уменьшается: в сухих семенах синтеза ферментов нет, и абсцизовая кислота становится ненужной.

В дальнейшем, при прорастании семян, в них становится много стимуляторов: цитокининов, ауксинов, гиббереллинов. Тогда малое количество абсцизовой кислоты не мешает образованию ферментов, необходимых для прорастания, и семена прорастут.

Наиболее быстрое и наглядное действие абсцизовой кислоты наблюдается при стрессовых ситуациях. При резком похолодании, недостатке воды, оно проявляется уже через 5 минут. Когда растение начинает испытывать водный недостаток и содержание воды в листьях снижается ещё на 2 % (от 88 до 86 %), содержание абсцизовой кислоты возрастает уже в 20 даже в 40 раз. Это вызывает закрывание устьиц и потому потеря воды листьями уменьшается, растение меньше страдает при небольшой засухе. То же происходит при резком похолодании.

Гормон старения

Так называют единственный гормон, который представляет собой летучее вещество – газ: $\text{CH}_2=\text{CH}_2$.

Интересно, что этилен, пожалуй, последним был причислен к фитогормонам, хотя его влияние на растения обнаружено в 1901 году.

Тогда ещё студента Петербургского университета, Д.Н. Нелюбова заинтересовало, почему деревья, растущие около фонарей, рано сбрасывали листья. (В те годы для освещения в фонарях использовался светильный газ).

Позже исследования уже молодого учёного показали, что содержащийся в светильном газе этилен влияет и на этиолированные проростки гороха. Газ делает их толще и вызывает изгиб даже при очень малой концентрации.

В двадцатые годы выявили, что этилен ускоряет созревание плодов. А в

тридцатых годах обнаружили: этилен вырабатывают сами растения. Но, как мы теперь знаем, только живые, мёртвые ткани этилен не выделяют.

Этилен вызывает не только торможение роста и *эпинастию* (изгибание листьев вниз) у многих растений. Растения выделяют этилен и при различных повреждениях, заболеваниях, причем, чем старше растение, тем больше выделяется этилена. Особенно заметно влияние этилена на процессы старения: увядание цветков, пожелтение и опадание листьев, созревание плодов.

Созревающие и зрелые плоды вырабатывают этилен. Это свойство газа используют для ускорения созревания собранных незрелых плодов томатов, яблок... Однако чтобы зрелые плоды хранились дольше, применяется углекислый газ: он подавляет образование и действие этилена, большое количество которого при хранении нежелательно.

И другие регуляторные вещества

Все вещества, влияющие на рост растений, составляют *систему*, объединение. Благодаря системе, растительный организм регулирует рост, приспосабливается к внешним условиям.

Рост растений во многом зависит от «гормонального баланса», т. е. от соотношения гормонов-стимуляторов и ингибиторов роста. Например, при прорастании семян в темноте, стебелёк содержит мало стимуляторов и много ингибиторов роста. Но как только он появляется на поверхности почвы, на свету, соотношение сразу же меняется. Количество стимуляторов увеличивается, а ингибиторов – снижается: рост стебелька тормозится, начинают расти листья.

Осенью в почках многолетних растений, в только что созревших семенах содержится больше ингибиторов, чем стимуляторов. Ближе к весне гормональный баланс меняется в сторону преобладания стимуляторов роста. В основном это происходит благодаря изменению образования регуляторных веществ.

Интересно, что в растении из одного предшественника может образо-

ваться и стимулятор и ингибитор роста. Например, из мевалоновой кислоты в зависимости от потребности растения может образоваться либо гиббереллин, либо абсцизовая кислота. Общий предшественник и у гетероауксина и природного ингибитора роста – пара-кумаровой кислоты.

Пара-кумаровую кислоту, как и ряд других фенольных веществ, тормозящих рост, не относят к фитогормонам. Как мы уже говорили, эти соединения действуют в значительно более высоких концентрациях, чем гормональные вещества, они не перемещаются для проявления своего действия по растению. Кроме того, известные нам фитогормоны присутствуют во всех растениях. Ингибиторы, не относящиеся к фитогормонам, у многих растений различны. Например, для яблони характерен флоридзин, для овса – скополетин, различны ингибиторы и у других растений.

Ещё не все соединения регуляторной системы нам известны. Из пыльцы растений семейства крестоцветных (брюссельская капуста) сравнительно недавно выделены вещества, влияющие на рост растений. Их назвали *брассинолидами*. По строению брассинолид похож на стероидный гормон животных, возможно, это новый растительный гормон.

В нашей стране многое сделали в изучении регуляторной системы растений такие учёные как В. И. Кефели, Э. М. Коф, О. Н. Кулаева, Г. С. Муромцев, В. В. Полевой, Л. Д. Прусакова, Р. Х. Турецкая, Н. Г. Холодный, Н. И. Якушкина и другие.

Можно предположить, что в скором времени будут найдены новые регулирующие рост молекулы, здесь предстоит ещё множество открытий. Все они участвуют в регуляции важнейшего процесса – роста. В значительной мере благодаря регуляторам создаётся и действует чрезвычайно сложная и слаженная система – организм.

О том, как работает эта система, как растение питается, и взаимодействуют все его ткани и органы, мы познакомимся в следующих беседах о растениях.

БЕСЕДА ПЯТАЯ

КОРНИ. КОРНЕВОЕ, ИЛИ МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Корни

Зачем растению корни

Наиболее известная «обязанность» корневой системы – поглощать и передавать надземной части воду и минеральные соли, закреплять растение в почве. Но корни выполняют много и других, необходимых для всего растения функций.

В корнях происходит синтез многих витаминов, превращения азотистых соединений, в том числе нитратов, в корнях образуется растительный гормон цитокинин. Интересно, что никотин (зачем он нужен растению пока неизвестно) почти весь синтезируется в корнях. Корни влияют на образование зелёного пигмента хлорофилла в листьях. У многих лекарственных растений целебными свойствами обладают именно корни.

О синтетической роли говорит и наличие воздушных корней у многих тропических растений, без них эти растения погибают.

Корни имеют большое значение для запасания питательных веществ. Даже там, где они не преобразованы в специальные вместилища, как у корнеплодов.

Наконец, корни обеспечивают взаимодействие с почвенными микроорганизмами и своими соседями, выделяя различные вещества, а также объединяются с грибами и клубеньковыми бактериями.

Вы обратили внимание, что на низких заболоченных участках леса деревья засыхают, причем гибель начинается с вершины?

Лесоводы это называют «суховершинностью» и объясняют «вымоканием» корней. Суховершинность особенно заметна у берёзы и других деревьев со стержневым корнем. Проникая глубоко в почву, кончик корня попадает в зону,

где много воды. Здесь клеткам недостаёт кислорода, нарушаются процессы обмена, накапливаются вредные вещества. Всё это вызывает гибель окончания корня.

А растение – целостный организм, все его части связаны между собою. Между корнем и надземными органами очень тесное взаимодействие. Двусторонняя связь организована даже анатомически. Определённые участки корня снабжают «свои» надземные части. Окончание главного корня связано с вершиной дерева. Если вы видите, что с одной стороны кроны свободно растущее дерево начинает хуже расти и плодоносить, значит, корни с этой стороны по какой-то причине очень страдают. И, наоборот, если у дерева плохо освещена сторона кроны и плохо поэтому растёт, то корни с этой стороны тоже будут расти хуже.

Такая зависимость роста и развития одних органов растения от других называется р о с т о в ы м и к о р р е л я ц и я м и . Эту взаимосвязь полезно учитывать при внесении удобрений, особенно навоза или перегноя. Их нужно располагать равномерно, причем ориентируясь на края кроны, так как здесь находятся корневые мочки, питающие дерево.

Корневая система

Все многочисленные обязанности выполняются в разных частях корней, соподчиненных друг другу и регулируемых растением. Поэтому специалисты предпочитают говорить о *корневой системе*. Что это такое?

Первое время после прорастания корень нужен, чтобы закрепить проросток в почве и снабжать его водой. Поэтому растёт только главный корешок в длину, чтобы глубже проникнуть в те слои почвы, где воды должно быть достаточно (верхний слой земли быстро подсыхает). После достижения определённой длины у корня начинается образование боковых корней, они по мере роста, в свою очередь образуют ответвления. Так получают корни разных порядков ветвления: первого, второго, третьего..., но обычно не больше четвертого-пятого.

В результате возникает множество разных корней, соподчинённых друг другу – корневая система. У однолетнего сеянца яблони, например, их насчитывается свыше 45 тысяч. А у четырехмесячного растения ржи от 143 корней первого порядка ветвления получают 11,5 миллионов корней четвертого порядка ветвления. Благодаря этому растение тесно объединяется с почвой – корни пронизывают её.

Корневая система бывает *стержневой*: значит, имеет основной, главный корень с ответвлениями (стержень), и *мочковатой*, – без главного корня. Стержневая система характерна для двудольных, а мочковатая – для однодольных растений. Мочковатая корневая система может возникнуть и при повреждении главного корня у двудольных растений, а также при образовании на стеблях придаточных корней.

Окончания корней (два последних порядка ветвления) называют *корневыми мочками*. Они бывают двух типов: *растущие* и *всасывающие*. Клетки растущих мочек делятся, растут и образуют следующие ветвления с растущими и всасывающими мочками. Всасывающие мочки недолговечны, через две-три недели они отмирают. Всасывающие мочки активно участвуют в поглощении воды и минеральных веществ, потому так и называются. Это название не совсем верно. Растение не всасывает в клетки корня почвенный раствор, но поглощает вещества избирательно. Оно отбирает из почвы те элементы, которые ему необходимы, причём в нужном количестве и соотношении.

Поглощение воды и веществ только в небольшой степени зависят друг от друга. Поэтому агрономический термин «всасывающие» – не точен, правильнее было бы назвать эти мочки «поглощающими». Но будем их называть, как принято. Клетки на окончаниях всасывающих мочек бывают оплетёнными гифами особых грибов, образуя *микоризу*. (Взаимовыгодное сожительство – симбиоз мицелия гриба с корнями растений).

Растущие мочки микоризы не образуют, но у них формируются *корневые волоски*. После того как разделившаяся клетка эпидермиса перейдет к растяже-

нию, на ней начинают образовываться выросты, похожие на пальцы, их называют *корневыми волосками*. К окончанию растяжения такой клетки корневые волоски могут быть длинными, до 1 см (рис. 29).

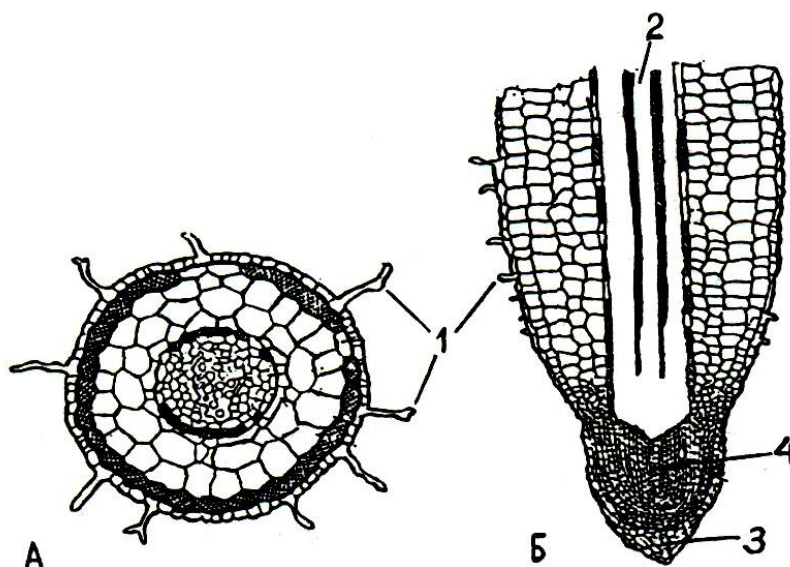


Рис. 29. Окончание и меристема корня клена с корневыми волосками. *А* – поперечный, *Б* – продольный срезы корня: 1 – корневые волоски; 2 – проводящие сосуды; 3 – корневой чехлик; 4 – клетки меристемы

На окончаниях корней образуются клетки, покрытые слизью – *корневой чехлик*. Слизь оберегает нежные клетки корня от механических повреждений твёрдыми частицами почвы. Растущие, растягивающиеся клетки корня проталкивают кончик через частицы почвы, и слизь его защищает.

В корневом питании растений клеткам с выростами – корневым волоскам – принадлежит главная роль. Здесь происходит поступление воды и минеральных солей для всего растения, поэтому зону корневых волосков называют *рабочей поверхностью корня*.

Участки корня с корневыми волосками невелики, всего полтора – два сантиметра длиной. Они ограничены и во времени: после того, как корневые волоски выберут доступные им питательные вещества, они отмирают. Эта часть поверхности корня покрывается плотным защитным слоем – пробкой.

Для поглощения питательных веществ корень движется им навстречу. Потому происходит непрерывное образование новых клеток с корневыми во-

лосками – рост корней. Корневая система, общая поверхность корня увеличиваются. Хотя доля рабочей поверхности в общем объёме корней становится меньше. Однако это может не отразиться на работе корневых волосков, она зависит от многих причин, во многом от общей жизнедеятельности растения.

Чья поверхность больше

Когда при пересадке мы вынимаем растение из почвы, корневая система нам кажется небольшой. Но это потому, что основная часть, кстати, самых деятельных корней, остается в земле. На самом деле поверхность корней намного больше, чем поверхность надземной части растения.

Подсчитано, что у четырехмесячного растения ржи поверхность корней больше надземной части в 130 раз.

Размеры корневой поверхности в основном связаны с наличием корневых волосков. Их количество на том же растении исчислялось полутора десятком миллиардов.

В течение лета поверхность корней неодинакова, она увеличивается, растет с возрастом растения, достигая наибольшего размера к периоду цветения. По мере созревания семян и, следовательно, надобности в деятельности корней, их объём уменьшается, снижается синтетическая и поглотительная активность (не путать с корнеплодами!).

Растение очень экономно расходует свои силы и свои запасы. Корни ведь не только питают растение, но и сами нуждаются в поступлении органических соединений из листьев. Поэтому растению в конце вегетации полезнее направить все вещества, созданные в листьях, формирующимся семенам.

В это же время из листьев, особенно старых, перемещаются к растущим частям отдельные минеральные элементы: калий, азот, фосфор... Это позволяет использовать один и тот же элемент несколько раз, что называется «реутилизацией». Способность к реутилизации и позволяет растению во второй половине вегетации уменьшить объём и деятельность корней, больше работать на образование потомства.

Где располагаются корни

Расположение корней в почве зависит от вида растения и условий выращивания. Рост корней происходит очень активно. Растениям это необходимо, поскольку не минеральные вещества перемещаются к корню, а корень движется – растёт к ним, к воде. Если в почве содержится достаточное количество воды, то основная масса корней располагается в пахотном слое. Но если воды недостаточно, корни растут по направлению к воде и тогда значительная их часть находится в глубине, там, где есть вода (рис. 30). Правда, там мало питательных веществ, что, конечно, сказывается на урожае, зато растения при засухе не погибают. Только у ряда растений, например, лука, и при недостатке влаги корни глубоко проникать не могут (им помогает бороться с засухой запас влаги в луковицах).

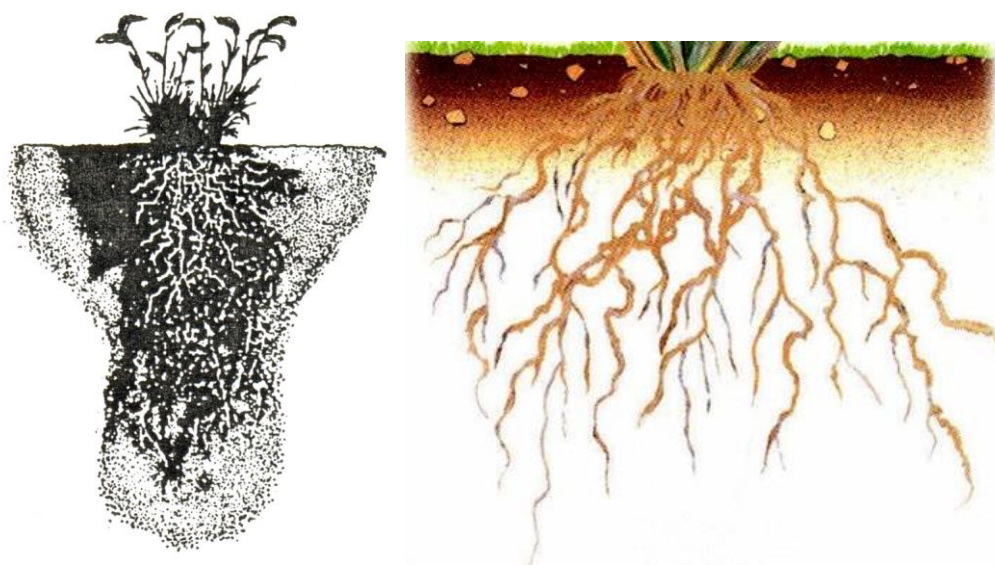


Рис. 30. Мочковатая корневая система злаков и ее распределение в почве

Считается, что наибольшая длина корней гороха – полтора метра, свёклы – до трех метров. (Поэтому в первый период роста, когда ещё не растёт корнеплод, свёкла довольно засухоустойчива). Самой большой длины достигают корни люцерны – до пяти метров, это засухоустойчивая культура.

Рост корней зависит и от содержания питательных веществ в почве. Чем больше питательных веществ в пахотном слое, тем дольше работают на одном

месте корневые волоски, меньше растёт новых корневых окончаний.

На бедной земле корни растут активнее, захватывая своей поверхностью всё больший объём почвы. Потому площадь корней, количество корневых волосков на бедной азотом почве, увеличены по сравнению с корнями на почве, богатой питательными веществами. Но в бедной почве корневые волоски живут недолго. Как только выберут минеральные вещества, они отмирают, а в новом месте образуются новые. Растение в этих условиях вынуждено больше работать на рост корней в ущерб надземной части. И, наоборот, при хорошем питании азотом идет активный рост стеблей и листьев, тогда корни растут меньше.

Рост корней, направление роста зависит и от расположения в почве различных веществ. Если на бедной почве внести удобрения по её поверхности, рост корней будет направлен вверх, к питательным веществам. Многолетние растения в бесснежную зиму после такого удобрения могут даже погибнуть, вымерзнуть. Но если в почве находятся ядовитые вещества или минеральные соли в очень высокой концентрации, рост корней будет направлен в противоположную сторону, не приближаясь к ним. Это явление называют *хемотропизм*, но механизм его пока не расшифрован.

Запасание веществ в корнях

Роль корней заключается не только в питании растений. Корни многолетних и некоторых двулетних растений способны накапливать питательные вещества. Всем известны такие сельскохозяйственные растения как свёкла, морковь, петрушка и другие, их разрастающийся стержневой корень называют *корнеплодом*. При прорастании семян у них начинает расти тонкий стержневой корень, он может глубоко проникнуть в почву.

Такой корень не имеет широко развитой корневой системы. Но даже в очень молодом возрасте растения свёклы, моркови не выносят тесноты. И если в этот период растениям будет тесно, то улучшение условий в дальнейшем, в более поздние сроки, уже практически не скажется на росте корнеплода. Потому так спешат растениеводы с прорывкой всходов свёклы, моркови.

Когда образуется достаточно большая розетка листьев, растение начинает формировать корнеплод. Вначале идет разрастание тканей, в которых затем запасаются вещества, необходимые для активного роста на следующий год. В это время от корнеплода отходят тонкие ниточки – это поглощающие корни. Они бывают короткими и потому во второй половине вегетации корнеплоды чувствительны к недостатку, как влаги, так и питательных веществ.

Особенно интенсивное накопление в клетках корнеплода сахаров, каротиноидов и других веществ происходит в завершающий период вегетации, в средней полосе – в сентябре.

Иначе запасают питательные вещества георгины. У них образуются специальные корневые выросты (корнеклубни), им передаются из листьев и корней углеводы и другие питательные вещества.

Многолетние растения, особенно травы, также запасают питательные вещества в своих корнях, корневых утолщениях, подземных стеблях, а деревья и кустарники, и в стволах, побегах.

Запасание веществ происходит во второй половине лета, когда хорошо сформируется надземная часть, закончится цветение и, в основном, созревание семян.

Поэтому сразу после цветения не надо спешить с удалением листьев у тюльпанов, пионов – листья будут работать на подготовку к зиме. А вот созревшие плоды не следует задерживать на деревьях. Чтобы созревшие плоды не мешали листьям в оставшиеся теплые дни запастись питанием на зиму и подготавливать урожай следующего года. (То, что яблони поздних сортов имеют более выраженную периодичность плодоношения, чем ранних сортов, отчасти объясняется тем, что листья у ранних сортов после сбора урожая успевают больше веществ отложить в запас).

Завядшие цветки, если нет желания собрать семена, надо обязательно сразу удалить, чтобы растение формировало новые бутоны.

У огородных культур, например, у картофеля, тоже полезно удалять со-

цветия, но лучше после цветения. Образование цветков и цветение активируют все процессы жизнедеятельности. Цветение повышает устойчивость к болезням и неблагоприятным условиям, повышает «аппетит», всё это положительно скажется на урожае клубней.

Корневое, или минеральное, питание растений

Растение наращивает массу в основном в процессе питания воздушного – фотосинтеза. Листья усваивают с помощью световой энергии из воздуха углекислый газ и создают из него и водорода воды – сахара, крахмал, органические и аминокислоты. Из почвы, через корневое питание, растение получает во много раз меньше созданного листьями.

Растения сахарной свёклы в период интенсивного роста за сутки на одном гектаре усваивают сотни килограммов углекислого газа. А из почвы за это время получают немногим больше пяти килограммов основных минеральных веществ – азота, калия, фосфора вместе взятых.

И всё же без веществ, поступающих через корни, растение не смогло бы жить. Более того, если только один из необходимых минеральных элементов будет полностью отсутствовать, растение погибнет. Конечно, совсем исключить отдельные элементы можно лишь в искусственных условиях, при выращивании растений с химическими реактивами. В почве всегда есть все элементы, хотя их может быть недостаточно для хорошего роста и развития растений. Человек, изменяя условия корневого питания, внося питательные вещества в почву, влияет на урожай растений и качество продуктов. Наряду с орошением, в настоящее время наиболее эффективное средство повышения урожая – применение удобрений.

Почему мы говорим – корневое, или минеральное, питание растений

Почти всё многообразие элементов, содержащихся в растении, поступает из почвы через корни. Причем практически только в виде минеральных веществ, точнее – ионов. Потому мы и говорим о корневом, или минеральном пи-

тании, ставя между этими понятиями знак равенства, хотя это не совсем точно. Надо сказать, что сам термин и понятие *минеральное питание* стали применяться совсем недавно в сравнении с историей земледелия.

