

**Батурицкая Н. В., Фенчук Т. Д.**

**Удивительные опыты  
с растениями**

**Минск  
1991**

**Батурицкая Н. В., Фенчук Т. Д.**

Удивительные опыты с растениями: Кн. для учащихся.—Мн.: Нар. асвета, 1991.—208 с.: ил.

Почему лепестки ромашки белые, а первые весенние листочки тополя красноватые? Как приготовить краску из цветков василька? Почему растения плохо растут на зеленом свету? Различают ли проростки стороны света? Почему табачный дым «убивает» листья? Как сделать косынку из крапивы? Почему кленовый сок сладкий? Можно ли заставить сирень зацвести в декабре?

На эти и другие вопросы вы получите ответы, проделав опыты, предлагаемые в книге.

## СОДЕРЖАНИЕ

От авторов	5
ИГРА ЦВЕТОВ	7
БЕЛЫЙ ЦВЕТ	10
1 Почему лепестки цветков белые	12
КРАСНЫЙ РОЗОВЫЙ СИНИЙ ФИОЛЕТОВЫЙ	13
2 Выделение антоцианов. Изменение цвета под действием кислот и щелочей	16
3 Приготовление индикаторной бумаги из растворов антоцианов	18
4 Изменение окраски цветков в букете	20
5 Надписи на лепестках	24
6 Муравьиные художества	25
7 Влияние ионов металлов на окраску цветков гортензии	26
8 Мозаика из всходов	29
9 Обесцвечивание антоцианов сернистым газом	31
10 Акварельные краски из антоцианов	32
ЖЕЛТЫЙ ЦВЕТ	33
11 Получение облепихового (морковного) масла	35
12 Получение желтого красителя из сухой чешуи лука	38
КОРИЧНЕВЫЙ И ЧЕРНЫЙ ЦВЕТА	41
13 Обнаружение катехинов в клетках растений	44
14 Получение чернил из растительного материала	45
15 Почему органы растения после гибели чернеют	48
16 Многие ли растения содержат дубильные вещества	49
17 В какой части стебля накапливаются дубильные вещества	51
ЗЕЛЕНЫЙ ЦВЕТ	—
18 Какие пигменты содержатся в зеленом листе	52
19 Разделение пигментов по методу Крауса	54
20 Действие щелочи на хлорофилл	55
21 Какого цвета хлорофилл	57
22 Взаимодействие хлорофилла с кислотой	60
23 Письмо на зеленом листе	61
24 Образование колец отмирания на листьях	62
25 Получение отпечатков фотографии с помощью раствора хлорофилла (по К А Тимирязеву)	64
26 Фотография жизнью (по К А Тимирязеву)	67
27 Фотографии на листьях	69
28 Окрашивание цветков искусственными красителями	71
РОСТ РАСТЕНИЙ	75
29 Периодичность роста древесных побегов	79
30 Выращивание растения с 2 стеблями из 1 семени	81
31 Причудливые стебли	83
32 Березовый сок и старение растений	86
33 Салициловая кислота— ингибитор роста растений	87
34 Влияние ростовых веществ дрожжей на укоренение черенков	89
35 Влияние качества света на рост растений	91
36 Тормозящее влияние света на рост растений	96
37 Влияние табачного дыма на рост растений	97
38 Срастание корневых систем древесных растений	98
39 Взаимное влияние растений	100
40 Влияние газообразных выделений растений на прорастание семян	103
41 Бактерицидное действие фитонцидов горчицы	104
РАЗДРАЖИМОСТЬ И ДВИЖЕНИЯ У РАСТЕНИЙ	106
РАЗДРАЖИМОСТЬ РАСТЕНИЙ	107
42 Обнаружение токов повреждения в разрезанном яблоке	108
43 Опыт с зеленой горошиной	110
44 Стоит ли трогать растения без надобности	112
ГИГРОСКОПИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ	114
45 Движения чешуи шишек хвойных сухого мха сухоцветов	
46 Гигроскопические движения семян. Гигрометр из семян аистника	117
ТРОПИЗМЫ	120
47 Гидротропизм корня	—
48 Влияние силы земного тяготения на рост стебля и корня	122
49 Влияние этилена на геотропическую реакцию проростков гороха	125
50 Как поднимаются полегшие стебли ржи	127
51 Изучение фототропизма растений	129