О том, что существует зависимость между почвой и урожаем, понимали в самом начале земледелия. После нескольких лет хороших урожаев почва переставала быть плодородной, и земледельцы осваивали новые участки из-под лесных зарослей.

В свое время Аристотель говорил, что у растений рот в земле. Но чем питается из земли растение было неизвестно, предполагалось, что самой землёй. Первая теория корневого питания растения называлась «водная»: считалось, что растение питается водой. Такая точка зрения была по-своему обоснованной. В 1629 году стал известен опыт голландского ученого Ван Гельмонта: пять лет он выращивал ветку ивы в сосуде с почвой. За эти годы ветка ивы выросла и стала весить в 33 раза больше, чем в начале, а вес сухой почвы уменьшился только на одну двухсотую часть. Поскольку кроме воды в сосуд с почвой ничего не поступало, Ван Гельмонт сделал вывод, что растение питалось водой. Необходимо напомнить, что о воздушном питании, о роли листьев в питании растений, тогда не знали.

«Водная» теория просуществовала до 1809 года, когда была предложена «гумусовая» теория. По этой теории растение питается гумусом – органическим веществом. И только в 1840 году известный немецкий химик Ю. Либих опубликовал книгу «Химия в приложении к земледелию и физиологии растений». В ней он обосновал представление, что в растение из почвы поступают минеральные соли. Либих определил содержание разных минеральных солей в растении, и предложил для сохранения плодородия почвы вносить в неё все элементы, взятые растением из почвы. Так Либих положил начало теоретически обоснованному агротехническому приёму внесения в почву минеральных удобрений. Это имело уже в те годы большое значение для сельскохозяйственного производства на истощённой почве Западной Европы.

О применении веществ, обогащающих почву, в России тоже говорили во второй половине XVIII века. Ряд агрономов рекомендовали применять навоз, золу, известь, гипс, прудовый ил и другие вещества, обогащающие почву.

Позже стало известно, что можно возвращать почве не все, а только те элементы, которые выносятся растением в наибольших количествах. Главное, в которых оно особенно нуждается: азот, фосфор, калий. При этом важно не только вносимое количество элементов, но и их сочетание. Стала понятна и необходимость микроэлементов. С помощью микроэлементов можно не только восстанавливать, но и повышать почвенное плодородие.

Кроме того, установлено, что различные культуры в разные периоды своей жизни нуждаются в неодинаковых количествах минеральных веществ. Была установлена и роль органических веществ при внесении навоза и перегноя в почву. Известно, что навоз и перегной играют самую положительную роль в плодородии: они содержат практически все необходимые питательные элементы. Кроме того, они создают наиболее благоприятную среду в таком сложнейшем организме, как почва, с её химическими, физическими и биологическими свойствами.

Однако нам надо помнить, что какую бы важную роль в почве не играли органические вещества, в клетки корня поступают минеральные элементы, высвободившиеся из органических молекул.

Роль в растении отдельных элементов

Какие элементы содержатся в растении

В растениях обнаружены практически все элементы земной коры, только в разных количествах. Больше всего содержится углерода и кислорода – в среднем 85-87 %, водорода значительно меньше – 6-7 %, азота примерно 1,5 %. Остальные 5-7 % приходятся на все остальные элементы – их называют *зольными*, потому, что они остаются в золе после сжигания растений. Но содержа-

ние золы в разных частях растения неодинаково, больше всего золы в листьях, особенно в середине лета. Значительно меньше её в семенах, а меньше всего в древесине – около 1%. Потому что древесина почти полностью состоит из органических молекул, при сжигании они улетучиваются.

Содержание элементов, входящих в состав золы, тоже неодинаково.

Академик В. И. Вернадский разделил элементы по процентному содержанию в растениях на 14 групп, но обычно, по его же предложению, их разделяют на три группы: макроэлементы, микроэлементы и ультрамикроэлементы. К макроэлементам относятся *углерод, кислород, водород, азот, калий, фосфор, кальций, сера, магний, натрий, кремний, хлор, алюминий*. Они содержатся от десятков до сотых долей процента.

Микроэлементы содержатся от тысячной до миллионной доли процента, ультрамикроэлементы – в еще меньших количествах, трудно уловимых анализом.

Не все содержащиеся в растении даже макроэлементы, совершенно необходимы для роста и развития растений, не одинакова их обязанность. Так, одни из них являются собственно питательными веществами (выполняют структурную роль – составляют тело растения). Другие необходимы для участия в каталитических реакциях, создают определенную буферность в клетке, повышают содержание ионов и тем самым диффузное поступление в клетки воды.

К поступающим из почвы *питательным* макроэлементам относятся *азот, фосфор и сера; металлы – калий, кальций, железо – участвуют в каталитических реакциях; кальций и магний повышают устойчивость коллоидов клетки, мембран и клеточной оболочки. Все названные макроэлементы совершенно необходимы растению. Каждый из них выполняет свою, присущую только ему обязанность в обмене веществ и потому каждый из них необходим, замены ему не может быть. Их так и называют – необходимые и незаменимые.*

Менее заметен недостаток микроэлементов, но не оттого, что они менее необходимы. Просто они обычно присутствуют в достаточном (или почти достаточном) количестве в почве и даже в обычной воде.

Для того чтобы понять, почему некоторые элементы так необходимы и не взаимозаменяемы, попытаемся вкратце рассмотреть их роль в растении и начнем с азота.

Азот – «нежизненный»

Всем известно, что азот входит в состав аминокислот, белков, нуклеиновых кислот и других молекул, необходимых для жизнедеятельности всех существ на нашей планете. Без азота нет жизни, и в то же время само слово «азот» означает «нежизненный», – так называли его химики. И отчасти были правы: молекулярный азот не участвует в жизненных процессах. Он не поддерживает дыхания и горения, и он недоступен для питания растений.

Интересно также, что азот – один из самых важных элементов питания, самый необходимый, может быть и опасен для человека и животных. Парадокс заключается ещё и в том, что растение часто испытывает недостаток в азотном питании, в то время как листья омываются воздушным потоком, в котором более чем три четверти – азота. Но, увы! – в молекулярной форме, доступной лишь некоторым микроорганизмам.

Азот поступает в растение через корни в виде ионов: анионов (нитратный азот) и катионов (аммоний). Органический азот для растений практически недоступен. Поступивший в клетки корня нитратный азот через несколько промежуточных превращений в растении восстанавливается до аммиака. Аммиак объединяется с органическими кислотами, образуя такие аминокислоты, которые могут аммонийную группу передавать иным органическим кислотам. Так возникает многообразие аминокислот и других азотсодержащих молекул.

Чтобы большое количество образовавшихся аминокислот не повысило кислотность в клетке, к некоторым аминокислотам присоединяется ещё по одной аммонийной группе – образуются нейтральные *амиды*. В амидной форме растения могут накапливать много азота – это важная форма его запасания. Отсюда азот может быть быстро использован для разнообразных синтезов.

Большинство растений запасает низкомолекулярный азот в амидной форме. Но есть и такие, что в вакуоли накапливают аммиачный азот. Эти растения называют *аммиачными*, у них кислый клеточный сок (щавель, кислица).

Поступающий в растения аммиачный азот не подвергается дополнительным превращениям, он сразу же объединяется с органическими кислотами, образуя аминокислоты.

Растению, казалось бы, выгоднее поглощать только аммоний, чтобы не расходовать силы на восстановление нитратов. Но это не совсем так: неиспользованный сразу на построение аминокислот аммонийный азот токсичен и для животных и для растений. Нитраты же в растениях могут накапливаться в довольно больших количествах. Это не отразится плохо на их состоянии, но вот для человека и животных будет опасно.

Нитраты

Несмотря на то, что роль азота одинакова во всех организмах, его превращения в растении и у человека имеют некоторые отличия.

Главное отличие заключается в том, что растение очень бережно относится к этому элементу. Оно сохраняет поступивший азот в виде амидов, запасных белков, нитратов. А у нас излишки неиспользованного на построение белков азота ежедневно выводятся из организма. Иначе они вредны, особенно для малышей и пожилых. Ядовиты для человека не сами нитраты, а одно из промежуточных соединений – нитриты. Нитраты могут превращаться в нитриты не только в растениях, но и в организме человека и животных. Они попадают в кровь и разносятся по всему телу. Часть излишков азота выводится из организма, но оставшиеся азотистые соединения вызывают отравление. В зависимости от количества оставшихся нитратов может наступить гибель. Бывали случаи, когда погибали даже стада животных, которым скармливали овощи и бахчевые культуры с высоким содержанием нитратов.

Считается безвредным ежедневное поступление 5 мг нитратов на килограмм веса человека.

К сожалению, неумелое внесение удобрений, содержащих нитраты, превышение их дозы, приводит к тому, что, неиспользованные растением, они вымываются из почвы и поступают в подземные воды, озёра, реки. Поэтому вблизи огородов даже вода может содержать значительное количество нитратов.

Растения различаются по способности накапливать нитраты. Так, высокое их содержание (до 5000 мг на килограмм сырой массы) у кресс-салата, укропа, кинзы, зелёного лука, в корнеплодах редиса и свёклы. Среднее содержание (300-600 мг на килограмм сырой массы) у цветной капусты, кабачков, редьки, моркови, огурцов, белокочанной капусты. Малым содержанием (10-80 мг на килограмм) характеризуются брюссельская капуста, фасоль, томаты, щавель, репчатый лук, картофель.

При обильном питании растений нитратами, их может быть в них и больше, но при умелом внесении удобрений может быть и меньше.

Не одинаковое количество нитратов и в самом растении. У картофеля их больше всего в кожуре, около глазков. В кожуре много нитратов у огурцов, кабачков, редьки, редиса. Огурцы и кабачки содержат много нитратов в месте прикрепления – около черешка. В капусте богаты нитратами верхние кроющие листья и кочерыжки. Корнеплоды свёклы больше половины нитратов содержат в верхней части, а моркови – и на кончике. У листовых овощей богаты нитратами черешки, в листовых пластинках их значительно меньше.

Возникает парадокс – чтобы получать высокие урожаи, нужно «кормить» растение азотом. Но большое его количество в растении опасно для здоровья. Что делать? Не надо отчаиваться – содержание нитратов в большой степени зависит от условий, благоприятных для полного их превращения в белковые молекулы. О них мы сейчас и поговорим.

Восстановление нитратов

Восстановление нитратов начинается уже в корневых волосках и в благо-

приятных условиях заканчивается в корнях. То количество, которое по тем или иным причинам осталось, перемещается по стеблю в листья, плоды, запасные органы (корнеплоды и другие). Там процесс восстановления завершается. В стебле и черешке происходит только транспорт нитратов.

В огурцах, кабачках нитраты вначале поступают в зелёную кожицу, где восстанавливаются, и уже безвредные для нас продукты поступают в середину овоща. Из нитратов поступивших в корнеплод, большая часть перемещается в листья, где они восстанавливаются, а часть превращается в самом корнеплоде в запасные формы азота. Потому к окончанию созревания корнеплодов содержание в них свободных форм азота резко снижается, а в молодых, растущих корнеплодах нитратов ещё довольно много.

Следовательно, не нужно спешить с уборкой моркови, свёклы, петрушки и других корнеплодов.

К сожалению, по внешнему виду определить высокое содержание нитратов можно лишь у арбуза: при встряхивании семена болтаются в своих гнёздах, а нити в мякоти имеют коричневатый цвет.

Чтобы нитраты в растении восстанавливались до безвредных для нас соединений, требуется активный обмен веществ, работа ферментов, и много молекул, богатых энергией. Следовательно, нужно достаточное количество фосфора и калия, создание благоприятных условий для фотосинтеза и дыхания.

В тех условиях, когда активно работают листья (значит, образуются углеводы), растение хорошо дышит (в процессе дыхания образуются органические кислоты, связывающие аммоний, создаются молекулы, богатые энергией), активно идёт синтез белков, – тогда поступившие в растение аммоний и нитраты быстро используются растениями.

Если есть только два первых условия, а синтез белка замедлен, тогда растение запасает азот в форме амидов. Но в тех условиях, когда мало органических кислот, превращение нитратов может привести к накоплению аммиака. Аммиак растению вреден, потому превращение не идёт, и накапливаются нит-

раты. Как видим, растение регулирует азотный обмен в клетках так, как ему это полезно.

На превращение азота влияет и температура, причём по-разному, в зависимости от растения. Для теплолюбивых культур превращениям способствует достаточно высокая температура, – в холодную погоду они содержат больше нитратов. А для холодостойких растений, таких, как капуста, высокая температура превращение нитратов тормозит.

Растение способно регулировать и поступление азотистых соединений. В условиях слабого освещения и во всех случаях, когда ослаблены фотосинтез и дыхание (следовательно, в растении будет мало углеводов и органических кислот, присоединяющих аммоний), растение предпочтет нитраты. А если оно богато углеводами и органическими кислотами – выберет аммоний.

Форма поглощения азота зависит и от почвы: на кислых почвах активнее поглощается нитратный азот, а на нейтральных – аммонийный. Влияет на поглощение присутствие ионов калия и кальция. В первом случае растение лучше поглощает нитратную, во втором – аммонийную форму азота.

Предпочтение зависит и от растения, от усвоения углерода в процессе фотосинтеза. Растения с C_3 типом фотосинтеза (пшеница) лучше растут и быстрее развиваются при аммиачном источнике азота, а растения с C_4 типом фотосинтеза (кукуруза, просо) – при нитратном. (О фотосинтезе и путях усвоения углерода мы поговорим позже).

Помогаем растению превращать нитраты

Растение способно регулировать происходящие процессы в нужном для себя направлении, но во всех случаях постарается насколько возможно запасти себя азотом.

Можно ли помочь растению в улучшении азотного питания и в то же время не принести вред себе и животным? Можно, улучшив режим освещения в теплице, в полевых условиях – избежав загущенности посевов и посадок. Надо, чтобы всё растение хорошо освещалось солнцем и больше вырабатывало углеводов и энергии.

При слишком густой посадке растений листья, не освещаемые солнцем, становятся паразитами.

Для восстановления нитратов требуется активная работа ферментов, участвующих в этих реакциях, и образование молекул, богатых энергией. Значит, необходимы калий, фосфор, а также, микроэлементы: молибден, медь, цинк. Поэтому при внесении в почву азотных удобрений обязательно добавлять фосфор, калий и, желательно, микроэлементы.

И, наконец, нужно создать благоприятные условия для дыхания корней: почва должна быть влажной, но не заполненной водой, и рыхлой, значит, хорошо обогащённой кислородом. Кислую почву полезно известковать для создания нейтральной реакции.

Фосфор и сера

Преобразования азота неразрывно связаны с преобразованиями фосфора. Два эти элемента необходимы друг другу: азот необходим как составная часть органических молекул. Структурная роль фосфора тоже очень велика. Он вместе с азотом входит в состав нуклеиновых кислот, фосфолипидов и многих других молекул, важных для жизнедеятельности. Но она ещё значительнее в превращениях энергии.

Важнейшая роль в энергетическом обмене у молекул аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ): все процессы в клетках, требующие затрат энергии, в первую очередь связаны с молекулами АТФ (рис. 31).

В молекуле АТФ содержится три остатка фосфорной кислоты. При отделении третьего остатка выделяется порция энергии. Эта энергия может быть использована на все нужды, требующие энергетических затрат, – в основном, на процессы синтеза, а также на транспорт веществ.

Образовавшаяся после отделения одного остатка фосфорной кислоты молекула аденозиндифосфорной кислоты (АДФ) может вновь присоединять остаток фосфорной кислоты. Но на это нужно затратить энергию. Образование из АДФ и остатка фосфорной кислоты молекулы АТФ происходит в процессах дыхания и фотосинтеза.

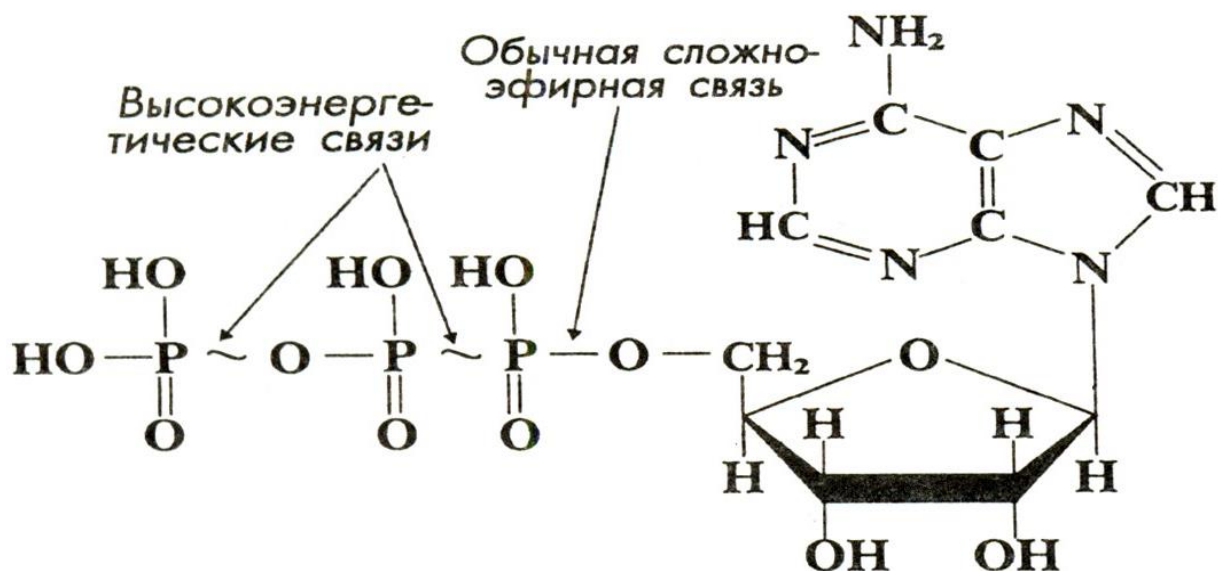


Рис. 31. Структурная формула аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ)

Мы помним, что превращения азота связаны с затратой энергии, поэтому если растение обеспечить необходимым количеством азота, но не дать фосфора, то АТФ из АДФ и фосфора неорганического не восстановится, и желаемого урожая уже не достигнуть, а в растении будет много нитратов. Мало того, значительная часть азотного удобрения не поглотится растением, и вымоется в подпочвенные горизонты.

Азот и фосфор очень дружественные элементы и при совместном внесении помогают друг другу в поглощении из почвы (если внести только азот или только фосфор, они поглотятся в меньшем количестве, чем внесённые вместе). Помогают и во влиянии на урожай. Это называется *синергизм* – усиление действия друг друга.

А вот азот и сера и поступают независимо друг от друга. Они не повышают урожай при совместном применении больше, чем внесённые в почву поодиночке. И это несмотря на то, что сера входит в состав всех глобулярных белков (свернутых в клубки – глобулы), обеспечивая их глобулярную структуру.

Сера, как и фосфор, участвует в энергетическом обмене, правда, в значительно меньшей степени. Сера и вносятся в виде удобрений значительно реже, пожалуй, только капуста и её близкие родственники отзываются на дополни-

тельное питание этим элементом. По-видимому, сера играет у капустных более значительную роль, чем у других растений.

Калий и другие макроэлементы

Калий является третьим элементом, обычно применяемым для повышения плодородия почвы. Для питания растений азот, фосфор, калий необходимы в определённом соотношении.

Несмотря на то, что калий как структурный компонент, неизвестен ни в каких органических молекулах, он необходим для всех процессов жизнедеятельности: фотосинтеза, дыхания, водного обмена. Калий не входит в состав молекул ферментов, но активизирует деятельность многих. Калий участвует в создании ионной среды, регулирует транспорт воды в клетках через мембраны. В чём-то калий в растении подобен натрию в организме человека.

Магний и кальций объединяет их способность образовывать прочные химические связи между отдельными молекулами. Следовательно, повышать устойчивость внутриклеточных структур, причем кальций особенно важен для прочности клеточной оболочки.

Несмотря на то, что натрий, хлор, алюминия и кремния в растении много (это макроэлементы), их роль не ясна, по крайней мере, в больших количествах. *Натрий* из сельскохозяйственных растений полезен только сахарной свёкле.

Кремнием богаты «стрекательные иголки» крапивы. Потому они так легко обламываются, слегка царапая кожу, и жидкость вызывает жжение. Кремния много в клеточных оболочках соломин злаковых, особенно риса.

Хлор в микро количествах участвует в процессе фотосинтеза. А роль *алюминия* совсем неизвестна. Его полное исключение из питательной смеси не сказывается отрицательно на росте и развитии растений. Высокое содержание в почве алюминия, как и хлора, вызывает отравление растений.

Микроэлементы

Несмотря на очень малое содержание, микроэлементы растению также

необходимы. Они могут входить как структурная часть в состав ферментов, что особенно характерно для *железа и меди*, могут, связываясь с молекулами белков, активировать ферменты. В растениях известна роль *меди, цинка, молибдена, марганца*, за исключением, пожалуй, *бора*, хотя его обязательность очевидна. При недостатке бора у растений свёклы возникает «гниль сердечка», у овощных культур погибают точки роста.

Особенно важно растениям железо, его часто относят к макроэлементам. Добавление железа в питательную смесь необходимо.

Роль многих микроэлементов и ультрамикроэлементов в растениях пока неизвестна, хотя есть предположения, что она существует. Более изучена их необходимость для человека и животных.

Общеизвестна роль *йода* в деятельности щитовидной железы. В последние годы установлено, что содержащиеся в растениях *селен, стронций, литий* не только не вредны, но даже необходимы для человека. Особенно при определенных заболеваниях, также как и *молибден, марганец, медь, цинк*.

Обнаружено, что стронций способствует образованию антител, положительно влияет на больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями, является противораковым средством. Стронций, связываясь с кальцием, помогает лечению остеопорозов, переломов, предотвращает кариес. Литий способствует лечению нервно-психических заболеваний, хром регулирует содержание сахара в крови, молибден помогает предотвратить кариес,

Марганец положительно влияет на нервную систему, железо применяют при анемии, медь особенно полезна при воспалениях и необходима для устранения дефицита железа, цинк способствует иммунитету, лечению дерматитов, анемии.

А вот кадмий даже в микро количествах для человека вреден. Его много в зверобое, поэтому увлекаться чаем из зверобоя не нужно.

Не все растения содержат равные количества отдельных элементов. Се-

лена много в лимоннике, тыкке, укропе, пастернаке, родиоле розовой, Стронция – в алоэ, бруснике, заманихе. Лития – в белене чёрной, алоэ, хрома – в пивных дрожжах, молибдена – в мяте перечной, крапиве, марганца – в лапчатке, чернике, китайском чае, цинка – в череде, чистотеле, меди, железа – в сушенице топяной, китайском чае, йода – в морских водорослях, кольраби, кресс-салате.