52 Движение корзинки подсолнечника	131	
53 Магнитное поле Земли и рост корня	133	
НАСТИИ	134	
54 Наблюдения за движениями венчиков цветков	135	
55 Термонастии цветка тюльпана	142	
56 Как движутся листья кислицы обыкновенной и робинии лжеакации	143	
57 Влияние ауксина НА закручивание усиков гороха	147	
58 Хмель завивается	149	
РАСТЕНИЯ ОСЕНЬЮ И ЗИМОЙ	151	
ЛИСТОПАД И ВЕТВЕПАД	153	
59 Искусственный листопад		
60 Опадение листьев под влиянием табачного дыма	155	
61 Береза — растение комнатное?	157	
62 Как сохранить естественную окраску засушиваемых цветов	161	
63 Влияние листовой пластинки на длительность жизни черешка	163	
64 Получение растительного волокна	165	
ОСЕННИЕ КРАСКИ	171	
65 Влияние условий освещения на пожелтение листьев	172	
66 Необходимость кислорода для разрушения хлорофилла	173	
67 Искусственная осень	174	
68 Надписи и рисунки на плодах	176	
69 Тайны созревающих плодов	177	
ПОКОЙ - ЭТО ТОЖЕ ЖИЗНЬ	182	
70 Много ли питательных веществ в опавших листьях	183	
71 Судьба запасного крахмала	184	
72 Повышение морозоустойчивости тканей растений	187	
73 Продолжительность периода глубокого покоя у разных видов растений	190	
74 Цветы зимой	194	
75 Теплые ванны для растения	197	
76 Почки осенние и весенние	198	
77 Покой семян	200	

## ОТ АВТОРОВ

«Без нас прожила бы природа — без нее мы не можем прожить», — сказал поэт. Этим объясняется неиссякаемый интерес к познанию природы. А всякое познание начинается с любознательности. Совсем не обязательно быть ученым, чтобы увидеть поле ржи не малахитово-зеленым, а красным: достаточно посмотреть через синее стекло. Но чтобы объяснить увиденное, одного созерцания мало.

Еще в XVIII в. женеvский пастор Жан Сенебье задумался над вопросом: почему этот зеленый мир зелен? Изучив действие солнечного света, он показал, что благодаря процессу образования кислорода и поглощения углекислого газа, происходящему в зеленом листе, питается растение, а через него и животный мир. Так было сделано одно из величайших открытий. Но вопрос о зеленой окраске листьев так и остался открытым.

Ученые-естествоиспытатели всего мира искали на него ответ. Более 35 лет отдал великий русский ученый Климент Аркадьевич Тимирязев изучению зеленого листа, запаасающего впрок солнечные лучи. Была открыта важная роль пигмента хлорофилла в процессе фотосинтеза и значение растений на Земле.

Огромное количество вопросов задает нам мир растений. И как интересно самостоятельно поискать ответы на них. Почему стебель растения растет вверх, а корень вниз? Откуда берется сахар в березовом соке? Почему растения, выращенные на синем свете, приземистые? Отчего зеленые листья осенью желтеют, краснеют? Почему семена не прорастают внутри плода? Можно ли вывести из состояния зимнего покоя «спящие» почки?

Сами по себе опыты прямых ответов не дают. Но они помогают добыть факты, без которых предположение, догадка так и не становятся истинным знанием.

Большинство предлагаемых опытов было выполнено студентами факультета естествознания Брестского государственного педагогического института им. А. С. Пушкина и учащимися школ г. Бреста под руководством доцента Тамары Дмитриевны Фенчук.

В качестве объектов рекомендуются, как правило, широко распространенные в Белоруссии растения. При этом нельзя забывать о необходимости правильного поведения в природе, бережного к ней отношения. Из приведенных в перечне растений используйте в первую очередь комнатные, декоративные, сорные, растущие на пустырях и бросовых землях. Берите для опытов побеги деревьев и кустарников, которые хорошо переносят обрезку, быстро растут и возобновляются.

Нужные реакции имеются в каждой школе. Желающих проделать опыты дома пусть не смущают трудности с приготовлением растворов нужной концентрации. Вполне удовлетворительные результаты можно получить с применением разбавленных растворов кислот и щелочей, например 1 объем кислоты и 10 объемов воды. Перед постановкой опыта получите консультацию у учителя.

Авторы будут признательны юным исследователям, которые сочтут возможным поделиться радостью маленьких открытий или трудностями на пути к этим открытиям.