Есть растения, избирательно накапливающие даже золото и серебро. *Серебро накапливают чистотел, брусника, укроп и некоторые другие. А желтушник серый вбирает в себя золото. Заманчиво, но попытка получить золото из растений не удалась – очень трудоёмко и дорого. А вот для производства селена растения используют в США. В Долине Духов выращивают травы, накапливающие этот редкий и очень нужный в промышленности элемент. Сжигают сено и селен выделяют из золы.*

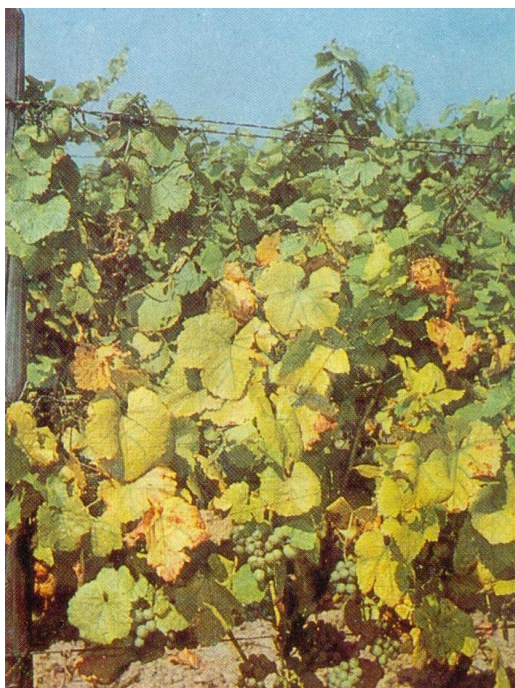
Необходимо не забывать, что микроэлементы действуют в микро количествах и применять их как для человека, так и для растения следует очень осторожно, не допуская даже малейшего «переборщивания». Иначе вместо пользы они принесут вред.

При высоком содержании в среде *свинца, ртути* все растения накапливают эти вредные для нас элементы, поэтому лекарственные растения нельзя собирать вблизи автострады, промышленных предприятий. Надо следить, чтобы вносимые удобрения не содержали вредных примесей.

Все лучшее – детям

Поскольку каждый из необходимых элементов играет свою определённую, незаменимую роль, то, как уже говорилось, недостаток только одного из них вызывает торможение или прекращение роста, снижение урожая растений.

Многие внешние признаки недостаточности отдельных элементов минерального питания схожи между собой. Во всех случаях тормозится рост растений, листья желтеют, подсыхают и отмирают. Пожелтение листьев вызывается недостатком азота, серы, железа, марганца, магния... (рис. 32).



А



Б

Рис. 32. Пожелтение листьев: *А – пожелтение взрослых листьев винограда при недостатке азота; Б – пожелтение молодых листьев гороха при недостатке железа*

На первый взгляд недостаток разных элементов внешне проявляется одинаково. Однако если всмотреться, можно увидеть, что при нехватке азота в первую очередь начинают желтеть нижние листья, а при недостатке железа – верхние, самые молодые. Дефицит калия проявится на листьях старых. Причём пожелтение и подсыхание, отчего листья станут коричневатыми, начнется с самой старой части листовой пластинки. Обратите внимание: у пальм кончики листьев, как самая старая часть листа, при нехватке калия подсыхают.

Объясняется это тем, что растение, как и человеческая семья, всё лучшее передаёт детям: цветкам, формирующимся плодам, семенам, растущим побегам. При недостатке минерального питания это особенно заметно.

Растения и здесь способны регулировать содержание элементов в зависимости от потребности клеток и тканей. Всё направляется главным образом туда, где идут процессы роста. И если поступающих в растение через корни каких-то элементов недостаточно, то взрослые листья отдают их молодым.

Надо сказать, что и при вполне благоприятных условиях, стареющие листья перед окончанием своей жизни всё, что могут, отправляют в растение. В

стареющих тканях усиливаются процессы гидролиза, распада сложных соединений на простые, способные к транспорту. Но при недостатке какого-то элемента даже из вполне жизнеспособных и активных листьев происходит его отток в молодые части, особенно в формирующиеся плоды и семена.

С другой стороны, не все элементы способны к такому перемещению. Способность зависит от элемента, его роли и состояния в клетках. Хорошо перемещаются те элементы, которые не образуют прочных химических связей в структурах клеток: калий, фосфор, азот. Много фосфора, калия, аминокислот, амидов, содержится в клеточном соке. Под действием ферментов легко распадаются на аминокислоты запасные белки, выработавшие свой срок белки-ферменты, особенно в стареющей ткани. Аминокислоты, амиды легко перемещаются по растению.

Прочные химические связи в клеточных структурах образуют кальций, железо, марганец, бор. Поэтому недостаток кальция проявится в первую очередь на молодых частях (рис. 33), причем в надземной части больше страдают не листья, а побеги. При недостатке кальция непрочные клеточные оболочки не выдерживают нагрузки, молодая часть побега подсыхает, сгибается. У томатов чернеют верхушки плодов, а у корней молодые клетки покрываются слизью от разрушившихся клеточных оболочек.

При недостатке железа, марганца желтеют самые верхние листья: железо, марганец, бор, как и кальций, практически неспособны к перемещению.

Растение регулирует перемещение элементов, способных в той или иной



Рис. 33. Недостаток кальция на побегах рапса

степени к транспорту в другие зоны. Считается, что нуждающаяся в питании часть растения посылает «запрос». После запроса усиливается приток в эту часть питательных веществ.

Реагирует растение и по-иному. Как мы уже говорили, при нехватке азота усиливается рост корневой системы. В поисках источников азота корни растут интенсивнее, захватывая всё больший объем почвы, пытаясь достичь тех участков, где содержится азот.

Так растение борется за возможность продолжать жизнь свою и своего потомства. Очень многое в механизмах регуляции ещё таинственно для нас, в частности, взаимодействие: «запрос-подача».

Растение и почва

Почва

А теперь – почему же всё-таки правильнее говорить о корневом, а не о минеральном питании растений.

Дело в том, что между растением и почвой существуют очень сложные отношения, во многом зависящие друг от друга. Почва – чрезвычайно сложное образование, со своими механическими, физическими, химическими свойствами. А также живыми существами, играющими большую роль во взаимодействии растения и почвы. Напомним, что почва – это верхний плодородный слой земли, в нём располагается основная часть корневой системы.

Помимо твёрдых частиц, в почве есть и жидкость и воздух. Из твёрдых частиц переходит в воду примерно 2 % веществ, образуя очень слабый почвенный раствор, его концентрация обычно менее 0,2 %.

Важным свойством почв является их способность к поглощению, задержанию веществ, что называют *поглощательной способностью почв*. Учение о поглощении разработал К. К. Гедройц (1879-1932).

Основное задержание и связывание происходит на коллоидных частицах, содержащих гуминовые кислоты и алюмосиликаты. Они связывают главным образом катионы, из них слабее всего связывается натрий. Больше всего в таких

частицах (их называют почвенно-поглощающий комплекс – ППК) кальция, его в черноземах до 80 %, на подзолистых почвах в два раза меньше. Минеральный азот почвенные частицы не связывают, потому то, что растения быстро не поглотили, вымывается с осадками в подпочвенные воды.

Почвенное плодородие зависит от содержания гумуса и его качества. Гумус – это органические соединения почвы. Они состоят из белков, полисахаридов и высокомолекулярных органических кислот, таких, как гуминовые и другие. В состав гумуса входит почти весь азот почвы, около половины фосфора и больше половины серы. Гумус образуется из растительных остатков, переработанных почвенными микроорганизмами. Потому у разных почв он неодинаков, зависит от растений, которые там росли и микроорганизмов, которые там жили.

В зависимости от условий образования почвы бывают различными. Специалисты насчитывают до 30 типов почв. В зависимости от содержания элементов в почвенном растворе, почвы могут быть нейтральными или близкими к ним, кислыми и засоленными. Также в зависимости от содержания элементов, засоление может быть различным (сульфатное, хлоридное...). Но это всегда более концентрированный почвенный раствор, чем обычно. При засолении натрий блокирует кальций и наступает кальциевое голодание, ухудшаются физические свойства почвы, повышается щёлочность. Потому что натрий соединяется в растворе с выделяющейся при дыхании углекислотой и образуется углекислый натрий.

Корневое питание во многом зависит от того, в каком состоянии находятся питательные элементы в почве, насколько они связаны в частицах ППК. Часть ионов может поглощаться непосредственно из частиц ППК путем контактного обмена. Однако, в основном, питательные элементы поступают в растение из почвенного раствора. По мере поглощения клетками корней, он становится беднее, но в раствор переходят новые элементы из частиц ППК. Легче всего переходят в раствор ионы при их физической адсорбции. Они хорошо доступны и при физико-химической адсорбции – ионнообменной. Труднее всего переходят в раствор химически связанные вещества. При химической адсорб-

ции ионы прочно связываются с частицами ППК. Тогда ионы становятся доступными для питания растений только при определенных условиях, например, при небольшом подкислении почвы.

Потому абсолютное содержание элементов питания в почве не определяет урожайности растений, важна их доступность, возможность поступления в корни.

Почвенные микроорганизмы

Особенно важная роль в корневом питании растений принадлежит почвенным микроорганизмам. Большое количество разнообразных микроорганизмов поселяется около кончиков корней, это называют *ризосферой*. Есть среди них микроорганизмы, поселяющиеся около корней любых растений, а есть и специфичные для определённого вида.

Те бактерии, что поселяются на корнях или около корневых систем, и связывают молекулярный азот, делают его доступным для питания растений, называют *азотфиксаторами*. Особенно хорошо известны азотфиксирующие бактерии на корнях бобовых растений, их называют *клубеньковыми бактериями* (рис. 34).



Рис. 34. Стержневая корневая система люпина и клубеньки бактерий на корнях

Клубеньковые бактерии, поселяясь на корнях своего хозяина, сначала влияют на разрастание тканей корня: образуются клубеньки. И на первых порах они очень нуждаются в продуктах фотосинтеза. Несколько позже усвоенный бактериями азот поступает в растение, потому в листьях увеличивается содержание аминокислот и белка. Клубеньковые бактерии есть не только у бобовых. У ольхи и ряда других не бобовых растений молекулярный азот усваивают живущие на корнях актиномицеты.

Микроорганизмы-азотфиксаторы могут поселяться и на лишайниках, мхах, корнях некоторых папоротников, злаковых, осоковых, розоцветных и других растений. Есть и свободно живущие азотфиксаторы.

В почве присутствуют не только азотфиксаторы. Там живут также микроорганизмы, участвующие в *превращении* азотистых соединений. Одни микроорганизмы разлагают белки, нуклеиновые кислоты и другие органические молекулы в почве с образованием аммиака, потому их называют *аммонификаторы*. Другие микроорганизмы окисляют аммиак до нитратов – *нитрификаторы*. Есть и *денитрификаторы*. Эти микроорганизмы при недостатке кислорода в почве используют кислород нитратов, и азот улетучивается.

В почве также живут бактерии, участвующие в превращении серы, фосфора, калия, разлагающие целлюлозу и бактерии, в частности, снабжающие растения витаминами. Большинство из них располагается около корней.

Ещё теснее объединение корней с особыми грибами, гифы которых оплетают всасывающие мочки и даже проникают в корень, заменяя собой корневые волоски. Это сожители – микориза, о которой мы уже говорили. Гифы гриба переводят органические соединения почвы в минеральные, которыми питается растение. В свою очередь, корень, выделяя сахара, аминокислоты, подкармливает своего «квартиранта». Многие растения без микоризного гриба хуже или почти совсем не растут.

Чаще это сказывается на росте деревьев. Например, дуб без собственных микотрофных грибов не может развиваться нормально и через несколько

лет погибает. Поэтому при посадке лесных полос в лунку с жёлудем кладут и горсть земли из дубового леса. Травы, хотя и нуждаются в микоризе, но, по видимому, не столь чувствительны к выбору гриба – во всех почвах спор микотрофных грибов бывает достаточно.

Усвоение растением питательных веществ

Рост растения и урожай в большой степени зависит от поступления в него питательных веществ через корни.

В почве содержится во много раз больше элементов питания, чем требуется растению. И всё же зачастую растения ощущают их недостаток. Объясняется это тем, что, как мы уже говорили, важно не столько содержание элементов в почве, сколько их доступность растению.

В почвенном растворе содержится больше всего азота, серы, кальция, магния, а вот калия меньше раз в десять, фосфора ещё на порядок меньше.

Основное поглощение веществ происходит из почвенного раствора клетками корневых окончаний, особенно корневыми волосками. Старая часть корня покрыта толстой опробковевшей тканью и практически не участвует в поглощении корнем даже воды.

Вещества поглощаются избирательно, в зависимости от потребности растений, и в два этапа. На первом этапе ионы могут накапливаться в клеточных оболочках без энергетических затрат. На втором этапе ионы поступают в клетку через плазматическую мембрану и уже с затратой энергии, по специальным механизмам. Переход веществ через мембрану – сложный процесс, его изучают биохимики и биофизики.

Для нас важно обратить внимание на то, что избирательность и интенсивность поглощения зависят как от внутренних, так и от внешних причин. Из внешних факторов наиболее важны – физико-химический состав почвы, её влажность, аэрация, температура, кислотность. К внутренним причинам относятся наследственность, ростовой процесс, возраст растения, содержание саха-

ров в клетках корня, содержание в корне солей. Влияние внутренних и внешних факторов взаимосвязано.

Деятельность корня во многом зависит от состояния растения, его потребности в питательных веществах почвы. Как мы уже говорили, *растения поглощают не всё подряд, что содержится в почве, а те элементы, которые ему нужны*. Поэтому, например, хотя калия, очень важного для растения, в растворе в десять раз меньше, чем натрия, в клетках растения калия в два раза больше. Натрий растению в больших количествах не нужен.

Избирательно поглощает растение и ионы из вносимой в почву соли. Поглощаемые из почвы ионы обмениваются на ионы, образовавшиеся при дыхании растения. Углекислый газ в воде растворяется, образуя угольную кислоту. Угольная кислота распадается на H^+ и HCO_3^- , которые связываются на поверхности корня и участвуют в поглощении растением катионов и анионов. Например, при удобрении почвы натриевой селитрой значительно более активно поглощается анион азота, обмениваясь с клетками корня на анион угольной кислоты. Углекислый газ улетучивается, а $-OH$ соединяется с оставшимся в почвенном растворе натрием. Образуется щёлочь и почвенный раствор подщелачивается. Такую соль называют «физиологически щелочной».

При обмене ионов из почвенного раствора с клеткой всегда анион обменивается на анион, а катион – на катион. И если из соли активнее поступает катион, он будет обмениваться на катион водорода. Он соединится с оставшимся от соли в почвенном растворе анионом и образуется кислота. Такая соль «физиологически кислая», хотя сама соль нейтральна.

При внесении в почву минеральных удобрений надо учитывать, что растение выберет себе тот ион, который ему нужен. Если это будет катион, то произойдет подкисление почвы. А если нужно сделать почву менее кислой, надо внести физиологически щелочную соль, где сильнее поглощается анион.

Исключение представляет азотнокислый аммоний, где и анион и катион содержат азот. В этом случае полезно знать, что на кислой почве будет больше

поглощаться анион, а на нейтральной – обе формы азота. Но вообще на кислой почве полезнее использовать натриевую селитру, на нейтральной – сернокислый аммоний.

Поглощение направлено на сохранение определенного соотношения элементов в растении. – Для обменных процессов растению нужны отдельные элементы в разных количествах, но определенном соотношении. Растение отбирает себе из почвы то количество разных элементов и в том соотношении, которое ему нужно, не делая запаса, за исключением, пожалуй, азота. *Поэтому если в питательном растворе недостает какого-то одного необходимого элемента, то остальные элементы будут поглощаться в пропорционально уменьшенном количестве. Потому недостаток всего одного элемента скажется на урожае отрицательно.*

Поглощение во многом зависит от содержания свободного иона в клетке. Чем меньше насыщенность клетки свободным ионом, тем интенсивнее его поглощение и наоборот. Включение иона в состав органических веществ клетки поглощение усиливает. Поэтому усиление процессов обмена, синтетической деятельности корней на поглощении веществ проявляется положительно.

Интенсивность поглощения усиливается с ростом корней: возрастает объём поглощающей поверхности. Хорошо сказывается на поглощении увеличение доступных растению форм веществ в почве. (От внесённых удобрений, корневых выделений, деятельности микроорганизмов и других причин).

При внесении в почву минеральных удобрений полезно знать о взаимодействии некоторых элементов. О дружественных взаимоотношениях азота и фосфора мы уже говорили, но бывают отношения и совсем не дружественные, их называют «антагонистические». Обычно это катионы. Так, избыток марганца тормозит поступление в растение железа.

Антагонистические отношения отмечены для ионов калия и кальция: чем больше поглощается калия, тем меньше кальция и наоборот. Такие же отношения у натрия и кальция, магния и натрия, натрия и аммония и некоторых

других. Анионы менее агрессивны по отношению друг к другу.

Влияние внешних условий

Поступление веществ зависит также от внешних условий. На свету сильнее поглощаются фосфор и калий, а вот магний и сера активнее поглощаются в темноте, как и азот. Но если растение выдержать в темноте четыре – шесть дней, начинается активное выделение веществ через корни.

От влажности воздуха зависит поступление воды, в сухом воздухе оно может быть раза в три больше, чем влажном. Поступление солей от влажности воздуха практически не зависит. Ведь механизмы поступления воды и солей в клетки корня различны. Мы уже говорили: корень не всасывает почвенный раствор, он избирательно поглощает требуемые ему ионы. Поэтому калий и фосфор могут поглощаться быстрее воды, тогда как кальций, магний, сера – медленнее.

На поглощение и рост корней большое влияние оказывает рН почвенного раствора. Для большинства растений наиболее благоприятна слабо кислая или нейтральная реакция среды.

Помимо химического состава, большое влияние на поглощение веществ оказывает влажность почвы. Лучше всего для растений влажность 60-70 %.

При засухе снижается растворимость солей, усиливается связывание ионов почвенными частицами. При длительном недостатке воды корни растут в глубину не разветвляясь и это снижает поступление веществ в корни. Отчасти потому, что уменьшается поглощающая часть корневой системы. А отчасти потому, что большинство корней располагаются глубоко, где мало питательных веществ.

На сам механизм поглощения небольшой недостаток воды не оказывает значительного влияния. Но способность к синтезу в клетках корня уменьшается сильно, также как и эффективность дыхания (образование молекул, богатых энергией). Вот это сказывается на поступлении веществ отрицательно.

Избыток влаги в почве также вреден, как и недостаток. При избытке вла-

ги почвы становятся холодными. А низкая температура сильно влияет на поглощение, особенно азота и фосфора, слабее – на поглощении кальция, ещё слабее – калия и натрия. При избытке влаги корни тоже плохо разрастаются, и растут главным образом по поверхности почвы, где больше кислорода.

Недостаток кислорода в более глубоких слоях почвы плохо действует на все обменные процессы. В почве накапливается углекислый газ, он в больших количествах токсичен, ядовитые закиси железа и марганца, угнетается поглощение азота, фосфора и других элементов.

Благоприятно примерно 3 %-е содержание кислорода в почве, более высокий процент не вредит, но и не влияет на деятельность корней.

И поглощают, и выделяют

Самое удивительное во взаимоотношениях между растением и почвой в том, что растение не только берет из почвы питательные вещества, но частично и передаёт их почве.

На первый взгляд представляется совершенно невероятной, абсурдной выделительная функция корней. Тем не менее, установлено, что выделение корнями различных минеральных и органических веществ является одной из обязанностей корневой системы. Оно происходит в разные периоды вегетации с разной скоростью и неодинаковым составом выделяемых веществ.

Первые порции выделения, в основном, минеральных веществ, обнаруживаются уже при набухании семян. По мере роста выделение уменьшается, но к периоду цветения возрастает вновь. После цветения выделение веществ снижается, но когда семена созреют и перед отмиранием растения, оно усиливается ещё раз.

Выделение веществ усиливается к концу вегетации и у многолетних растений.

Интенсивность и качество выделяемых веществ зависит от условий, идёт более интенсивно при засухе, повышении или понижении температуры. Среди выделяемых веществ больше всего минерального фосфора, серы, азота, каль-

ция, калия, в том числе поступающих в корни из листьев. (Такие опыты проводили с мечеными атомами). Выделяются также органические кислоты, аминокислоты, сахара, витамины, даже некоторые ферменты и специфические вещества, синтезированные в корне.

Установлено, что выделение ферментов происходит в разном количестве по мере развития растений. Например, фермент фосфатаза, который повышает доступность фосфора почвы для растений, выделяется наиболее интенсивно в период созревания семян. Тогда фосфора растению требуется особенно много. Затем выделение фермента уменьшается. Усиливается выделение корнями фосфатазы и в том случае, если растение испытывает недостаток в фосфоре и в другие периоды роста. Выделение ферментов и других соединений происходит с затратой энергии, что подтверждает активность процесса, регулируемую растением.

Очевидно, корневые выделения полезны для привлечения микроорганизмов, как свободно живущих в ризосферной зоне, так и образующих сожительство с клетками корня. Кроме того, выделение органических и аминокислот полезно для подкисления почвенного раствора и потому перевода в доступное растениям состояние связанных частицами ППК железа, фосфора.

Наблюдения за взаимоотношениями корней и почвы говорят о том, что растения и почва, в которой они растут, образуют целостную систему, в которой важны все её участники, включая питательные вещества и животный мир. В этой системе существует взаимодействие, многое из которого еще предстоит изучать.

Друзья и недруги

Корни выделяют и другие, специфические вещества, которые называют *колинами*. У каждого растения свои колины, например, у люцерны – сапонин, овса – скополетин. Некоторые колины помогают дружбе растений: посаженные рядом кустовая фасоль и картофель, фасоль и столовая свёкла растут лучше. Благоприятно сказывается на росте соседей шпинат, он выделяет корнями сапонин.

Но чаще колины оказывают враждебное действие на рост других растений. Такие вещества выделяет полынь, особенно горькая полынь. Её корневые

выделения настолько неприятны для окружающих, что постепенно она оказывается в одиночестве от других растений. Другие травы плохо растут, зато горькая полынь благоденствует.

Вредны для своих соседей пырей, щавель конский. Такая огородная культура как фенхель, мешает росту томатов, фасоли, гороха, бобов. Пшеницу угнетают своими выделениями большое количество мака и ромашки (в малых количествах ромашка помогает, зерно становится более полновесным). А вот рожь сама тормозит рост сорняков, особенно пырея. Если два года подряд высевать рожь на одном месте, пырей исчезнет. Опытная огородница Н. Киселева не пускает пырей на свой садовый участок при помощи гороха: пырей не растет туда, где посеян горох.