## ИГРА ЦВЕТОВ

Кто не восхищался красками цветущего луга, лесной опушки, осенней листвы, даров сада и поля? Но далеко не всем известно, откуда у природы такая богатая палитра цветов. Всей этой красотой обязаны мы специальным красящим веществам — пигментам, которых в растительном мире известно около 2 тысяч.

Цвет вещества, в том числе и пигмента, определяется его способностью к поглощению света. Если свет, падающий на вещество или какой-либо орган растения, равномерно отражается, они выглядят белыми. Если же все лучи поглощаются, объект воспринимается как черный. Человеческий глаз способен различать до 300 оттенков ахроматического, т. е. нецветного, серого цвета. Если вещество поглощает только отдельные участки видимой части солнечного спектра, оно приобретает определенную окраску.

Электромагнитные волны с длиной волны 400—700 нм составляют видимую часть солнечного излучения. В этой части спектра выделяются отдельные участки: с длиной волны 400—424 нм — фиолетовый цвет, 424—491 нм — синий, 491—550 нм — зеленый, 550—585 нм — желтый, 585—647 нм — оранжевый, 647—740 нм — красный. Излучение с длиной волны меньше 400 нм — ультрафиолетовая,

7

а с длиной волны более 740 нм — инфракрасная область спектра.

Зрительный аппарат человека способен различать до 10 млн различных хроматических, т. е. окрашенных, цветов и оттенков. Максимальное цветоразложение солнечного света приходится на 13—15 часов. Именно в это время луг, поле кажутся нам, наиболее ярко и пестро расцвеченными.

В растительных клетках чаще всего встречаются зеленые пигменты хлорофиллы, желто-оранжевые каротиноиды, красные и синие антоцианы, желтые флавоны и флавонолы. Каждая из этих групп представлена несколькими отличающимися по химическому строению, а следовательно, по поглощению света и окраске пигментами. Например, группа хлорофиллов высших растений включает 2 пигмента, а каротиноидов — свыше 300.

Растительные пигменты — это крупные органические молекулы, имеющие группировки, ответственные за поглощение света. Для этих группировок характерно наличие цепочки чередующихся простых и двойных связей ( $—C=C—C=C—$ ). У желто-оранжевого пигмента бетта-каротина 11 двойных связей, у красного ликопина — 13. Кроме того, поглощение света усиливается при наличии в молекуле кольцевых структур. Так, желтые флавоны и флавонолы, сине-фиолетовые антоцианы, коричневые катехины содержат по 3 кольца. Цвет пигмента может меняться при изменении кислотности среды, температуры, при взаимодействии его с

металлами, образовании солей.

В природе нет двух растений, которые имели

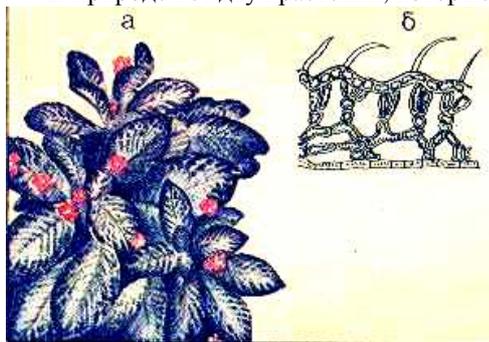


Рис. 1. Эписция: а — общий Вид. б — схема строения листа

бы абсолютно одинаковый цвет. Следовательно, окраска зависит не только от количества и типа пигментов, но и от строения ткани: ее толщины, количества межклетников, плотности находящегося на поверхности клеток воскового налета, химического состава клетки, особенно вакуолей.

Правда, не всегда окраска обусловлена избирательным поглощением света. Так, «металлический» цвет листьев некоторых растений объясняется преломлением света и рассеянием его с поверхности особых «оптических» чешуек или клеток. У эписции

медной сильно опушенные коричневые листья, середина которых отливают перламутром от голубоватого до медного цвета (рис. 1). Особенность листьев эписции в том, что под прозрачным эпидермисом находятся клетки, отражающие свет в направлении падения лучей на предмет. Это вызывает эффект, напоминающий свечение дорожного знака в темноте при освещении его фарами.

Многие растительные пигменты используются в качестве красителей. Например, из корнеплодов моркови получают желтый, а из свеклы столовой — красный пищевые красители. Из листьев индигоферы красильной — синий краситель индиго, широко применяемый в текстильной промышленности, а из листьев лавсонии — хну, оранжево-красную краску, издавна используемую для окраски волос, шерстяных и шелковых тканей, пищевых продуктов. Из плодов барбариса амурского получают красный пищевой краситель, из рылец пестиков шафрана посевного — желтый.