Есть растения, выделения которых вредно сказываются на росте только некоторых растений. Так, шалфей не уживается с луком, анис с морковью, укроп с морковью и томатами. А чеснок не любят многие культуры – бобы, горох, фасоль, капуста...

Из деревьев наиболее агрессивна ко всем другим породам ель: её действие сказывается и спустя полтора десятилетия после вырубки.

Накапливаясь в почве при ежегодном выращивании на одном месте, даже безвредные колины влияют отрицательно на своих хозяев. Агрономы называют это «утомлением» почвы. Такое утомление вызывает клевер (клевероутомление), свёкла и многие другие растения, в частности, яблоня. Поэтому на том месте, где росло старое дерево яблони не рекомендуется сажать молодое. Яблоня своими корнями выделяет флоридзин – ингибитор роста растений.

Большинство плодовых деревьев содержат много колинов и в опадающих листьях, что отрицательно сказывается на росте и плодоношении, если опавшие листья не убирают. Особенно богаты колинами послеуборочные остатки томатов, огурцов, перца, кроющие листья капусты, ботва моркови, остатки сорных растений. Хорошо переносят собственные выделения, и могут долго расти на одном месте рожь, кукуруза, бобы.

Мы немного ознакомились с корневым питанием растений, узнали, почему растению так необходимы корни. В следующей беседе мы познакомимся с воздушным питанием растений – фотосинтезом.

БЕСЕДА ШЕСТАЯ

ЛИСТ. ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ ИЗ ВОЗДУХА – ФОТОСИНТЕЗ

Какими бывают листья

Листья растений, основная обязанность которых воздушное питание – фотосинтез, функция которых едина, крайне разнообразны по форме. Они могут быть простыми и сложными (рис. 35), с различными очертаниями листовой пластинки, неодинаковыми её краями, разным жилкованием листа. Причём некоторые различия могут зависеть не только от вида, но даже от возраста и условий произрастания растения.



Рис. 35. Листья растений могут быть простыми и сложными

Листья могут располагаться на стебле по одному (*спиралью*), по два, друг напротив друга (тогда они называются *супротивными*) или *мутовкой* – по три и больше. Но во всех случаях они не затеняют друг друга на одном стебле.

У большинства растений листья имеют хорошо выраженные черешки, прикрепляющие листовую пластинку к стеблю. У некоторых растений черешок может быть незаметен, такие листья называются *сидячими*. У простых листьев только один черешок. У сложных листьев, которые состоят из отдельных мелких листиков, каждый листик имеет свой черешок. Им он прикрепляется к большому черешку, идущему от стебля.

Сложные листья бывают двух основных типов: перистосложные (у грецкого ореха) и пальчатосложные (у конского каштана) (рис. 36).

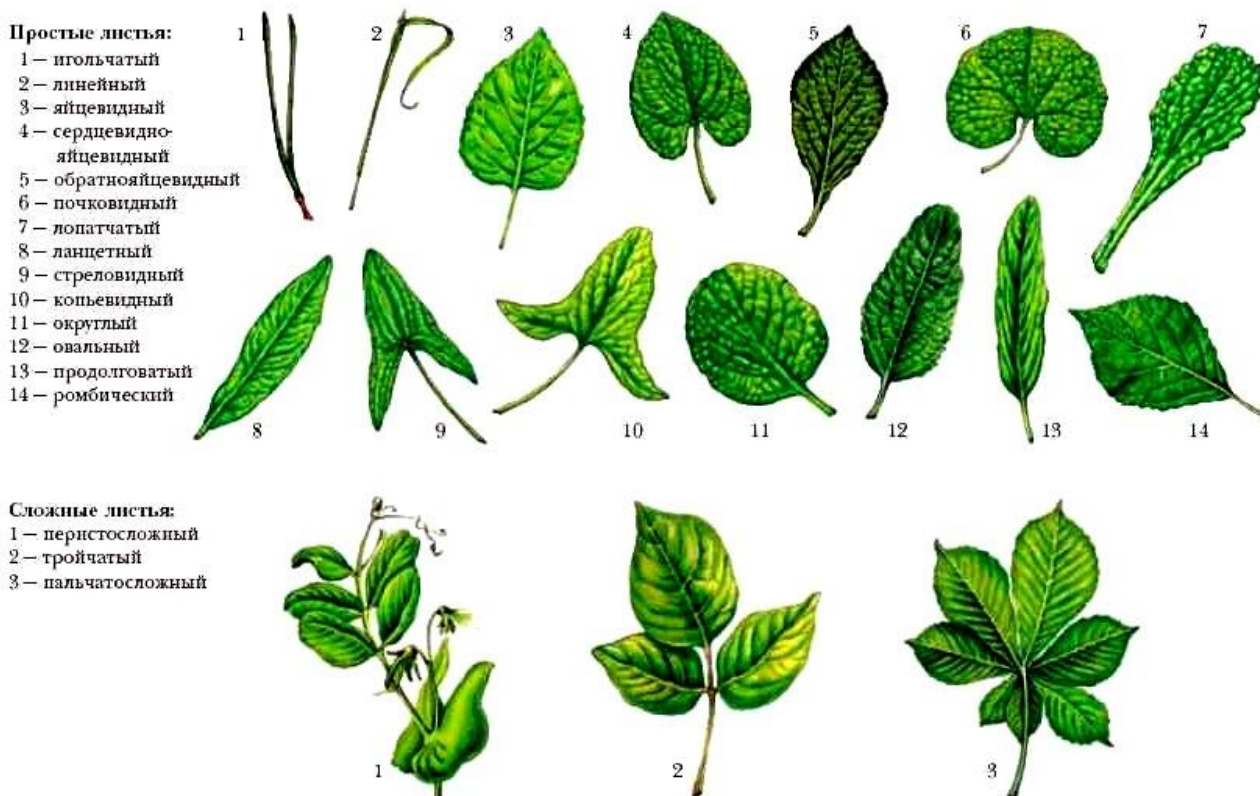


Рис. 36. Типы листьев

Листовая пластинка простого листа может быть простой (у берёзы, лимона), пальчато-лопастной (у клёна остролистного), перисто-лопастной (у дуба), надрезанной, рассечённой...

Различна форма основания листовой пластинки (округлая, сердцевидная,

стреловидная...). Различен у листовой пластинки и край – цельнокрайний, городчатый, зубчатый, пильчатый...

Подобное разнообразие форм объяснить трудно, но есть у листьев особенности, связанные с условиями произрастания. Так, у растений влажного климата листья крупные. В засушливых местах листья значительно мельче, и в районах, где длительное время нет дождей, даже превратились в колючки, как у кактусов. Или удерживают в себе много влаги, как у алоэ.

У растений на болотистых, холодных почвах, где вода плохо поступает в растение, листья мелкие. Кроме того, с нижней стороны, где устьица, листья покрыты волосками. Волоски задерживают водяной пар, выходящий из устьичных щелей. А у багульника листочки с краёв даже немного свёрнуты внутрь, что тоже сохраняет влагу.

Эти особенности закреплены генетически, передаются по наследству. Но листья и обычных растений чутко реагируют на внешние условия, особенно на обеспеченность влагой и температуру. Вы замечали: когда после дождливой и прохладной весны наступает резкое изменение погоды, становится жарко и сухо, с деревьев начинает опадать часть листьев?

Так растение спасается от обезвоживания. Когда было прохладно и влажно, листья испаряли мало воды. Они не спешили образовать плотный восковой слой – кутикулу, предохраняющую от потери влаги. А когда погода изменилась, тонкие листья стали терять много воды, корни не успевали её подавать. Теперь растущие листья формируют плотную кутикулу, а листья уже закончившие рост, частично опадают.

Если листья растут при недостатке влаги, они сразу вырабатывают приспособления для её удержания, учёные говорят: *ксероморфную структуру*. Такие листья не бывают крупными, у них мелкие клетки, толстый слой кутикулы, особенно с верхней стороны листа. Меняется и расположение жилок («жилкование») у листьев. Но меняется не основной тип жилкования (перистое, дуговидное, параллельное), нет, – при недостатке влаги возрастает количество, разветв-

лённость жилок, подающих клеткам листа воду и растворённые в ней вещества.

Таковыми же признаками обладают и листья на вершине дерева. По сравнению с листьями нижней части кроны, они более ксероморфны, засухоустойчивы: ведь путь воды от корней к этим листьям длиннее, и воздух там суше, чем внизу.

На одном и том же растении листья могут иметь различную форму, зависящую и от возраста. У многих растений прикорневые листья бывают простыми, следующие – изменяются. Либо от округлых до линейных выше по стеблю, как у колокольчика, либо приобретая с возрастом растения более сложный узор листовой пластинки. К окончанию вегетации верхние листья вновь растут простыми.

Морфологические различия листьев (это называется *гетерофиллией*) связаны с изменением обменных процессов в растении. У сахарной свёклы по изменению формы листьев можно определять содержание и быстроту накопления сахара в корнеплодах. Высокое накопление сахара связано со «старыми» листьями. У них короткий черешок, широкая пластинка листа с сердцевидным основанием. Полив и подкормка влияют на содержание сахара в корнях и рост листьев. Азотные удобрения и полив приводят к образованию более «молодых» по форме листьев, а фосфорное и калийное – более «старых».

У листопадных растений осенью в основании черешка, там, где он прикрепляется к стеблю, образуется слой клеток, вызывающих опадание листьев. Низкая температура и короткий день ускоряют этот процесс. Кроме того, в листьях к осени накапливается много ненужных и даже вредных веществ, снижается содержание гормонов – стимуляторов роста и резко возрастает содержание гормона–ингибитора – абсцизовой кислоты. Это и вызывает опадание листьев.

Фотосинтез

Питание из воздуха, – из ничего? Нет, воздух – пустота только в нашем житейском понимании, на самом деле в воздухе содержится много разных веществ. Преобладает азот (75,6 %), примерно пятая часть (21 %) – кислорода.

Для воздушного питания используется углекислый газ (по-научному – диоксид углерода), которого в атмосфере Земли 0,03 %.

Конечно, все знают, что кислород, которым дышит всё живое, благодаря которому работают всевозможные двигатели, летают самолёты, создан зелёными растениями в процессе фотосинтеза. Кислород выделился из воды, водород которой пошел на образование органических веществ вместе с углекислым газом.

Учёным пришлось много времени и сил потратить на изучение воздушного питания. С тех пор, когда в 1771 году Д. Пристли впервые показал, что растения могут «исправлять» воздух, прошло почти 200 лет, прежде чем стал известен газообмен фотосинтеза. Многие прояснилось только после того, как стало возможным (в сороковых годах XX столетия) применять изотопы – меченые углерод, кислород, водород. Но и сейчас в процессе фотосинтеза для нас таится много непознанного, особенно при разложении молекулы воды на водород и кислород. Загадки фотосинтеза привлекают внимание разных учёных, от агрономов до биофизиков и даже математиков.

Космическая роль

Интерес к фотосинтезу неслучаен. Фотосинтез важен как процесс, от которого зависит наше питание, как собиратель углекислого газа, поставщик кислорода и озона.

В своей деятельности человек всё больше насыщает околоземную оболочку углекислым газом, сжигает кислород и это грозит Земле большими бедами. Выделяемый растениями кислород нужен не только для дыхания. Он образует озоновый экран вокруг нашей Планеты. Экран задерживает проникновение губительных для всего живого ультрафиолетовых лучей.

Углекислый газ и водяные пары в атмосфере сохраняют теплоту, полученную Землёй от Солнца, это называют *парниковым эффектом*. Но значительное увеличение содержания углекислого газа может привести к повышению температуры на Земле, что вызовет таяние ледников и затопление значительных участков суши. Уже сейчас наблюдается таяние грунта в районах веч-

ной мерзлоты и пока ещё небольшое наступление воды на сушу у берегов Великобритании. С потеплением связывают многие учёные обилие в последние годы ураганов и наводнений.

В процессе фотосинтеза за год растения образуют более 200 млрд. т сухой массы органических веществ и на это расходуется только 1-2 % поглощённой растениями солнечной энергии.

Недавно учёные подсчитали: Земля получает от Солнца за неделю столько энергии, сколько электричество, нефть, газ дают за целый год. Уже созданы фабрики, улавливающие эту энергию, но это энергия тепловая. Использовать солнечную энергию на синтез органических веществ из неорганических могут только растения. Наше питание, пополнение запасов кислорода – наша Жизнь – зависят от растений и их способности к фотосинтезу.

Потому такое пристальное внимание учёные обращают на процесс фотосинтеза, о котором образно сказал К.А. Тимирязев: Зелёное зерно хлорофилла – фокус, точка в мировом пространстве, в которую с одной стороны притекает солнечная энергия, а с другой – начинаются все проявления Жизни на Земле.

Секрет – в организации и взаимодействии

Процесс фотосинтеза чрезвычайно сложен и нуждается в большом числе разнообразных молекул. Но, главное, – в строгой организации этих молекул – участников фотосинтеза, их расположении и взаимодействии. Каждая отдельная молекула хлорофилла может поглощать частицу (квант) света и в растворе. Но без строго определенного, закреплённого расположения молекул хлорофилла и других молекул, имеющих свои обязанности, эту поглощённую энергию выделяет обратно. Попытки воспроизвести процесс фотосинтеза искусственно ни к чему не привели, потому что отдельные молекулы, участники целого процесса, в хаотическом состоянии беспомощны.

Фотосинтез разделяется на два этапа – две фазы. Первый этап заключается в поглощении энергии света, преобразовании её в энергию химических связей и разделении молекулы воды на водород, который будет использован в дальнейших реакциях, и освобожденный кислород. Он выделится в атмосферу.

Во второй фазе поглощается углекислый газ и образуются органические вещества (главным образом сахара), для чего нужна созданная на первом этапе химическая энергия. Здесь свет не требуется, хотя он и не мешает.

Хлоропласты, пигменты и фазы фотосинтеза

Фотосинтез проходит в специальных зелёных органоидах клетки – хлоропластах (рис. 37).

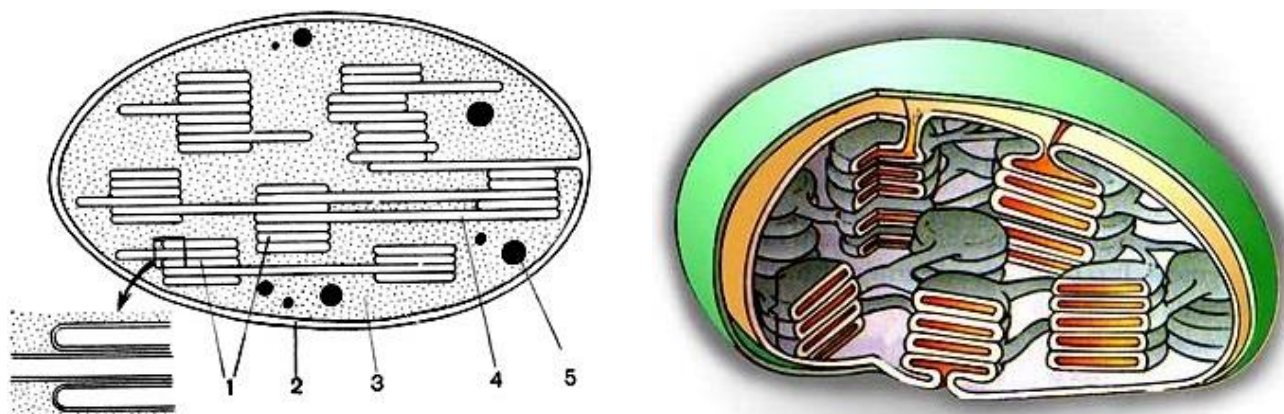


Рис. 37. Строение хлоропласта (схема, слева): 1 – мембраны; 2 – оболочка хлоропласта; 3 – матрикс, или строма; 4 – капли жироподобных веществ

Зелёный цвет зависит от пигмента – молекулы хлорофилла. Она, поглощая все видимые нами лучи солнечного спектра, зелёный цвет отражает. В поглощении солнечной энергии участвуют и жёлтые пигменты – молекулы каротина и ксантофилла. Они становятся видны в листьях осенью, после разрушения хлорофилла.

Молекула хлорофилла по своему строению очень похожа на гем – розовый пигмент, который, соединяясь с белком, образует гемоглобин крови. Только у молекулы хлорофилла есть длинный «хвост», которого нет у гема, и в центре молекулы гема – железо, а хлорофилла – магний (рис. 38).

«Хвост» хлорофиллу нужен для закрепления в мембранах хлоропластов. На молекуле белка в мембране жёстко закреплены особым образом 200 и более молекул хлорофилла: они образуют как бы стопку пластин, расположенных очень близко друг к другу. Здесь же находятся и жёлтые пигменты.

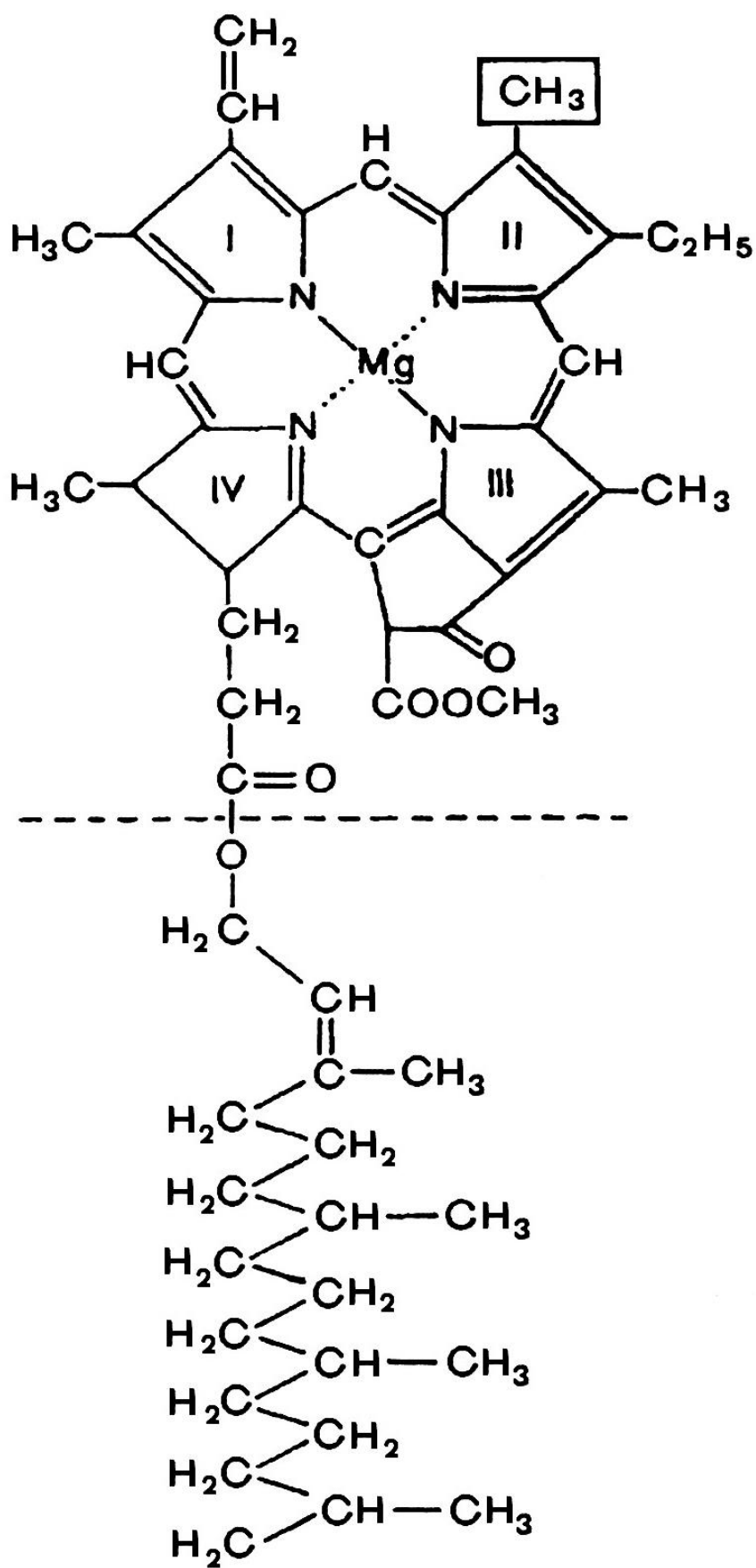


Рис. 38. Структурная формула хлорофилла а

В первой фазе, благодаря такому близкому расположению, каждая молекула пигмента может передавать поглощённую от солнца энергию по цепочке — от одной молекулы к другой. Энергия как бы «стекается» в особый центр и оттуда передаётся тем молекулам на мембранах, которые способны её использовать на образование энергии химической и на разложение молекулы воды. Сами пигменты к такому преобразованию не способны.

Процесс образования богатых энергией химических связей называется *фосфорилированием*. Энергия запасается в молекулах АТФ и требует участия особых белков, расположенных на мембранах. Здесь, ещё раз подчеркнём, необходима чёткая структурная организация.

Образование АТФ (из АДФ и фосфора неорганического) при фотосинтезе идет на мембранах хлоропластов и называется *фотосинтетическим фосфорилированием*. Для присоединения третьего остатка фосфорной кислоты используется энергия света.

Создается АТФ и при дыхании, в основном, в митохондриях, как и у нас с вами. Это называется *окислительным фосфорилированием*. Здесь используется энергия, которая выделяется при окислении органических веществ.

Основное количество АТФ в листьях растений образуется в хлоропластах: там фосфорилирование проходит во много раз интенсивнее, чем в митохондриях, да и митохондрий в листьях мало.

Преобразование АТФ в АДФ (выделение энергии) проходит с участием специального фермента, не требует строгой организации процесса, может проходить в хлоропластах и вне хлоропластов, в цитоплазме клеток.

Вторая фаза фотосинтеза — усвоение и переработка углекислого газа, также идёт в хлоропластах, но не на мембранах, а в матриксе — в жидкой среде. Здесь нужны разнообразные белки-ферменты и благоприятные условия для их работы. Свет не требуется, процесс может идти и в темноте, но необходимы богатые энергией молекулы, образовавшиеся в световой фазе.

В зависимости от потребности клеток и растения, возраста листа, а также от внешних условий, первыми из углекислого газа могут образовываться сахара или органические кислоты, аминокислоты и белки.

Синтез органических веществ днём идёт интенсивно, а площадь в хлоропластах и клетках листа небольшая, поэтому растение уплотняет, «прессует» свои продукты, делает их более компактными. Сахара превращаются в крахмал, аминокислоты – в запасные белки. Вечером крахмал и белки распадутся на мелкие молекулы и будут перемещаться в зоны роста, корень и места отложения в запас.

Клетки зелёного листа. И здесь – организация

Вы обратили внимание, что и строение и многообразные функции корней, даже выделение веществ в почву, прямо или косвенно направлены на питание растений? Также в наилучшей степени приспособлены для питания воздушного расположение и листьев, и клеток листа.