Но даже, если орган не содержит никакого пигмента, он все равно не прозрачен, а имеет свой цвет — белый.

## БЕЛЫЙ ЦВЕТ

В природе белый цвет распространен очень широко: белые цветки, белые стебли, белые пятна на листьях. Больше всего растений с белыми цветками в высокогорных и приполярных областях, где они составляют до 30—40% обитающих там видов. В средней

10

полосе их меньше (до 25% видов) и совсем мало в пустынях и степях.

Белый красящий пигмент называется бетулином (от лат. «бетула» — береза). Накапливаясь в клетках коры молодых деревьев, бетулин окрашивает ствол березы в тот прекрасный белый цвет, который так любим и воспет поэтами. Удивительно, что во флоре средней полосы Европейской части СССР береза — единственное растение, образующее этот пигмент.

Выделить из клеток коры березы бетулин можно, хотя и не очень просто. Для этого применяют метод возгонки: мелко измельченную сухую кору помещают в колбу и медленно нагревают. При этом бетулин выделяется из клеток и оседает на стенках колбы в виде белого налета.

У других растений причиной белой окраски венчиков являются обширные межклетники в сочетании с клетками, лишенными пигментов. Белые лепестки белы по той же причине, по какой снег белый. Каждая снежинка в отдельности бесцветна, так как свободно пропускает солнечные лучи. Но снежинки, падая друг на друга, отражают солнечные лучи, и снег кажется белым. А вот лед, не имеющий воздушных полостей, прозрачен, поскольку свет свободно проходит через него.

Убедиться в том, что белый цвет лепестков ромашки, белой лилии и других цветов обусловлен не наличием красящего вещества, а развитой системой межклетников, можно несколькими способами.

11

### 1. Почему лепестки цветков белые

*Вариант I* (самый простой). Лепесток осторожно сожмите пальцами. Воздух из межклетников выходит, и лепесток становится бесцветным и прозрачным, как лед.

*Вариант II* (более продолжительный). Погрузите лепестки в воду. Через несколько часов, когда вода через устьица проникнет в межклетники, лепестки станут бесцветными.

*Вариант III* (самый надежный). Лепестки поместите в шприц и заполните его водой. Установив шприц наконечником вверх (без иглы), задвиньте поршень, чтобы вытеснить воздух. После этого закройте пальцем отверстие наконечника и отведите поршень вниз. В результате создавшегося вакуума из воды и лепестков начнут выделяться пузырьки воздуха. Через 1—2 мин воздух из межклетников выйдет. Вновь задвиньте поршень в шприц. При этом вода поступит в межклетники и лепесток станет прозрачным.

Задание. Используя приведенные варианты опытов, проверьте, как изменяют окраску лепестки нивяника обыкновенного, ромашек, лилий, нарциссов, жасмина садового (чубушника), яблони.

## КРАСНЫЙ, РОЗОВЫЙ, СИНИЙ. ФИОЛЕТОВЫЙ

Вы проходите мимо цветка? Наклонитесь, Поглядите на чудо,

Которое видеть вы раньше нигде не могли. Он умеет такое, что никто На земле не умеет

Например. Он берет крупинку Мягкой черной земли, Затем он берет дождя дождинку, И воздуха голубой лоскуток, И лучик, солнышком пролитой. Все смршает потом (но где?! Где пробирок, и колб, И спиртовок рядьр!), И вот из одной и той же Черного цвета земли Он то красный, то синий, то сиреневый, то золотой!

*В. Солоухин*

Как это ни удивительно, но эти цвета определяет одна группа пигментов — антоцианы (от греч. «антос» — цветок, «цианос» — голубой), впервые выделенные из цветков василька синего.

Антоцианы хорошо растворимы в воде. Содержатся в клеточном соке (вакуолях), значительно реже — в клеточных оболочках. Могут существовать в различных формах. При действии минеральных и органических кислот образуют соли красного, при действии щелочей — синего цвета. На цвет антоцианов влияет не только кислотность клеточного сока, но и способность этих пигментов образовывать комплексные соединения с металлами. Например, для проявления синего цвета необходимо наличие в клетках комплексного соеди-

13

нения антоцианов с магнием, алюминием, оловом, а также белками и сахарами.