В листе клетки расположены по-разному и имеют неодинаковую форму с верхней и нижней сторон листовой пластинки. Это особенно выражено у двудольных растений.

Клетки, прилегающие к верхней стороне листа, вытянутой формы. Они образуют как бы заборчик у палисадника, их так и называют – *клетки палисадной ткани (паренхимы)*. Ещё их называют *столбчатой тканью*, сравнивая такие клетки со столбиками. В молодом листе они крепко прижаты друг к другу своей продольной стороной. По мере роста между ними образуются небольшие просветы. Просветы возникают потому, что лист продолжает увеличиваться в размерах: вдоль листа растут клетки покровной ткани – эпидермиса, а палисадные клетки, в основном, растут в длину, увеличивая толщину листа. Они могут располагаться в один или два ряда, в зависимости от условий (рис. 39).

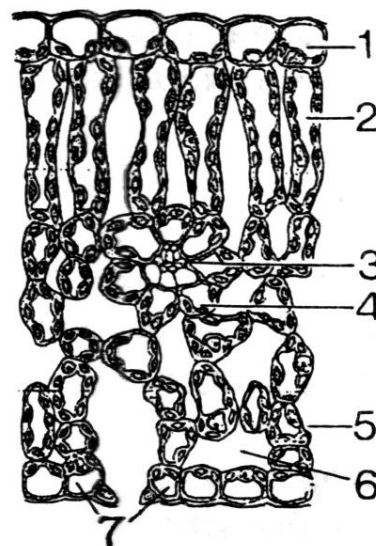


Рис. 39. Клеточное строение части листа двудольного растения: 1 – клетки верхнего эпидермиса; 2 – палисадные клетки; 3 – проводящий пучок, 4-5 – клетки губчатой паренхимы (ткани); 6 – межклеточные пространства, заполненные воздухом и водяным паром, 7 – замыкающие клетки устьиц

Основное назначение палисадных клеток – улавливать и преобразовывать солнечную энергию. Потому, если лист хорошо освещается солнцем, снабжён водой и минеральными веществами, таких клеток образуется больше. У листьев затенённых (в глубине кроны, при загущенной посадке) образуется только один слой палисадных клеток. Такие листья тонкие и бледные, так как и хлорофилла в них меньше.

Клетки, примыкающие к нижней стороне листа, имеют иную форму – неправильных квадратов с закруглёнными краями. Структура нижней стороны листа напоминает губку – клетки расположены рыхло, с большими пустотами, их и зовут *губчатой тканью*. Пустоты необходимы для поступления в них воздуха с углекислым газом. Главная задача этих клеток – наряду с улавливанием энергии света, поглощать углекислый газ, образовывать сахара и откладывать их в крахмал.

Чтобы в лист поступал углекислый газ, на покровной ткани есть специальные клетки, они образуют щель в полость листа. Их называют *закрывающимися клетками устьиц*, сокращённо – *устьичными клетками*, а щель – *устьичной щелью* – *устьищем* (рис. 40).

Таких клеток две, они расположены рядом. Важно, что они имеют разную толщину клеточных оболочек. Сторона клеточной оболочки, обращённая к соседней клетке – толстая, а противоположная сторона – тонкая. Когда в устьичных клетках содержится мало воды (в привядшем листе), их клеточные оболоч-

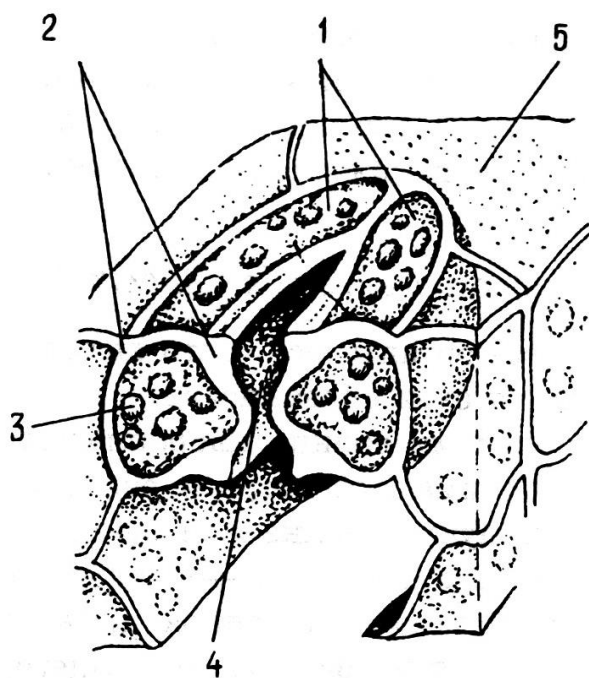


Рис. 40. Строение устьица двудольного растения: 1 – замыкающие клетки устьиц; 2 – клеточные оболочки (разной толщины); 3 – хлоропласты; 4 – устьичная щель; 5 – клетки эпидермиса

ки плотно прилегают друг к другу и устьице закрыто. Но когда содержание воды в них увеличивается, тонкие стороны клеточных оболочек растягиваются и тянут за собой толстые оболочки. Они не могут растягиваться из-за своей толщины.

Между двумя клетками тогда появляется щель, через неё в середину листа поступает воздух с углекислым газом, а из листа выходит кислород. К сожалению, в открытую щель уходят также водяные пары, лист теряет влагу. Поэтому у двудольных наземных растений устьичные клетки расположены с нижней стороны листа, – она меньше прогревается солнцем, и растение меньше испаряет воды.

У растений, которые живут в воде, но листья плавают на поверхности, устьица находятся на верхней стороне листа, – так больше будет поступать в лист углекислоты, а засуха им не грозит.

Листья злаковых растений расположены по отношению к солнцу иначе, и устьица располагаются иначе: по обеим сторонам листа. Но их бывает меньше – по 120-160 штук на 1 квадратном миллиметре листа, а у дуба, например, – до 400 устьиц, но только на нижней стороне листа.

Ночью и в жаркую погоду днём устьица бывают закрыты, к утру открываются, а перед вечером приоткрываются вновь.

Обращает внимание целесообразность, «разумность» движений устьичных клеток: ночью нет света, нет и фотосинтеза, значит, не нужен углекислый газ, а через открытое устьице и ночью будет испаряться много влаги, которую надо беречь. То же и в жаркий полдень: много воды выйдет через устьичную щель, чего допускать никак нельзя.

Существует ряд механизмов, регулирующих поступление воды и движение устьичных клеток, в них есть место и растительным гормонам и специальным сократительным белкам, похожим на мышечные белки животных.

Распределение обязанностей

В растении все органы, все части активно работают, выполняя каждая

свои обязанности.

С первыми лучами солнца хлоропласты в палисадных клетках поднимаются вверх и располагаются так, чтобы больше получить солнечной энергии. А к вечеру они ложатся на дно клетки – «отдыхать».

Листья на стебле растут по спирали, чтобы выше расположенный лист не затенял растущего ниже. Поэтому, если посмотреть на побег сверху, можно увидеть как бы розетку листьев, это называют *листовой мозаикой* (рис. 41).



Рис. 41. Листовая мозаика узамбарской фиалки, подорожника и колеуса – крапивки

У многих растений очень заметно движение листовых пластинок навстречу солнечным лучам. Утром они слегка приподнимаются вверх, а вечером опускаются вниз, тоже, как и хлоропласты, чтобы не тратить лишней энергии. Только самые маленькие верхние листочки – маленькие дети – остаются без движения, они растут.

В обязанность фотосинтезирующих органов входит синтез различных продуктов, необходимых растению. Большинство молодых листьев в обычных условиях образуют сахара. Сахара необходимы для питания формирующимся плодам и семенам, самым молодым частям побега, только начинающим расти листьям, для отложения в запас. Старые листья также создают углеводы, направляя их главным образом в корни.

А самые молодые, только начавшие свой рост листочки, при фотосинтезе образуют органические и аминокислоты, они идут на построение своих клеток, на собственный рост. Сахара, необходимые для дыхания и других процессов, получают от взрослых листьев. Если верхушка побега оказывается в темноте и

зарождающиеся листочки не могут фотосинтезировать, к ним от более взрослых листьев сахара не направляются и они погибают. «Кто не работает, тот не ест». Академик А.Л. Курсанов назвал это суровым законом, но для растения такой закон необходим – он направлен на выживание целого растения. Вместо погибшего побега из освещённой пазушной почки разовьётся новый побег.

Освещённые солнцем молодые листочки по мере своего роста получают всё меньше углеводов, начинают вырабатывать их сами. А вскоре, ещё не закончив рост и наполовину, уже не только получают, но и отдают в другие части растения продукты своего производства.

Таким образом, когда развивающиеся листья, как ребенок в пелёнках, они получают много заботы, но когда становятся «подростками», уже участвуют в общем труде.

Фотосинтез и внешние условия

На процесс фотосинтеза большое влияние оказывают внешние условия: интенсивность и качество света, температура, содержание углекислого газа, а также обеспеченность водой и минеральными элементами.

Свет

Фотосинтез может идти и при довольно слабом освещении. До определенного уровня вместе с увеличением интенсивности света увеличивается и фотосинтез, но затем нарастание фотосинтеза прекращается. Это называется *световым насыщением*, оно бывает примерно при половине интенсивности солнечного света.

Очень сильное освещение для всех растений вредно, но уменьшение света разные растения переносят по-разному. Объясняется это интенсивностью процесса, противоположного фотосинтезу – дыхания.

Как и все живые существа, растения дышат, дышат днем и ночью. Только поглощение кислорода и выделение углекислого газа у растений идет с очень маленькой скоростью, в очень маленьких объёмах. При фотосинтезе поглоще-

ние углекислого газа и выделение кислорода происходит значительно сильнее, что во многом зависит от температуры и освещения.

При слабом освещении может наступить такое состояние, при котором газообмен дыхания и фотосинтеза будет идти с одинаковой скоростью, в равных объёмах. Это называется *компенсационной точкой*: один процесс уравновешивает, компенсирует другой. Поскольку процессы синтеза будут уравновешиваться процессами распада, рост прекратится. При дальнейшем снижении освещённости дыхание станет интенсивнее фотосинтеза, и если такое состояние будет длиться долго, ткани начнут отмирать.

Есть растения, нуждающиеся в довольно высокой освещённости, их называют *светолюбивыми*, есть группа *теневыносливых* растений, но есть и тенелюбивые. (Правда, некоторые учёные считают, что тенелюбивых растений нет, есть только теневыносливые).

Из древесных пород сосна относится к светолюбивым растениям, а ель – к теневыносливым, поэтому в еловом лесу нижние ветви ели разрастаются, а у сосны в лесу – отмирают.

Листопадные породы различаются по густоте кроны и тени. Вспомните, – у берёзы ажурная крона, прозрачная тень: берёза светолюбива, её каждый листик хорошо освещается солнцем.

Светолюбива кукуруза, а огурцы выносят слабое затенение. К теневыносливым растениям относится душистый табак. Тенелюбивыми можно было бы считать растения, растущие летом под пологом леса. Среди культурных растений тенелюбы неизвестны.

Поскольку светолюбивые растения обладают более интенсивным дыханием, чем теневыносливые, фотосинтез у них должен быть более интенсивным. Чтобы возместить потери органических веществ на дыхание, особенно при высокой температуре.

На интенсивность и продукты фотосинтеза, а также на рост растений вли-

яет не только интенсивность света, но и его *качество*. Наиболее интенсивен фотосинтез при полном солнечном освещении. Как известно, солнечный спектр состоит из инфракрасных, красных, оранжевых, жёлтых, зелёных, голубых, синих, фиолетовых и ультрафиолетовых лучей. Растения поглощают лучи видимой нами части спектра, в нём нет ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. (Наверное, все учащиеся знают: «Каждый Охотник Желает Знать Где Сидит Фазан»).

Наилучшие результаты при фотосинтезе даёт сочетание красного и сине-фиолетового участков спектра. Растения лучше, более эффективно используют красные лучи. Но если освещать лишь красными лучами, при фотосинтезе будут образовываться углеводы, а если только сине-фиолетовыми – аминокислоты и белки. Это скажется и на содержании хлорофилла и росте растений. В первом случае растения будут бледно-зелёными (мало хлорофилла), вытянутыми, у редиса вырастут длинные черешки и листья, маленький корнеплод. Иначе на синем свете: растения станут тёмно-зелёными, приземистыми, зато редис даст корнеплод крупный, мясистый.

Обращает внимание, что высоко в горах, где много сине-фиолетовых лучей, растения не бывают высокими и содержат много хлорофилла. Почему? Здесь растение ещё не раскрыло свои секреты.

Углекислый газ и кислород

Интенсивность фотосинтеза во многом зависит от концентрации углекислого газа, его в атмосфере 0,03 %. Исследования показали, что увеличение содержания углекислоты в десять раз (до 0,3 %) будет повышать фотосинтез, а дальнейшее увеличение принесет вред. Но более высокое содержание углекислоты (выше 0,03 %) может быть полезно только в том случае, если растение достаточно обеспечено водой, не испытывает недостатка в освещении, минеральном питании и находится в благоприятных температурных условиях.

Для интенсивного фотосинтеза нужен комплекс условий, в том числе и присутствие кислорода. При нормальных условиях в воздухе содержится 21 %

кислорода. Повышение его содержания, даже небольшое, для фотосинтеза неблагоприятно. Значительное снижение концентрации кислорода, для некоторых растений может играть положительную роль, для некоторых – не имеет значения. Но отсутствие кислорода или уменьшение его содержания ниже 3 % всегда скажется отрицательно.

Температура

У разных растений температурная граница, при которой ещё может идти фотосинтез, неодинакова и зависит от условий их произрастания и приспособления к этим условиям.

В пустыне есть растения, способные к фотосинтезу и при +50 градусах. Нижняя граница фотосинтеза тропических растений близка к +10 (деревца какао температуру 8 градусов тепла не переносят, погибают). Наши вечнозелёные северяне (ель, сосна) зимой могут фотосинтезировать и при температуре, близкой к 20 градусам мороза.

У растений средней полосы летом наиболее благоприятна для фотосинтеза температура +20...+25 градусов, хотя здесь требуется оговорка: она зависит от освещённости. Высокая температура – (+35...+ 40 градусов) вредна при любой освещённости, – она приведет к изменению структуры белковых молекул - участников фотосинтетического процесса. А +20...+ 25 градусов хороши только при достаточной интенсивности света. Но если освещённость будет слабая, такая температура повысит лишь дыхание, но не фотосинтез. Почему?

Как мы говорили, процесс фотосинтеза разделяется на две фазы, два этапа. На первом этапе происходит поглощение световой энергии и преобразование её в энергию химическую (образование АТФ). Этот этап зависит не от температуры, а от освещения, его интенсивности, качества света.

Второй этап – поглощение углекислого газа и синтез органических молекул, проходит с участием разнообразных ферментов, поэтому он от температуры зависит: при низкой температуре ферменты мало активны. Но свет для этого

этапа не обязателен, нужны только продукты световой фазы. Поэтому, если для первого этапа интенсивность освещения была достаточной, то дальнейшее её увеличение не будет играть роли. (Все возможности фотосинтетического аппарата для поглощения света уже использованы). А вот повышение температуры до нужных пределов – полезно.

Следовательно, при низкой освещенности в теплице не надо стремиться создавать «тепличные условия», лучше поддерживать температуру +12...+15 градусов.

Минеральное питание

Сущность фотосинтеза обычно выражают формулой, известной каждому школьнику:



Однако попытки получить сахар при помощи хлорофилла и солнечного света в пробирках положительного результата не дали.

Это и неудивительно. Производство органических молекул из неорганических при воздушном питании требует, как мы уже знаем, сложнейшей структурной и регуляторной организации, многочисленных молекул – участников фотосинтетического процесса. А также наличия минеральных элементов.

Здесь ясно проявляется необходимость для фотосинтеза минеральных элементов, поступающих в растение через корни. Часть этих элементов выполняет структурную роль в мембранах хлоропластов, входит в состав молекул АТФ, хлорофилла, белков-ферментов или активирует ферменты. Для формирования фотосинтетического аппарата и его активной работы особенно необходимы азот, фосфор, сера, калий, магний, а также микроэлементы: железо, медь, марганец, нужен в микро количествах хлор. Недостаток только одного из этих элементов резко снизит интенсивность фотосинтеза даже при наличии всех прочих условий.

«А без воды...»

Как видно из формулы, вода непосредственно участвует в образовании органических веществ, поэтому её достаточное содержание в растениях весьма важно. Но наполненность клеток листа водой играет и косвенную роль: при завядании листа устьичные щели закрыты и газообмен идет с трудом. То же происходит, если лист переполнен водой, – тогда все клетки покровной ткани широко растягиваются, не дают расширяться устьичным клеткам, и устьице бывает закрытым.

В этих условиях углекислого газа в клетках очень мало, следовательно, не нужно много водорода, и хлоропласты отключают механизм разложения воды. Но оставляют ту часть, где энергия света используется на запасание энергии в молекулах АТФ. Эта химическая энергия используется на разные нужды: транспорт веществ, биосинтезы других молекул.

Наиболее благоприятна для фотосинтеза небольшая водная недостаточность (5-20 % от полного насыщения клеток водой). В этих условиях лист не завядает, а устьичные щели открыты не полностью, – это замедляет потерю воды, но достаточно для газообмена, для фотосинтеза.

Вода необходима и для активной работы ферментов и для передвижения веществ из листа в зоны роста, корень и из корня в лист.

Пути фотосинтеза

Интенсивность фотосинтеза зависит от многих причин, не только внешних, но и внутренних, от состояния растений.

Даже при всех благоприятных факторах, фотосинтез идёт в разные часы с разной скоростью. Наиболее интенсивно органические вещества образуются утром. Хлоропласты «отдохнули», вечером и ночью отдали всё, накопленное днём, другим клеткам и тканям, и готовы к созданию и накоплению новых веществ.

Ближе к полудню «кладовые» хлоропластов всё больше заполняются

спрессованными продуктами своей деятельности – крахмалом и запасными белками. Поэтому днём даже при не очень жаркой погоде фотосинтез замедляется. Часть синтезированного используется на образование других веществ. А к вечеру, когда уже начинается из листьев отток, фотосинтез возрастает вновь, хотя уже в меньшей степени, чем утром. С наступлением темноты передвижение из листьев сахаров и других веществ идет особенно интенсивно и перед рассветом хлоропласты вновь готовы к накоплению.

Фотосинтез неразрывно связан с ростом, причем связь здесь, как и в большинстве случаев, двусторонняя. В процессе фотосинтеза создаются органические молекулы, необходимые для образования клеток и тканей, поэтому, чем интенсивнее фотосинтез, тем интенсивнее рост.

И наоборот, чем сильнее рост, тем больше образуется листьев, следовательно, возрастает фотосинтетическая площадь, и тем активнее перемещаются в зоны роста из листьев органические вещества, а в хлоропластах освобождается место для синтеза новых молекул.

Интенсивность фотосинтеза зависит и от потребности растения: если удалить часть листьев, то в оставшихся листьях фотосинтез возрастет.

Существует зависимость между ростом и фотосинтезом и в самом листе: наиболее интенсивно образуются органические вещества в листьях, рост которых ещё продолжается. У листопадных растений фотосинтез уменьшается по мере окончания роста и взросления листа. (У вечнозелёных – снижение процесса происходит позже).

Не только интенсивность, но и первичные продукты фотосинтеза зависят от вида и даже, иногда, сорта растения. Есть растения, их большинство, у которых первичным продуктом фотосинтеза является сахароза, их называют растениями с C_3 -путем фотосинтетического усвоения углерода, потому, что самой первой из углекислого газа синтезируется фосфоглицериновая кислота, она содержит три атома углерода. А уже дальше из неё образуются сахара. Примером

таких растений служат пшеница, шпинат и другие.

Есть растения, у которых в качестве первичного продукта образуются органические кислоты, имеющие четыре углеродных атома, поэтому такие растения называют растениями с C_4 -путем фотосинтеза, к ним относятся кукуруза, некоторые сорта проса...

Ещё один путь углерода при фотосинтезе у толстянковых (суккулентов). У них днём устьица бывают закрыты, а ночью открываются.

Фотосинтез и урожай

Фотосинтез определяет урожай растений. Для хорошего урожая необходимо, чтобы растение не испытывало недостатка в водоснабжении и элементах минерального питания.

Чем лучше растение обеспечено водой и минеральными веществами, тем активнее будут идти ростовые процессы, интенсивнее и дольше работать листья. Для того, чтобы получить высокий урожай, необходим не только интенсивный фотосинтез. Необходима и большая скорость оттока образованных веществ в зоны потребления. А там должна идти активная переработка поступивших молекул – образование новых тканей, рост.

Однако всё это ещё не дает гарантии образования того продукта, который хочется получить. Специалисты различают урожай биологический – увеличение общей массы растения, и урожай хозяйственный (то, ради чего растение выращивается). Можно получить мощное растение, например, картофеля, а клубней будет мало.

Для достижения нужного результата надо регулировать ростовые процессы применением минеральных удобрений. *Азотное удобрение усиливает рост листьев и вначале это во всех случаях необходимо, ведь листья позже будут работать на рост плодов и семян. Но после появления бутонов азотные удобрения лучше не давать, а вот фосфора и калия дать полезно.*

Синтезы в листьях

Основное назначение листьев – образование углеводов в процессе фотосинтеза. Однако в листьях образуется много и других соединений. Листья создают фенольные соединения, содержащие бензольные (ароматические) кольца. Эти соединения играют чрезвычайно важную роль в клетках всех живых организмов, в том числе и у нас с вами. Они входят в состав электронтранспортных цепей дыхания и фотосинтеза, в молекулы, богатые энергией, в нуклеиновые кислоты, фитогормоны и другие регуляторные вещества. Фенолы участвуют в окислительно-восстановительных реакциях в клетках растений и животных. Их синтезировать могут только растения и микроорганизмы. Животные способны лишь преобразовывать циклические структуры, поступающие с питанием.

Вспомним и о незаменимых аминокислотах, создающихся в растении. И становится понятно, почему нельзя питаться одним мясом. И почему люди, совсем не употребляющие мясного (вегетарианцы), прекрасно без него обходятся: в растении есть всё, что нам нужно для жизни.

В листьях образуются органические и аминокислоты, витамины, растительные гормоны, и самые разные по строению молекулы, обладающие для нас целебными свойствами. Но если витамины и фитогормоны вырабатывают *все* растения, хотя и в разных количествах, то многие характерны для растений особых. Таковы лекарственные растения, растения, содержащие красители, дубильные и другие вещества.

Многие растения синтезируют ароматические соединения для кондитерской промышленности, парфюмерии, кулинарии, для борьбы с вредными насекомыми. Их синтез происходит главным образом в листьях. Витамины, фитогормоны образуются в молодых, а дубильные и лекарственные вещества, в основном, в листьях зрелых.

Есть растения, в листьях которых всегда присутствуют ароматические молекулы, обладающие бактерицидными свойствами: *чеснок, лук, горькая полынь* и другие. А у тополя-осокоря, например, бактерицидные вещества (фи-

тонциды) выделяются только в самом начале роста листа. Потому мы чувствуем весной аромат клейких распускающихся листиков, у взрослых листьев такого аромата нет.

Для ароматизации пищи применяют укроп, базилик, мелиссу, мяту, тмин... В борьбе с вредителями растений используют отвар или настой листьев махорки, ботвы картофеля, помидоров, полыни горькой, лука, чеснока, плодов горького перца. С их помощью можно успешно бороться не только с тлёй, но и другими вредителями огородных культур. Хорошо отпугивает комнатную моль запах лаванды.

Листья многих растений выделяют вещества, отпугивающие вредителей соседа. Так, листья моркови неприятно пахнут для луковой моли, а лука – для морковной, то же для свёклы и лука. Огородники используют эти свойства, помещая рядом морковь и лук, лук и свёклу.

Есть растения, листья которых выделяют летучие молекулы с фитонцидными свойствами, губительными для многих бактерий и даже насекомых, но этим полезные для нас. Среди древесных пород наиболее известна своими фитонцидами черёмуха.

Листья способны вырабатывать и молекулы, противостоящие развитию паразитарных микроорганизмов, попавших на растения. В этом отношении не все растения, и даже сорта, обладают одинаковой способностью к синтезу таких веществ, потому и разной устойчивостью к заболеваниям.

Таким образом, в листьях вырабатываются многие специфические соединения, полезные и даже необходимые растению, которые используют животные и человек.

Напоследок следует вспомнить и о том, что в листьях содержатся молекулы, воспринимающие световые сигналы (длину дня и ночи). По ним растение «получает разрешение» на переход к цветению и плодоношению. Об этом мы уже говорили.

БЕСЕДА СЕДЬМАЯ

СТЕБЕЛЬ

Растение получает питательные вещества из почвы и из воздуха. Оно и делится как бы на две части: от корневой шейки вниз – корни, а вверх – побеги. (Напомним, что побегом называется стебель с почками и листьями). Корни дают необходимое питание из земли, листья – из воздуха, но для растения необходимо их объединение.

В растении казалась бы незаметная, роль стебля на самом деле очень велика. Незаметная потому, что в стебле очень мало процессов синтеза (за исключением роста стебля в толщину, но здесь используются питательные вещества, поступающие от корней и листьев). Только очень молодые, зелёные участки стебля, содержащие хлоропласты, способны к фотосинтезу.

Почему же стебель растениям так нужен?

Стебель объединяет все части растения, но у стебля есть и ещё одна роль – регуляторная. Она проявляется уже в самом начале прорастания семени, когда под влиянием ферментов запасные молекулы жира, крахмала, белков начинают распадаться на мелкие молекулы и передвигаться в участки, где идет рост – корешок и верхушку стебля, зачатки листьев. Вначале эти молекулы из семядолей попадают в стебелёк, где они накапливаются, образуя резерв. И уже потом перемещаются к растущим частям проростка. Но направление передвижения: пойдут ли эти молекулы вниз к корням или вверх, к верхушечной почке, как показали исследования, зависит от стебля.

У взрослых растений, особенно выросших из семян, важная регуляторная роль принадлежит корневой шейке (участок на границе корня и стебля). Это знают опытные садоводы и учитывают при посадке плодовых деревьев. Корневая шейка должна быть в земле не глубже 3-5 см, иначе дерево будет плохо расти и плодоносить. В свою очередь открытая корневая шейка вредна: расположенные близко к поверхности корни могут вымерзнуть в бесснежную зиму.

Стебель в наибольшей степени способен восстанавливать корневую систему. Правда, главную роль здесь играет лист или почка на участке стебля. Без

них клетки стебля могут давать начало новому растению лишь в особых, стерильных условиях, на питательной среде (см. беседу девяную).

Многие растения размножают черенками. Черенком называют отрезок стебля с листьями или почками – часть побега. Черенки бывают «зелёными» – с листьями, «деревянистыми» – с почками, Бывают и травянистые черенки. Черенкованием хорошо размножаются смородина, крыжовник, тополь, виноград и многие другие растения. Бессемянное размножение растений называют «вегетативным». Вегетативным путем размножаются картофель, пырей. Клубни картофеля, корневища пырея – это видоизмененные стебли с почками. Почка картофеля называется «глазками».

Строение стебля

Стебель древесных растений покрывает защитная ткань – пробка, то, что мы называем корой (*покровная ткань*). В понятии специалистов это – корка, мёртвые клетки, пропитанные воскообразным веществом, суберином. Поэтому они не пропускают ни воду, ни воздух, ни тепло и очень прочны. В клетках пробковой ткани могут содержаться смолистые вещества. Наружная часть пробкового слоя у взрослых деревьев шелушится, отпадает. Слой может быть очень толстым, например, у пробкового дуба значительно более десяти сантиметров, из него делают пробки, потому так и называется этот дуб.

Под покровными тканями находятся клетки *луба*, в которых наиболее важны длинные клетки – *ситовидные трубки*. Такое название не случайно: на узких концах, где клетки соприкасаются друг с другом, в клеточных оболочках есть отверстия, как у сита. Через них перемещаются растворённые вещества (главным образом, сахара) из зелёных листьев вниз к корням, а также к другим частям растения, питая их.

Рядом с ситовидными трубками расположены *клетки-спутники*. Нити протопласта (их называют *плазмодесмы*) таких клеток проникают в ситовидные трубки около ситовидных отверстий. В плазмодесмах есть такие белки, что могут сокращаться и помогать передвижению потока по ситовидным трубкам.

Клетки, по которым перемещаются вещества, созданные в листьях, образуют ткань, которую называют *флоэма*.

В стебле существуют клетки, способные к делению. Это слой клеток, расположенных за пробкой, они образуют пробковую ткань.

Внутри стебля от луба располагается слой *камбия*, часть его клеток развивается в клетки луба. А другая, внутренняя часть, ближняя к оси ствола, дает начало клеткам древесины (*ксилемы*) (рис. 42).

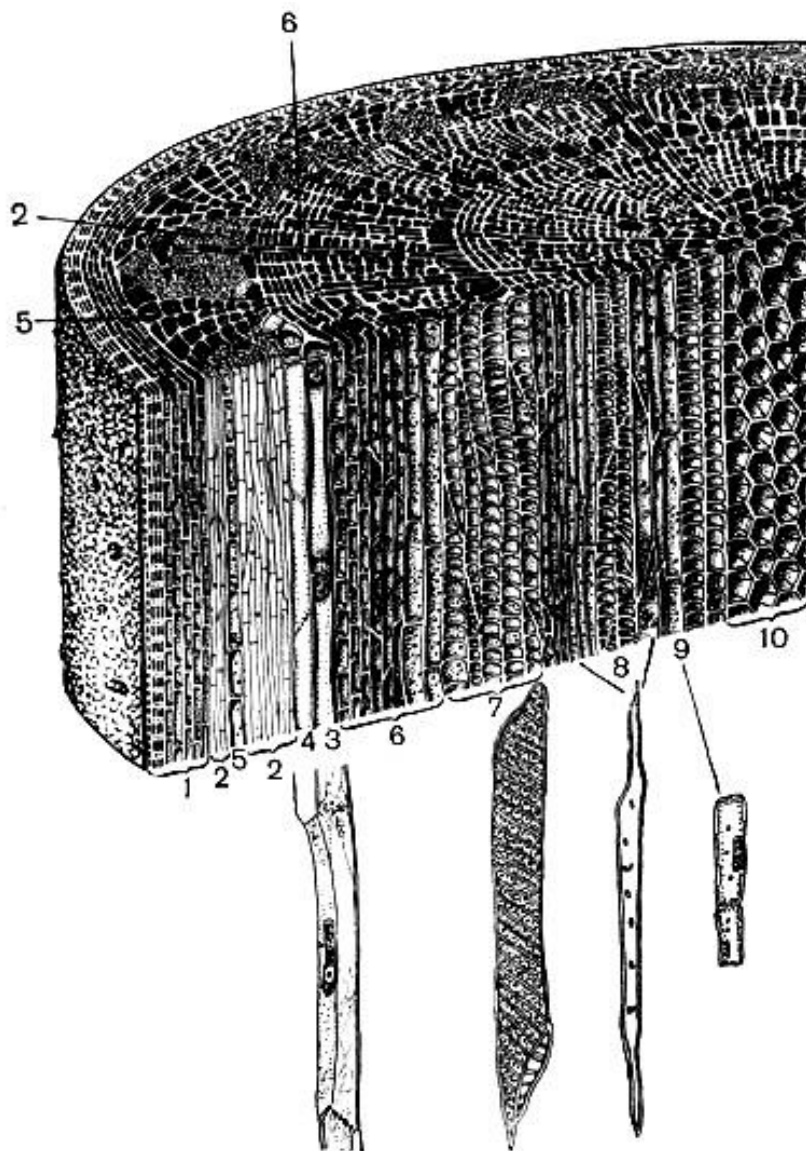


Рис. 42. Клеточное строение однолетнего стебля липы. Продольный и поперечный срезы: 1 – система покровных тканей (снаружи внутрь: один слой эпидермиса, пробка, первичная кора); 2-5 – луб; 2 – лубяные волокна; 3 – ситовидные трубки; 4 – клетки – спутники; 5 – клетки лубяной паренхимы; 6 – клетки камбия, в крайних слоях растянутые, дифференцирующиеся; 7-9 – клеточные элементы древесины: 7 – клетки сосудов (трахеи); 8 – древесные волокна; 9 – клетки древесной паренхимы; 10 – клетки сердцевины

Деление клеток камбия и рост клеток приходится главным образом на весну и начало лета. В зависимости от условий, клетки достигают большего или меньшего размера, что бывает хорошо видно на пне в виде колец. Весною клетки крупнее, к осени становятся мелкими. По числу колец на срезе ствола можно определить число лет бывшего дерева, а по ширине колец – условия года. Чем лучше условия – влажность, температура – тем кольца шире, и наоборот. На пнях очень старых деревьев можно «прочитать» какое лето было много десятков лет назад.

В ксилеме есть клетки проводящей ткани, их называют *трахеями*. Это длинные мёртвые клетки с толстыми клеточными оболочками, на стыке узких сторон они разрушаются. Потому клетки становятся очень длинными (у дуба могут быть до двух метров). По трахеям передвигается водный ток от корней к листьям. Помимо трахей, в ксилеме есть опорные мёртвые клетки и живые клетки паренхимы.

В центре стебля находятся клетки *сердцевины*. Они бывают полыми, содержащими воздух, или заполненными различными питательными веществами, кристаллами, танинами. По клеткам сердцевины не передвигаются ни вода, ни питательные вещества.

Пути транспорта в стебле четко разграничены: вверх направляется водный поток по клеткам ксилемы (древесине), из листьев поток направляется по живым клеткам – флоэме. В зоне флоэмы есть клетки, в которых запасаются органические вещества.

Движение по стеблю

Снизу вверх

Итак, вода с разнообразными веществами передвигается по растению снизу вверх и сверху вниз. Движение вниз на первый взгляд не вызывает недоумения и вопросов. Мы привыкли, что такое движение происходит само по себе и не требует энергетических затрат. (Дальше мы увидим, что это представление

здесь ошибочно).

Иное дело – движение вверх. Даже если вода движется по мёртвым клеткам, перегородки которых имеют отверстия и не мешают движению. Возникает вопрос: какая сила помогает водному току преодолевать притяжение Земли, двигаться в обратном направлении, против силы тяжести?

Известны два главных двигателя восходящего тока, расположенные с разных концов растения: нижний двигатель – активная деятельность корней и верхний – присасывающая сила листьев.

За счет испарения воды в листьях создается непрерывный её поток от почвы, через корни, стебли – к листьям. Молекулы воды обладают чрезвычайно высокой силой сцепления, нарушить её могут лишь пузырьки воздуха, попавшие в натянутую водную нить. Считается, что летом главная сила, определяющая движение восходящего тока – листья. Но нижний двигатель тоже работает. Хотя его работу мы замечаем только когда воздух насыщен водяными парами и *транспирация* (испарение воды наземными частями растений) очень мала. Тогда у некоторых деревьев (например, ивы на берегу реки) можно видеть выступающие на кончиках листьев капельки жидкости. Жидкость называют *гутта* (от лат. *gutta* – капля), а само явление – *гуттация*. Её можно видеть у некоторых комнатных растений перед дождливой погодой. В народе говорят: растение «плачет».

У специалистов *плачем* называется выделение жидкости при повреждении стебля. Берёзовый сок – это плач, а жидкость называют *пасока*. Пасока содержит все вещества, которые идут от корня вверх.

При гуттации вода выходит из молодых листьев через отверстия, образованные группой мелких, тесно расположенных друг к другу клеток (их называют *гидатоды*), они фильтруют пасоку. Потому гутта состоит почти из чистой воды, в ней примесей очень мало. И гутта и пасока говорят о работе нижнего концевого двигателя: об активном нагнетании жидкости в побег.

Что же заставляет растение направлять воду от корней к листьям, когда её

явные излишки выделяются в виде гутты? Мы знаем, что Природа очень экономна, не терпит излишеств, а здесь работа корней затрачивается зря?

Нет, это не так, совсем не зря. Водный раствор, который движется по стеблю вверх, содержит минеральные соли, поглощенные корнями из почвы. А также многие вещества, образованные в клетках корней, но необходимые листьям, плодам. Здесь есть витамины, фитогормоны, один из которых (цитокинин) синтезируется только в корнях, а листьям необходим, и много других молекул.

Вода с растворенными в ней веществами при своем перемещении выполняет роль кровеносной системы. Только движение крови идет по замкнутому кругу, а у растений этот круг разорван.

Подобие нашей кровеносной системе проявляется в первую очередь в работе нижнего концевого двигателя. Водный раствор активно выдавливается клетками корня в стебель, на это расходуется энергия, в процессе участвуют ферменты.

Нижний двигатель работает не всегда активно и не у всех растений. В нашей полосе он особенно нужен ранней весной, когда пробуждаются деревья. Листьев ещё нет, но распускающимся почкам уже необходимы вещества, поступающие из корней. Пасока весной богата соединениями, которых летом будет меньше.

Летом, особенно в холодной почве, нижний двигатель почти не работает.

В корневом давлении действуют два механизма. Один – зависит от разной концентрации веществ, поэтому не требует энергетических затрат и высокой температуры. Второй – зависит от внутриклеточных сократительных белков, *пульсирует* – через каждые 2-3 минуты, и требует энергии, активной работы ферментов и, следовательно, достаточно высокой температуры.

Но даже при благоприятных условиях в нашем климате нижний концевой двигатель работает летом менее активно, чем верхний. Растение регулирует его работу (растению это выгоднее – меньше затрата энергии).

Всегда активно работают корни, продавливая воду в стебель у растений влажных тропиков, – там, в воздухе много влаги и вода испаряется плохо, а потребность в активном транспорте веществ существует.

Стебель тоже помогает

Долгое время считалось, что стебель, по которому перемещаются вода и питательные вещества от корня к листьям, пассивен, сам не участвует в движении раствора. Действительно, если вода и растворенные в ней вещества движутся по мёртвым клеткам ксилемы, то существует ли возможность у стебля хоть в какой-то мере регулировать поток?

Оказывается – да, есть такая возможность. Движению воды по стеблю вверх помогает непрерывность водного тока от клеток корня до клеток листа и очень сильное натяжение водных нитей – мощные силы сцепления между молекулами воды. Но есть и другие двигатели водного потока. С помощью сверхточных приборов установлены очень слабые колебания толщины стебля в междоузлиях. Они происходят не одновременно по длине стебля, а последовательно, одно за другим. Поэтому, когда одно междоузлие сжимается, то расположенное рядом – расслабляется и толщина стебля, его диаметр расширяется. Эти изменения учёные сравнивают с бегущей волной, они напоминают пульсацию стенок кровеносных сосудов у животных.

Пульсация происходит благодаря сокращениям живых клеток ксилемы, по ним частично тоже передвигается вода.

Лист, как верхний концевой двигатель

Присасывающее действие транспирации считается самым мощным двигателем водного тока. Водяной пар, выходящий через устьичные щели, рассеивается в окружающем воздушном пространстве. И сухой воздух вытягивает новые порции влаги.

Однако и тут обнаружены сложные регуляторные механизмы. В устьичную щель выходит не вода, а водяной пар. Испарение происходит внутри листа,

с поверхностей тонких клеточных оболочек. И здесь происходит ритмичное чередование поступления воды в лист и выделение из листьев водяного пара. Оно происходит частично механическим (осмотическим) путем, а частично зависит от обмена веществ и регулируется клетками листа. Процесс этот достаточно сложен и мало изучен.

Сверху вниз. Силы нужны и здесь

Ещё заметнее сходство с кровеносной системой животных, у нисходящего водного тока: часть воды, поступившей из корня в лист, не испаряется, а отправляется в обратный путь по клеткам *флоэмы*.

Здесь перемещение происходит по живым клеткам и всегда нуждается в расходовании энергии. Мы говорим «нисходящий ток», но движение не обязательно направлено к корням, то есть – вниз. Из листьев ток направляется и к точкам роста стебля, самым молодым листочкам, к цветкам и плодам. Поэтому правильнее его считать *током пластических веществ*, часто его так и называют.

Проводящие сосуды, по которым перемещается ток пластических веществ, формируются очень рано. В начинающем рост листе уже образуется система жилок, по ним поступают вода и вещества от корня и взрослых листьев. В самом начале роста листа ток односторонний – только к листикам. Но уже когда лист достигнет примерно одной трети или даже четверти своей взрослой величины, движение происходит в обе стороны – растущие листья передают растению то, что образовано в них.

Чтобы попасть из клеток листа в проводящую ткань, молекулы должны преодолеть барьеры. Один механический: клеточные оболочки с рыхлым расположением составляющих их молекул и пространством между ними. Второй барьер – мембраны живых клеток, для их преодоления необходима затрата энергии.

Крупные молекулы крахмала и запасных белков распадаются на мелкие: сахара и аминокислоты, и они при помощи энергии АТФ преодолевают мембранную препопу. Часть молекул передвигается по клеточным оболочкам, внутри, что не требует энергетических затрат.

У растения распределены направления тока питательных веществ из листьев: нижние листья отправляют свои продукты вниз, корням, верхние – своим растущим частям. А расположенные в середине стебля передают созданное в них туда, откуда посылается больший запрос: корням или растущим побегам, – туда, где нужнее.

Взаимосвязь и взаимопомощь проявляется и в том случае, если близко расположенный лист, питающий цветок, не успевает его «кормить». Тогда питание начинает поступать и из других листьев, сначала со своей стороны стебля, а затем и с противоположной стороны.

Итак, мы видим, что стебель, по которому перемещаются вода, питательные вещества, электрические сигналы, играет в жизни растения разнообразные и очень важные роли.

БЕСЕДА ВОСЬМАЯ

ДЫХАНИЕ РАСТЕНИЙ

Прежде, чем перейти к нашей заключительной беседе, мы поговорим об особом – важнейшем процессе всех живых существ – дыхании.

Всё живое дышит. Если прекращается дыхание, прекращается и жизнь. Организм может существовать какое-то время без пищи и даже без воды, но без дыхания погибнет почти мгновенно. И это неудивительно: Жизнь – это непрерывный обмен веществ и требует постоянных энергетических затрат, даже только для поддержания клеточных структур. А дыхание – единственный поставщик энергии у животных, и у растений в тех клетках, где нет фотосинтеза.

Все знают, что при дыхании поглощается кислород и выделяется углекислый газ. У растений обмен газов происходит в основном через устьица. Молодые листья, побеги могут дышать и всей поверхностью. Взрослые листья и побеги покрываются толстой кутикулой, через неё газообмена нет.

У животных есть специальные органы дыхания, оттуда кислород с кро-

вью разносится по тканям и клеткам. Растения таких органов не имеют, и кислород сразу используется в клетках на то, что называют *химизмом дыхания, или клеточным дыханием*. Поглощение кислорода и выделение углекислого газа называют *дыханием внешним*. Его суммарная формула:



Формула нам уже знакома – это процесс, обратный фотосинтезу. Если стрелку, которая показывает направление, повернуть в противоположную сторону, увидим суммарную реакцию фотосинтеза. Мы знаем, что главное в фотосинтезе – то, что скромно обозначено стрелкой (поглощение света, световая и темновая фазы фотосинтеза). Также и здесь. За стрелкой скрывается сложнейшая цепь биохимических реакций. Это и есть *химизм дыхания*.

Дыхание в клетках может иметь особенности, но главный путь окисления органических веществ един у животных и растений, он и главный поставщик энергии при дыхании.

Основной дыхательный путь – цикл Кребса

Основной дыхательный путь – через цикл Кребса состоит из трёх этапов. Первый этап – начальный: гликолиз. Этап не требует кислорода, хотя реакции идут и в его присутствии.

Гликолиз начинается с активации глюкозы. Сама по себе глюкоза инертна. Для её активации происходит ряд реакций с участием двух молекул АТФ. В результате образуется фруктозо-1,6-дифосфат (и две молекулы АДФ). Он распадается на две триозы. Каждая из них превращается дальше до пировиноградной кислоты (ПВК). Примечательно, что реакции гликолиза проходят в одинаковой последовательности, с участием таких же ферментов «...в микробной клетке, клетке зелёного листа и клетке мозга человека» (акад. В.А. Энгельгардт).

Дальнейший путь превращения зависит от условий. В бескислородной среде начинается брожение. Будет ли оно уксуснокислым, молочнокислым или

иным, решает наличие бактерий.

Следующий этап аэробный. В присутствии кислорода из цитоплазмы, где идет гликолиз, ПВК поступает в матрикс митохондрий. Аэробный этап начинается с окислительного декарбоксилирования ПВК – выделяется одна молекула углекислого газа и образуется активный ацетат. Он объединяется со щавелевоуксусной кислотой (ЩУК) – создается лимонная кислота.

Дальше в матриксе митохондрий идет цикл реакций органических кислот. Его называют лимоннокислым циклом, поскольку начинается с образования лимонной кислоты. Но чаще зовут циклом трикарбоновых кислот (ЦТК), или циклом Кребса – по имени учёного, изучившего его реакции.

В ходе цикла к органическим кислотам присоединяются три молекулы воды, выделяются две молекулы CO_2 и четыре пары активированного водорода. Водород выходит из цикла и поступает в электронтранспортную цепь (ЭТЦ): (третий этап дыхания).

Расположена ЭТЦ во внутренней мембране митохондрий, на кристах (складках мембраны): ее ферменты и ферментные комплексы составляют сложную систему переносчиков в дыхательной цепи, они как бы вплетены в мембрану и образуют *дыхательный ансамбль*.

Собственно дыхание, как процесс, где вырабатывается энергия и поглощается кислород, начинается с активации водорода. Активированный водород в виде 2H^+ и $+2e^-$ по цепи переносчиков движется в конец цепи к активированному кислороду, по пути теряя запас энергии. Там водород и кислород объединяются в молекулу воды.

Почему же активированный водород направляется к кислороду, что является движущей силой? Движущая сила – разность потенциалов, разная способность молекул окисляться и восстанавливаться. Молекулы обладают неодинаковой способностью к окислительно-восстановительным реакциям. Одни легко окисляются, восстанавливая другую молекулу, их зовут *восстановите-*

лями. Другие, напротив, легко восстанавливаются, это *окислители*.

Водород отнимается от субстрата – органической кислоты и активируется в основном, ферментами, содержащими активную группу – *никотинамидаденин динуклеотид* (НАД).

(С белковой частью фермента НАД соединен непрочно, легко отделяется от одного и переходит к другому ферменту, потому НАД называют *коферментом*).

НАД – сильный восстановитель. Ферменты, содержащие НАД, расположены в начале ЭТЦ. Отнимая водород от органической кислоты, НАД затем легко передает активированный водород соседней молекуле в ЭТЦ. При этом выделяется порция энергии.

С противоположного конца ЭТЦ располагается активированный ферментами (цитохромоксидаза) кислород – очень сильный окислитель. Он способен с большой силой притягивать водород и восстанавливаться: образуется вода.

Постепенная разность потенциалов – переносчиков в ЭТЦ и определяет движение активированного водорода.

К. А. Тимирязев говорил: «Солнечный луч упал на Землю, но не исчез...». Зелёный лист поймал солнечный луч, использовал его энергию на образование органических веществ и сохранил в них. При горении эта энергия выделяется в виде тепла. При дыхании запасенная в органических веществах энергия выделяется порциями, и совсем иначе, чем при горении.

Дыхание называют *медленным окислением*, скорее, думаю, – ступенчатым. Как я сказала, при окислении выделяется порция энергии. В некоторых звеньях ЭТЦ выделяется малая порция энергии, в виде тепла. Но в некоторых звеньях выделяется столько энергии, что может использоваться на образование АТФ из АДФ и фосфорной кислоты. Вспомним, это называется *окислительным фосфорилированием* – энергия запасается в химических связях АТФ за счет окисления органических веществ. Образование АТФ – сложный и пока ещё недостаточно изученный процесс.

Основное количество энергии в дыхании создается в ЭТЦ митохондрий

при окислительном фосфорилировании. В гликолизе и цикле трикарбоновых кислот образуется АТФ и за счет энергии субстрата (*субстратное фосфорилирование*), но там её образуется очень мало

Ещё о роли и путях дыхания

Мы рассмотрели дыхание как процесс, поставляющий энергию. Но значение дыхания намного шире. Дыхание находится в центре углеводного, липидного и азотного обмена. Промежуточные продукты – молекулы, которые образуются при дыхании, используются на синтез других веществ.

Рассматривая сокращенную схему взаимосвязи дыхания с другими сторонами обмена веществ, мы видим, что в гликолизе часть молекул уходит на образование глицина, ацетилкоэнзим А – на синтез жирных кислот (рис. 43).

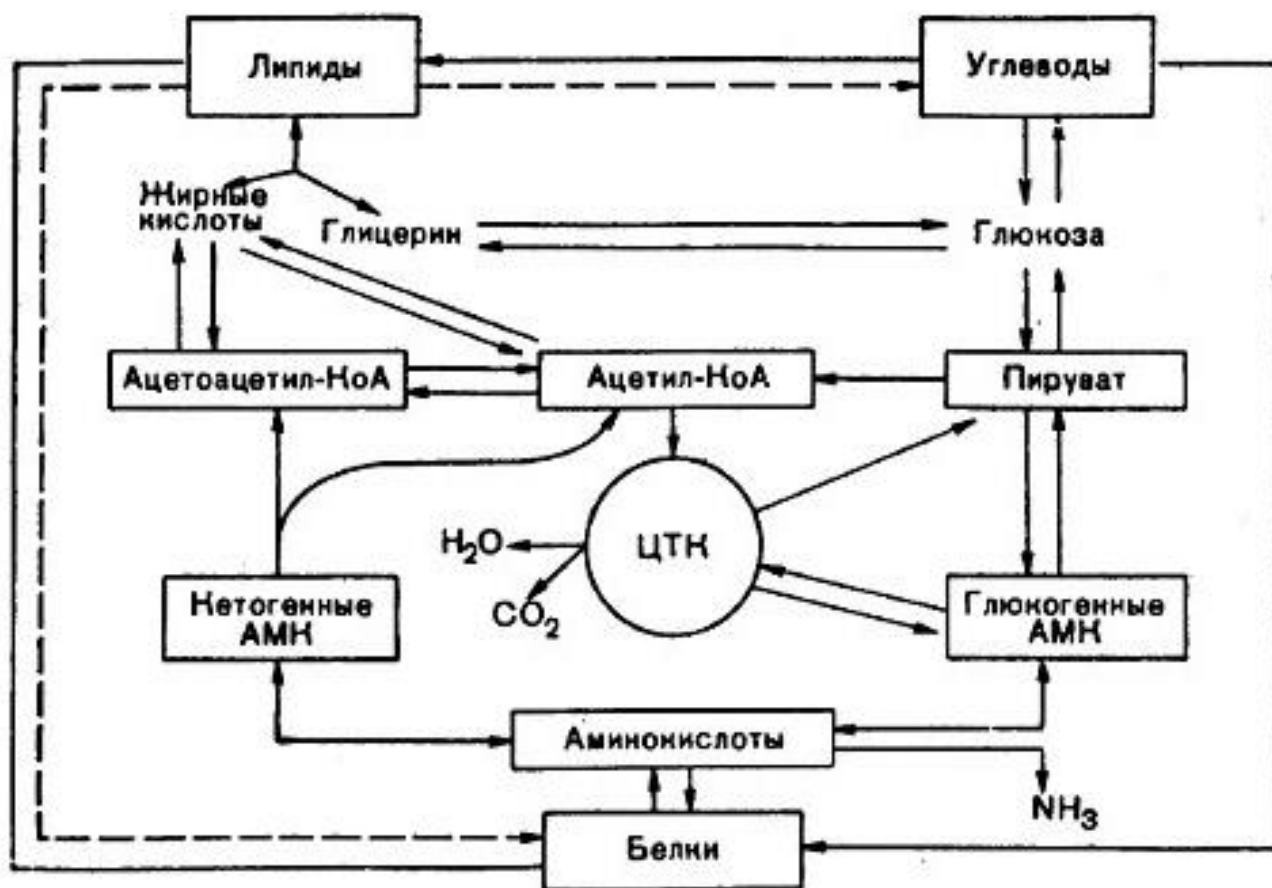


Рис. 43. Взаимосвязь дыхания с углеводным, белковым и жировым обменами

Крайне важно участие органических кислот цикла Кребса в азотном обмене. Аммиак, который содержится в клетках, связывается альфа-кетоглюта-

ровой и щавелевоуксусной кислотами, в меньшей степени – ПВК: образуются аминокислоты – глютаминовая, аспарагиновая и аланин. Затем эти аминокислоты могут передавать азотную группу другим соединениям, что называется *переаминированием*.

Так создается многообразие аминокислот. Но глютаминовая, аспарагиновая кислоты и аланин образуются первыми, потому и называются *первичными*. Включение аммиака в азотный обмен начинается с этих аминокислот.

Глиоксилатный и пентозофосфатный циклы

Многие реакции гликолиза обратимы. В определённых условиях может идти не только распад углеводов, но и синтез. Например, при прорастании в семенах масличных растений. Их семена содержат много жира, там нет сахаров, а они необходимы возросшему дыханию. Вот запасные жиры и превращаются в сахара. Процесс зовется *глюконеогенез*.

Жиры распадаются на жирные кислоты, образуется много ацетилкоэнзима А, он взаимодействует с глиоксилевой кислотой и через ряд реакций участвует в обратном гликолизе: идет синтез сахаров – глиоксилатный цикл. Он проходит в особых органеллах – *глиоксисомах*. Там образуется глиоксилевая кислота в видоизмененном цикле Кребса. *Глиоксилатного цикла у животных нет, он им не нужен. Нет у них и глиоксисом.*

Известен еще один путь дыхания – *пентозофосфатный путь (ПФП)* окисления глюкозы. У животных он тоже есть. В пентозофосфатном пути от фосфорилированной молекулы гексозы отщепляется одна молекула CO_2 , получается пентоза. Дальше идут её превращения. Пентозы необходимы для синтеза нуклеиновых кислот. У растений они могут участвовать и в темновых реакциях фотосинтеза – связывать углекислый газ. Реакции ПФП проходят в цитоплазме и в хлоропластах.

И ПФП, и глиоксилатный цикл в энергетическом отношении дают немного, но они необходимы для образования нужных клетке молекул.

У растений есть и другие пути поглощения кислорода, и даже его частичной замены, каких нет у животных. Потому растения более устойчивы к перебоям в поступлении кислорода, к действию цианистых соединений, животным губительных.

Разные пути дыхания могут идти одновременно, но обычно преобладает тот путь, который клеткам, тканям нужнее. В прорастающих семенах масличных растений активен глиоксилатный путь. В делящихся клетках меристемы преобладает гликолиз. Здесь образуется много молекул, идущих на построение мембран, других клеточных структур. В растущих клетках и тканях основной дыхательный путь – цикл Кребса, главный поставщик энергии, а также органических кислот, связывающих аммиак и создающих аминокислоты.

Взрослые листья нуждаются в пентозах – акцепторах CO_2 при фотосинтезе, потому возрастает доля ПФП. Доля ПФП усиливается и при поранении, заболевании, засухе, калийном голодании, а также при старении. Возможно оттого, что в ПФП образуются молекулы, идущие на синтез ароматических и фенольных соединений, их много в стареющих тканях.

Влияние внешних условий

Сухие семена поглощают кислорода очень мало, но при увлажнении дыхание резко возрастает. Недостаток кислорода при набухании семян сказывается не только на прорастании. Он отражается и на дальнейшем росте и развитии растений, особенно корневой системы.

Однако растения различаются по требованию к кислороду. В воде, без кислорода совсем не прорастают семена горчицы, тормозится прорастание семян гороха, кукурузы. Особенно чувствительны к недостатку кислорода семена томатов, салата, табака.

Страдают от нехватки кислорода большинство семян двудольных растений, кроме огурцов и целозии. Они, а также семена риса, прорастают при очень слабой аэрации. И не только семена, но и растения огурцов, риса, гречихи при

малом содержании кислорода даже лучше растут, как и ива.

Очень чувствительны к недостатку аэрации кроме тех растений, о которых уже говорилось, фруктовые деревья, тополь, берёза, хвойные породы. Поэтому при близком залегании грунтовых вод, они начинают *суховершинить* и погибают (см. беседу пятую).

Корни дышат очень интенсивно. За сутки корни разных растений при +25 градусов могут поглотить кислорода в 10 раз больше собственного объёма. Особенно много кислорода нужно корнеплодам. Поэтому избыток влаги, когда вода заполняет поры и вытесняет воздух, рост растений тормозит. В воде кислорода в 30 раз меньше, чем в воздухе.

Кроме того, в почве при избытке влаги усиливаются анаэробные процессы и повышается содержание углекислоты, чего растения «не любят». Для нормального роста растений концентрация углекислого газа не должна превышать 2 %, а в этом случае она становится много выше. Возрастает содержание углекислоты и в плотной почве. Уплотнение только 5 см верхнего слоя почвы повышает её количество в нижних слоях в четыре раза.

Листья чувствительнее к недостатку аэрации, чем корни. Дыхание светолюбивых пород растений выше, чем теневыносливых. Мы рассматривали это в беседе о фотосинтезе. Помните? Речь шла о компенсационной точке, когда процессы дыхания и фотосинтеза уравниваются друг друга.

Молодые части растений дышат интенсивнее, чем взрослые и старые, но при старении наблюдается вспышка поглощения кислорода. Об этом поговорим в следующей беседе.

Интенсивность дыхания зависит и от температуры. У некоторых растений дыхание идёт и при температуре ниже нуля. Хвойные породы зимой дышат даже при 25 градусах мороза. Повышение температуры от +3 до +15 градусов усиливает поглощение кислорода в три раза. Дальнейшее возрастание идет в меньшей степени.

Считается, что большинству растений для дыхания наиболее благоприят-

на температура +20...+25 градусов. Но представляется более правильным мнение, что нужны те температуры, при которых обычно проходит фаза их развития (Н.И. Якушкина).

Дыхание зависит также от корневого питания. Внесение в почву минеральных солей поглощение кислорода усиливает.

Таким образом, наше краткое знакомство с процессом показывает, что хотя дышат все клетки, но интенсивность дыхания и его путь, зависят от растения, его органа, возраста клеток и тканей, внешних условий и регулируется растением. Растения обладают более разнообразной дыхательной системой, чем животные, и это позволяет им приспосабливаться к меняющимся условиям среды.

БЕСЕДА ДЕВЯТАЯ

СТАРЕНИЕ И ОМОЛОЖЕНИЕ РАСТЕНИЙ КЛОНИРОВАНИЕ РАСТЕНИЙ

Что такое старение?

Как мы уже говорили, при развитии растения из семени, его онтогенез – жизненный цикл, состоит из последовательных этапов. Зарождения (эмбриональный этап), юношества (от прорастания до появления первых бутонов), зрелости (цветения), размножения (период плодоношения) и старения (от прекращения плодоношения до естественной смерти).

Старение – этап онтогенеза присущий всему живому. Всё в мире стареет, изнашивается и у всего есть окончание. Эта проблема волнует человечество с незапамятных времен.

Почему приходит старость? Много веков назад подразумевалось, что в организме «что-то», присущее всему живому, теряется, исчезает. Аристотель считал, что теряется «прирожденное тепло», Гиппократ – «природный жар», учёные XVIII века – «жизненная сила». Это был, так называемый, «виталистический» взгляд (от лат. *vita* – жизнь).

Сейчас под старением понимается ослабление жизнедеятельности, которое с возрастом увеличивается и приводит в конечном итоге к естественному отмиранию. Однако уже И. Гёте (1749-1832) говорил, что старение – не просто потеря приобретённого, но процесс, при котором появляется новое качество, закономерный этап развития организма, хотя и приближающий этот организм к окончанию жизни.

Бессмертны ли одноклеточные

Учёных волновал вопрос: есть ли организмы, не знающие старости?

Существовало мнение, что одноклеточные организмы бессмертны. Они не умирают, только делятся пополам, старость и смерть возникли уже в процессе эволюции у многоклеточных, это «плата за организацию».

Такие взгляды как бы подтверждались опытами двух учёных, проведённых независимо друг от друга. Русский биолог С. Метальников 22 года выращивал одну инфузорию и получил 8704 поколения. Американский зоолог Л. Вудрефф тоже выращивал одну инфузорию с 1907 по 1943 год и получил 21900 поколений. Отчётливых признаков перерождения оба учёных не наблюдали, были замечены лишь волнообразные колебания частоты деления.

Казалось, эти опыты говорили в пользу тех, кто признавал бессмертие одноклеточных. Однако исследования последних лет показали, что в инфузории в период между делениями происходят изменения интенсивности дыхания и ряда других показателей, говорящие об изменении состояния клетки. Но, главное – перед делением клетки меняются внутриклеточные структуры: расплавляются и создаются вновь мембраны, белки. Поэтому после деления появляются две новые клетки, и, следовательно, можно говорить о бессмертии не данной клетки, а вида.

В этом смысле мы тоже бессмертны в наших детях и потомках, они ведь развиваются из наших клеток. Им передаём мы и частицы нашего сознания, восприятия мира и отношения к жизни.

ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ

Две концепции

Старение связано с длительностью жизни. Но почему одни живые существа живут часы, дни, другие десятки и сотни лет? Есть высшие растения, живущие менее двух недель (эфемеры), а есть – живущие тысячелетия (секвойя).

Чем определяется длительность жизни? Она различна и у высших организмов, причем даже в пределах вида.

Существует специальная наука – *геронтология*. Учёные-геронтологи предложили более 100 различных взглядов на причины, вызывающие старение. Наиболее признаны два подхода, две основные концепции. По одной – генетическая программа жизни и смерти как бы записана на магнитофонной ленте и зависит от её длины, которая у разных видов различна.

И, действительно, у каждого вида есть свой предельный срок продолжительности жизни. Иногда его можно немного продлить, но существенно увеличить нельзя.

Приверженцы другой концепции жизнь сравнивают с диском – пластинкой, которая по мере её прокручивания изнашивается, происходят сбои – ошибки. Со временем ошибок в работе ДНК становится так много, что организм не успевает их исправлять, стареет и, в конце концов, погибает. Следовательно, продолжительность жизни, в основном, зависит от того, насколько хорошо организм исправляет ошибки, которые появляются с возрастом.

По-видимому, оба подхода, обе концепции имеют право на существование в их сочетании. Определённая длительность жизни заложена в генетической программе, но полностью она практически не реализуется: срываются «ошибки».

В человеческом обществе старение связано с социально-экономическими условиями. Длительность жизни человека во многом зависит от степени развития общества: чем более развито общество, тем дольше живет человек.

У растений тоже на процессы старения влияют условия: освещение, температура, снабжение водой, минеральными веществами... Много зависит от устойчивости растений к болезням, неблагоприятным факторам среды.

Старение растений

Несмотря на то, что механизмы старения едины у всех организмов, всё же старение растений имеет ряд особенностей. Прежде всего, – у высших растений есть несколько главных типов старения организма.

Первый тип старения у однолетних злаков. Всё растение стареет и отмирает сразу, целиком, в результате какого-то общего процесса.

Второй тип старения у многолетних трав. Стареет и отмирает надземная часть, а корни и подземные стебли продолжают жить.

Третий тип у листопадных пород – осенью отмирают сразу все листья.

К четвертому типу относят вечнозелёные деревья и кустарники. У них отмирание листьев происходит постепенно, причем каждый лист живёт несколько лет.

Учёные считают, что в основе разных типов старения лежат сходные физиологические процессы, только разной длительности. Длительность зависит даже от сорта растений: скороспелые сорта стареют раньше.

Связь между плодоношением и процессами старения особенно заметна у так называемых, монокарпиков. Мы знаем, что после образования плодов и семян, они отмирают. После плодоношения умирает агава, некоторые виды бамбуков, живущие до этого несколько лет. Ещё заметнее такая связь у растения семейства бромелиевых – Пуьи Раймонда, мы уже упоминали, до плодоношения она может жить полтора столетия.

У однолетних растений видна зависимость между созреванием семян и характером старения. Там, где семена созревают одновременно (злаки, кустовая фасоль), старение наступает очень быстро и во всём растении сразу. У растений, где образование цветков и семян происходит постепенно (томаты, пер-

цы...), также постепенно и старение. Таким растениям переход к старению можно задержать, как уже говорили, удаляя завядающие цветки.

На старение растений большое влияние оказывают и внешние условия. Засуха, высокая температура старение ускоряют. У многих растений усиленное снабжение азотом усиливает рост вегетативных органов (стеблей, листьев), это замедляет переход к цветению и, следовательно, старению. Снабжение фосфором и калием действует противоположно: старение ускоряется.

Старение сочных плодов

Начало созревания сочных плодов – начало их старения. Что же происходит в это время в плодах? Мы знаем, что старение – процесс, связанный с истощением организма. Но единственная ли это и основная причина?

Установлено, что за восемь месяцев хранения яблок содержание сахаров в них уменьшается лишь на пятую часть. Следовательно, причина старения не в истощении питательных веществ.

Старение – процесс разрушительный... И, действительно, распад в созревающих плодах усиливается, значительно возрастает разрушение полисахаридов, белков. Ослабевают иммунная система, и потому хранящиеся плоды становятся менее устойчивы к инфекциям.

Однако одновременно в несколько раз возрастает содержание спирта, альдегидов и, особенно, – перекисей, (несмотря на то, что в плодах сразу же повышается активность ферментов, обезвреживающих действие перекисей – каталазы и пероксидазы).

При созревании фотосинтез не идёт, хлоропласты не нужны, потому они разрушаются и плоды теряют зелёную окраску. Но митохондрии – *силовые станции клетки* – остаются деятельными до конца, значит, дыхание, как поставщик химической энергии, важно созревающим плодам.

Энергия действительно необходима, так как наряду с усилением распада, в хранящихся плодах идут и процессы синтеза. В клетках увеличивается формирование рибосом, синтез особых нуклеиновых кислот, новых, специфиче-

ских белков-ферментов, нужных для этого периода созревания. Синтезируется гормон старения этилен, он процессы старения усиливает, а, возможно, и вызывает.

Возрастает активность ферментов, разрушающих жёсткие полисахариды клеточной оболочки, их место занимают созданные заново полисахариды, растворимые в воде. Поэтому при хранении плоды теряют твёрдость, становятся мягкими. А в дальнейшем они «раскисают» и это облегчает прорастание семян в опавших плодах, что бывает в «дикой» природе.

Старение листьев

Старение листа начинается сразу после окончания его роста, об этом можно судить, в частности, по изменению интенсивности фотосинтеза. Самое интенсивное усвоение углекислого газа бывает при окончании быстрого роста листа. Затем фотосинтез снижается, а уже в начале пожелтения листа он идет с меньшей скоростью, чем выделение углекислого газа в дыхании.

В зависимости от возраста листа меняются и участки солнечного спектра, поглощаемые хлоропластами. Вначале, когда для растущего листа необходимо много аминокислот и белков, больше всего поглощается энергия синефиолетового участка спектра, (мы знаем, что на синем свете образуется больше органических и аминокислот.) После окончания роста интенсивнее поглощаются красные лучи, их энергия используется для синтеза углеводов. В этот период лист работает на всё растение, снабжая сахарами корни и созревающие плоды.

С возрастом меняется интенсивность дыхания: вначале она увеличивается, затем уменьшается. У некоторых растений в листьях перед опаданием наблюдается вспышка поглощения кислорода, она называется *климактерическим дыханием*. Такая вспышка бывает и у созревающих плодов.

В стареющих листьях начинают увеличиваться процессы распада – гидролиза и снижаться процессы синтеза. Образовавшиеся при гидролизе белков аминокислоты, при распаде сложных углеводов сахара, усиленно передвигаются в моло-

дые органы, созревающие плоды и семена. Недостаток азота, калия и фосфора усиливает старение нижних листьев, и отток этих элементов в растущие части растения (рис. 44).

Однако одновременно с распадом органических веществ, усиливаются и процессы синтеза специфических соединений. У лекарственных растений синтезируются присущие им алкалоиды и другие молекулы, в том числе ингибиторы роста. В основании черешка, на границе со стеблем, у листопадных растений формируются клетки отделительного слоя, и листья опадают.

Усиливается синтез некоторых соединений и в других частях растения. При старении активнее образуется лигнин и суберин в клеточных оболочках стебля и корня. Это увеличивает их прочность, но клетки становятся непроницаемыми для воды и кислорода и потому погибают. Клетки древесины очень прочные, но мёртвые.

Итак, мы видим, что старение связано не только с распадом, но и синтезом новых соединений, специфичных для данного этапа онтогенеза. Нельзя не обратить внимания и на то, что все изменения, в конце концов, губительные для данного организма (органа, клетки), благоприятны для создаваемого потомства. Следовательно, для продолжения жизни, бессмертия вида.

И это не удивительно: продолжение жизни в потомстве и есть важнейший её смысл, самый главный Закон Природы, единый для всего живущего на Земле.



А



Б

Рис. 44. А – недостаток калия на кормовой свёкле (вегетационный опыт); Б – недостаток фосфора на картофеле. Справа – растение, удобрённое фосфором

Два возраста одновременно

У деревьев и кустарников старение сменяется периодами (циклами) омоложения, поэтому говорят о цикличности старения и омоложения растений. На одном дереве сосуществуют ткани разного возраста, и они влияют друг на друга. Потому у взрослого растения листья и побеги имеют два возраста. Один – *календарный* – время от начала образования листа или побега. Другой – общий, или *физиологический*, он складывается из собственного возраста листа или побега, плюс возраст всего растения. Он ведет отсчёт от слияния половых клеток, от образования зиготы.

Когда весной распускаются почки, образуются новые клетки, молодые листья, побеги, они частично омолаживают и всё растение целиком. Но омоложение это не полное. Общий возраст с каждым годом сказывается всё сильнее. У яблонь ежегодный прирост побегов год от года становится короче, к тому же рост побега заканчивается раньше.

Листья со старых деревьев и кустарников скорее станут взрослыми, чем листья одного с ними календарного возраста молодых деревьев. Это учитывают, например, при сборе чайного листа, при выкармливании шелкоочных червей листьями шелковицы. Принимают во внимание и при размножении вегетативным путем плодовых деревьев. Побеги для прививки и окулировки не берут с верхней части кроны, где у них более старый физиологический возраст. Черенки с нижней части кроны лучше укореняются, они физиологически моложе.

Теория циклического старения и омоложения растений разработанная советским ученым Н. П. Кренке, носит его имя.

Омоложение растений. «Спящая красавица»

Старые деревья можно сделать моложе. Для этого надо пробудить *спящие почки*. Что это за почки?

Возьмём побег яблони в первый год его жизни. Осенью он сбросит листья, а зачатки почек в пазухе листьев весной дадут новые побеги. Но начнут

свой дальнейший рост не все почки. Расположенные около основания побега почки останутся *спящими*, то есть живыми, но прорасти не будут. Это будут спящие почки первого года жизни дерева – самые физиологически молодые. На следующую весну история повторится. Теперь уже не прорастут почки у основания прошлогодних побегов. Они будут спящими почками второго года жизни дерева, но тоже ещё молодыми.

Так год за годом часть почек остаётся спящими. На них не влияет общий возраст дерева, они как бы «заморожены» (мечта фантастов для человека!), заторможены в своем развитии, как спящая красавица из сказки.

Пробудить спящие почки может садовод, спилив часть скелетных ветвей у старых деревьев, и оставив ту часть ветви, где есть спящие почки. Тогда почки «проснутся» и тронутся в рост. Выросшие из них побеги и само дерево будут моложе. Хотя это омоложение неполное, такие деревья всё же постареют раньше, скажется общий возраст дерева.

Более полным станет омоложение, если спилить ствол: от пней пойдет расти молодая поросль. Но и здесь деревья будут отличаться от выросших из семян.

Бывает и так, что спящие почки прорастают сами. Часто на скелетных ветвях, например, яблони, образуются побеги длиной 20 см и больше, их называют «волчки». А от основания ствола идет «поросль». Такое прерывание сна почек говорит о каком-то неблагополучии дерева. Это может быть из-за повреждения ствола, корневой системы, заболевания побегов. У яблони – от слишком сильной обрезки. Надо попытаться выяснить причину прорастания спящих почек. Но побеги следует обязательно вырезать до основания, чтобы дерево не тратило на них силы.

Омолаживание происходит и при вегетативном размножении черенкованием, клубнями, луковицами, другими вегетативными частями растения. Только и при таком размножении через некоторое время сорт вырождается. Так бы-

вает у картофеля, чеснока, лука-шалота (семейный лук), земляники. Самое полное омоложение происходит при размножении половым путем.

В последние десятилетия ученые научились выращивать растения из кусочков тканей, клеток и протопластов. Из группы однородных клеток, и даже из одной клетки получают новые растения. В этом случае происходит достаточно полное омоложение, хотя вполне ли оно сопоставимо с тем омоложением, которое происходит при образовании семян, пока еще сказать трудно.

Клонирование растений

Нужны особые условия

Активно развивается новое направление в биологии – выращивание тканей и клеток растений и животных в искусственных условиях, *in vitro* (т. е. в пробирке, колбе). Для растений это называют – культурой тканей, клеток, протопластов, а еще – *клонированием*. *Клон – потомство одного организма, полученное путём деления клеток при размножении не половым путем. У растений это называется – вегетативным.*

Учёные сравнительно недавно достигли успехов в работе с клетками животных. Выращивать растения из кусочков стебля, корня и одиночных клеток научились раньше. Первые достижения сделаны в середине тридцатых годов XX века, когда ткани корнеплода моркови стали расти на питательной среде (первые попытки отмечались еще на рубеже столетия).

Настоящий успех пришел после трудных, разнообразных поисков условий выращивания. Подбора питательных сред, причем особенной среды для каждой культуры, для каждого вида растений. Пока ещё не всякое растение поддается клонированию, и далеко не все клетки дают новое растение, хотя каждая имеет для этого возможности.

Трудности заключаются в создании определённых условий выращивания: строгой стерильности, состава питательных смесей, определенной температуры, снабжения кислородом, что особенно важно при выращивании в жидкой

среде.

В питательную смесь для клеток растений входит большой набор минеральных солей. Например, в среду Гамборга входит 13 солей и органические вещества – сахароза, ауксин и кинетин. Но, скажу еще раз, – для каждого растения, каждой ткани существует свой набор веществ.

Клетки животных нуждаются дополнительно к минеральным солям в разных витаминах и других органических соединениях. Растительные клетки способны сами синтезировать аминокислоты и другие органические молекулы, в том числе нуклеиновые кислоты, белки, а большинство растений – даже витамины. Но клетки растений не способны обеспечить себя углеводами и нуждаются в сахарозе или глюкозе, а также фитогормонах.

Кусочки ткани выращивают на полутвердой среде (содержит агар-агар). Отдельные клетки выращивают в среде жидкой, она постоянно перемешивается (это называют «барбитаж») для лучшей аэрации. В жидкой среде клетки могут быть одиночными, но могут и слипаться, создавая разной величины колонии клеток. В жидкой среде выращивают и протопласты.

Сначала потеря специализации

В растении, как и в любом другом многоклеточном организме, клетки выполняют разные обязанности. Клетки зелёного листа участвуют в фотосинтезе, клетки стебля – в транспорте веществ... Соответственно своим обязанностям клетки дифференцированы, они имеют особенности строения, обмена веществ, содержат требуемый набор нуклеиновых кислот, белков-ферментов и других соединений. Но все они возникли из одной клетки – зиготы и хотя в дифференцированной клетке активна только часть генома, та, которая необходима для выполнения её функций, в ядре сохраняется весь набор наследственных свойств. В соответствующих условиях это может проявиться, что называется *тотипотентность*. Потому в искусственных условиях на питательной среде можно получить новое растение из клеток различной специализации: корня, стебля, листа и даже пыльника и пыльцевой трубки. Практически каждая

клетка растения при соответствующих условиях и питании может дать начало целому растению.

Сначала помещённые в искусственные условия дифференцированные клетки теряют специализацию. Происходит сложный процесс перестройки, он называется *дедифференциацией* и вызывается особым действием на дифференцированные клетки растительных гормонов. В результате образуются клетки *калуса* (от лат. *callus* – мозоль) – особого вида ткани растения. Такие клетки вырабатываются в месте ранения. (При выращивании растений из черенков можно видеть, как у основания черенка появляется наплыв из группы однородных клеток. Позже он даст начало росту новых корней).

При клонировании растений все клетки вначале превращаются в каллусные, в том числе протопласты и пыльники.

Процесс дедифференцировки очень сложен. Переорганизуется деятельность генетического аппарата, изменяется состав нуклеиновых кислот и ферментов, их активность. В таком изменённом виде каллусные клетки становятся способны к размножению, их можно выращивать десятки лет, пересаживая через определённое время кусочки ткани в новую питательную среду (это называется *пассаж, пассирование*). Известны культуры тканей моркови, женьшеня, живущие таким образом несколько десятков лет.

При длительном выращивании в темноте каллусные клетки разных растений образуют одинаковые разрастающиеся колонии рыхло связанных между собой клеток белого или кремового цвета.

Но внешне одинаковые, каллусные клетки корня и стебля сохраняют многие особенности обмена веществ. Все клетки сохраняют способность к синтезам «вторичных» соединений – алкалоидов, гликозидов, других специфических соединений и даже выделяют их в питательную среду.

Сохраняются и другие свойства растений: устойчивости (или неустойчивости) к неблагоприятным условиям – засолению, низким температурам, закаливанию. Но особенности исчезают, когда клетка становится центром начала новой ткани.

Вторичная дифференцировка

Как уже сказано, дедифференцированные клетки делятся, образуя рыхлую, неорганизованную ткань. Под влиянием фитогормонов, иной питательной среды и специальных условий выращивания она может вторично перейти к дифференцировке.

В зависимости от воздействий формируются элементы проводящей системы, стебли или корни. Напомним: для образования корней необходим ауксин – гормон корнеобразования, для образования стеблей – цитокинин.

При морфогенезе важен и физиологический (общий) возраст ткани растения, использованного в культуре. Было обнаружено, что клетки, полученные из верхних междоузлий цветущего растения табака, при вторичной дифференцировке дали бутоны. Каллусные клетки из нижних междоузлий образовали вегетативные почки.

В культуре клеток из отдельных клеток или небольших групп, могут возникать структуры, аналогичные зародышу из зиготы при половом размножении. И они могут не только вырасти в новое растение, но зацвести и дать жизнеспособные семена (рис. 45).

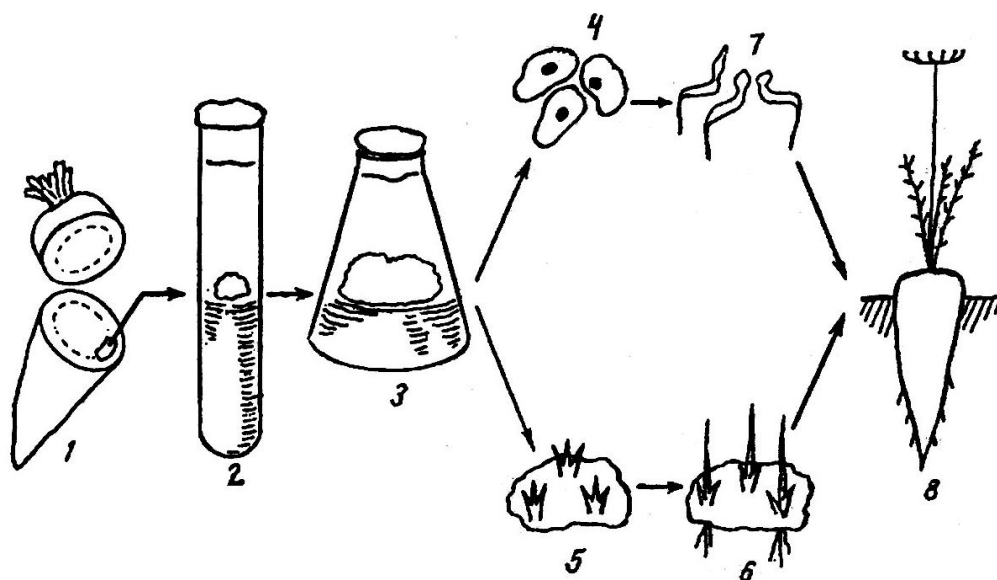


Рис. 45. Схема получения культуры ткани моркови и процесс органогенеза в недифференцированной ткани и клеточных суспензиях: 1 – исходный кронеплод моркови; 2 – получение каллуса на кусочке ткани корнеплода; 3 – пассированная культура ткани; 4 – культура клеточных суспензий; 5 – первая фаза органогенеза; 6 – вторая фаза органогенеза; 7 – зародышеобразные структуры, полученные из отдельных клеток; 8 – регенерация целого растения

Культура протопластов

Протопластами называются растительные клетки, лишённые жёсткой пектоцеллюлозной клеточной оболочки. Потому их ещё называют *раздетыми* клетками. Такие клетки окружены лишь мембраной.

Для получения протопластов растительную ткань (обычно молодые закончившие рост листья) помещают в колбу с раствором, осмотическое давление которого несколько выше, чем в клетке. Вода из клетки будет выходить в раствор, протопласт сожмется и клеточная мембрана отойдет от оболочки. Тогда в раствор добавляют ферменты, разрушающие клеточную оболочку. Клетка окруженная только мембраной, станет *протопластом*.

Клеточную оболочку растений часто называют «деревянной тюрьмой». Но, видимо, для клетки это не тюрьма, а надежный, уютный дом. Сразу же, как только из среды отмоют ферменты, разрушившие «деревянный футляр», протопласты начинают строить новую оболочку, *получая команды из ядра*.

Через два-три дня строительство оболочки закончится, новая клетка станет каллусной и только тогда сможет делиться: *протопласты не делятся*.

Пока клеточная оболочка ещё не построена, протопласты способны втягивать в себя чужеродные белки, хлоропласты. При определённых условиях они могут сливаться друг с другом, образуя единый протопласт, общую оболочку клетки, что успешно используют селекционеры. Единый протопласт могут образовать и протопласты растения с клетками животного. И они могут жить какое-то время, но не построят клеточную оболочку и со временем умирают.

Помимо важных теоретических вопросов биологии, культура клеток и тканей даёт возможность решить ряд практических задач. Наиболее успешно применяется культура клеток и тканей (особенно кусочков верхушечных и стеблевых меристем) для оздоровления, освобождения от вирусной инфекции и размножения ценных форм растений. Так размножают орхидеи, избавляют

от вирусов гвоздику, картофель, хризантему, землянику, малину...

Протопласты используют селекционеры, соединяя «раздетые» клетки растений, которые не скрещиваются между собой. Протопласт используется в генетической инженерии для введения в клетку определенной информации.

Очень перспективно использование культуры клеток в биосинтетической промышленности для получения эфирных масел, алкалоидов, лекарственных и других веществ, синтезируемых клетками. Культура тканей женьшеня успешно применяется в косметике.

Невозможно коротко рассказать обо всех трудностях и возможностях в увлекательной работе с клонированием растений. Такая работа особенно успешно проводится многие годы в академическом институте физиологии растений им. К. А. Тимирязева в Москве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На этом мы закончим беседы о наших зелёных друзьях. Мы проследили путь цветкового растения от зарождения до естественного окончания жизни, кратко познакомились с его строением, обязанностями клеток, тканей, органов. Узнали об относительной независимости и взаимосвязи всех его частей (внутри клетки, между тканями и органами), взаимодействии со средой, регуляции жизненных процессов. Узнали о том, как растение питается и как проявляет заботу о потомстве...

И если для вас растение стало ближе, интереснее, в чём-то понятнее, а в чём-то и таинственнее, значит, наши беседы не прошли зря.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Печально, что общество изменяется далеко не в лучшую сторону. В начале «перестройки» у тогдашнего главы Калачеевского района А. И. Бакулина родилась замечательная идея – издать серию книжек, которые с интересом и пользой читали бы учащиеся школ. К тому же, первая «ласточка», данная книга, была сопровождена предисловием замечательного учёного, энтузиастом и подвижником Н. И. Якушкиной, из рода того Якушкина, который стоял у истоков движения декабристов. Только его идеи были не «революционными», а созидательными – стремиться гражданам России, властвующим к постижению духовных ценностей и свято следовать им в обыденной жизни.

Прошли годы. Свидетельствую, что из Калача книжка разошлась по многим городам и сёлам России, – спрос на неё у учителей был огромен, но так и не нашлось продолжателя инициативы Анатолия Ивановича. Книжка стала библиографической редкостью... Электронная версия, конечно, хорошо. Но книга есть книга. Если мы по-настоящему заботимся о будущем государства, о должном воспитании и образовании его детей, то написанное замечательным учёным-популяризатором должно быть дополнительным пособием к учебникам школ, техникумов, вузов не только Воронежской области – всей страны.

Всё больше в России богатых, но не надо доводить страну до возрождения декабризма, былых переворотов, революций, призывов «к топору», а не к просвещению и всеспасающей духовности. Пока бедное духом богатство не спасает никого.

Эдуард Ефремов,

журналист.

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЮБИТЕ ЭТИХ ЛЮДЕЙ И ГОРДИТЕСЬ ИМИ. <i>А. Бакулин</i>	4
ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА. <i>Н. И. Якушкина</i>	6
ОТ АВТОРА	8
ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО. <i>Т. Силкина</i>	9
БЕСЕДА ПЕРВАЯ. Что такое растение?	10
Движения растений	10
<i>Только у растений</i>	15
<i>Куда растут корни</i>	17
Распределение обязанностей	18
От зарождения до угасания	23
Сколько лет живет растение	24
БЕСЕДА ВТОРАЯ. Первый этап жизни растения – эмбриональный	26
Цветок	26
Опыление	30
<i>Так бывает и у человека</i>	30
<i>Насекомые, ветер, вода</i>	32
<i>Насекомые</i>	32
<i>Ветер</i>	36
<i>И, наконец, вода</i>	38
<i>Начало начал – опыление и оплодотворение</i>	38
Рост зародыша	41
Плоды и семена	44
<i>Помидор – ягода</i>	44
<i>Путешественники</i>	46
<i>Что же дальше?</i>	46
БЕСЕДА ТРЕТЬЯ. Юношество растений	47
<i>Начало прорастания</i>	47
<i>Покой семян и почек</i>	49
<i>Без воды нет жизни</i>	50
<i>«В дорогу жизни провожая»...</i>	51
<i>От 10 дней до 150 лет</i>	52
Рост и развитие	54

<i>Хранят верность родине предков</i>	54
<i>Озимые и яровые</i>	54
Почему хризантемы цветут осенью	57
<i>Нужны листья</i>	59
<i>Азот влияет неодинаково</i>	59
<i>Две фазы перехода к цветению</i>	61
БЕСЕДА ЧЕТВЕРТАЯ. Гормоны и другие регуляторы роста растений	62
Что такое гормоны?	62
Сходство и различие	63
Гормон корнеобразования	65
<i>Немного истории</i>	65
<i>Тайна приоткрывается</i>	67
<i>От теории к практике</i>	68
Гормон роста стебля	69
<i>«Бешеный рис»</i>	69
Гормоны деления клеток	71
Фитогормоны – ингибиторы	73
<i>Гормон стресса</i>	75
<i>Гормон старения</i>	75
И другие регуляторные вещества	76
БЕСЕДА ПЯТАЯ. Корни. Корневое, или минеральное, питание растений	78
Корни	78
<i>Зачем растению корни</i>	78
<i>Корневая система</i>	79
<i>Чья поверхность больше</i>	82
<i>Где располагаются корни</i>	83
<i>Запасание веществ в корнях</i>	84
Корневое, или минеральное, питание растений	86
<i>Почему мы говорим – корневое, или минеральное питание растений</i>	86
Роль в растении отдельных элементов	88
<i>Какие элементы содержатся в растении</i>	88
<i>Азот – «нежизненный»</i>	90
<i>Нитраты</i>	91
<i>Восстановление нитратов</i>	92

<i>Помогаем растению превращать нитраты</i>	94
<i>Фосфор и сера</i>	95
<i>Калий и другие макроэлементы</i>	97
<i>Микроэлементы</i>	97
<i>Все лучшее – детям</i>	99
Растение и почва	102
<i>Почва</i>	102
<i>Почвенные микроорганизмы</i>	104
<i>Усвоение растением питательных веществ</i>	106
<i>Влияние внешних условий</i>	109
<i>И поглощают и выделяют</i>	110
<i>Друзья и недруги</i>	111
БЕСЕДА ШЕСТАЯ. Лист. Питание растений из воздуха – фотосинтез	113
<i>Какими бывают листья</i>	113
Фотосинтез	116
<i>Космическая роль</i>	117
<i>Секрет - в организации и взаимодействии</i>	118
<i>Хлоропласты, пигменты и фазы фотосинтеза</i>	119
<i>Клетки зелёного листа. И здесь – организация</i>	122
<i>Распределение обязанностей</i>	124
<i>Фотосинтез и внешние условия</i>	126
<i>Свет</i>	126
<i>Углекислый газ и кислород</i>	128
<i>Температура</i>	129
<i>Минеральное питание</i>	130
<i>«А без воды...»</i>	131
<i>Пути фотосинтеза</i>	131
<i>Фотосинтез и урожай</i>	133
<i>Синтезы в листьях</i>	134
БЕСЕДА СЕДЬМАЯ. Стебель	136
Строение стебля	137
Движение по стеблю	139
<i>Снизу вверх</i>	139
<i>Стебель тоже помогает</i>	142

<i>Лист как верхний концевой двигатель</i>	142
<i>Сверху вниз. Силы нужны и здесь</i>	143
БЕСЕДА ВОСЬМАЯ. Дыхание растений	144
Основной дыхательный путь – цикл Кребса	145
<i>Ещё о роли и путях дыхания</i>	148
<i>Глиоксилатный и пентозофосфатный циклы</i>	149
<i>Влияние внешних условий</i>	150
БЕСЕДА ДЕВЯТАЯ. Старение и омоложение растений	
Клонирование растений	152
Что такое старение?	152
Бессмертны ли одноклеточные	153
Отчего зависит длительность жизни. Две концепции.....	154
Старение растений	155
<i>Старение сочных плодов</i>	156
<i>Старение листьев</i>	157
Два возраста одновременно	159
Омоложение растений. «Спящая красавица»	159
Клонирование растений	161
<i>Нужны особые условия</i>	161
<i>Сначала потеря специализации</i>	162
<i>Вторичная дифференцировка</i>	164
<i>Культура протопластов</i>	165
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	166
ПОСЛЕСЛОВИЕ. Э. Ефремов	167