Поскольку в клетках содержится обычно несколько различных антоцианов, а химический состав растений изменяется с возрастом, то окраска даже кратковременно живущих венчиков может изменяться на протяжении дня. Так, у чины весенней они сначала красные, затем зеленовато-синие. Иногда меняется окраска только части венчика. Например, у конского каштана желтое пятнышко на лепестке сначала становится оранжевым, потом красным, причем нектар выделяется только в желтой стадии.

Ярко-красные розы, голубые васильки, фиолетовые анютины глазки содержат растворенные в клеточном соке антоцианы. Яблоки, вишни, виноград, черника, голубика своим цветом обязаны антоцианам. Клеточный сок листьев и стеблей гречихи, краснокочанной капусты, листьев и корнеплодов столовой свеклы, молодая красная кора эвкалипта, красные осенние листья также содержат антоцианы. Больше всего антоцианов накапливают растения в местностях с суровыми климатическими условиями (Арктика, высокогорные луга), а также ранневесенняя флора. Антоцианы поглощают свет в ультрафиолетовой и зеленой областях спектра. Поглощенная энергия частично превращается в тепло, повышая на 1—4°C температуру листьев, пестиков, тычинок. Это создает более благоприятные условия как для фотосинтеза, так и для оплодотворения и прорастания пыльцы в условиях пониженных температур. У высокогорных растений антоцианы, поглощая избыток солнечной ра-

14

диации, защищают хлорофилл и наследственный аппарат клетки от повреждений. Несомненно, яркая окраска цветков и плодов играет большую роль в привлечении насекомых-опылителей и в распространении плодов. Интересно, что «антоциановые» растения обладают повышенной стойкостью к загрязнению воздуха кислыми газами промышленных предприятий.

Поступая в организм человека с фруктами и овощами, антоцианы проявляют действие, сходное с действием витамина P: они поддерживают нормальное состояние кровяного давления и сосудов, предупреждая внутренние кровоизлияния. Образую комплексы с радиоактивными элементами, антоцианы способствуют быстрому выведению их из организма. Кроме того, эти пигменты способны улучшать зрение.

Если орган растения имеет голубой, синий, фиолетовый цвет, то нет никакого сомнения в том, что его окраска обусловлена антоцианами. А вот с красной окраской несколько сложнее. У некоторых, немногочисленных по сравнению с «антоциановой» группой видов растений оранжевая, красно-коричневая окраска цветков (тагетес прямостоячий, настурция большая), плодов (томаты, шиповник, ландыш майский) обусловлена не растворенными в клеточном соке антоцианами, а находящимися преимущественно в желтых и оранжевых пластидах (хромопластах) пигментами группы каротиноидов (от лат. «карота» — морковь).

Наиболее распространен красный пигмент ликопин, близкий по строению к каротину

15

Каротиноиды не растворимы в воде, но хорошо извлекаются из пластид органическими растворителями. Их цвет, в отличие от антоцианов, не зависит от кислотности среды.

Используя свойство антоцианов изменять цвет в зависимости от реакции среды, можно поставить ряд интересных опытов.

## **2. Выделение антоцианов.**

### **Изменение цвета под действием кислот и щелочей**

Для опыта понадобятся листья краснокочанной капусты, фиолетовые цветки анютиных глазок или другие растения, содержащие антоцианы, 2 пробирки, 1-процентная соляная или 6-процентная уксусная кислоты, 0,001-процентный гидроксид натрия, индикаторная бумага.

Получить антоциановую вытяжку можно двумя способами. 0,5—1 г красных листьев или синих, фиолетовых лепестков поместите в пробирку. Залейте 5 мл воды и доведите до кипения над пламенем спиртовки. Нагревание выше 70°C приводит к разрушению мембран клеток. Антоцианы свободно выходят из клеток, окрашивая воду в розовый, синий или зеленоватый цвет. Отфильтруйте раствор в чистую пробирку через бумажный фильтр.

Вместо кипячения листья или лепестки можно измельчить в ступке с небольшим количеством песка, и, добавив около 5 мл воды, отфильтровать. Цвет раствора убеждает в том, что антоцианы — водорастворимые пигменты.

Начинать следующую часть работы лучше с рассмотрения действия кислот. В чистую

пробирку отлейте 2—3 мл вытяжки пигментов, добавьте каплю разбавленной кислоты (1-процентной соляной, 6—9-процентной уксусной, 0,025-процентной лимонной) Если полученная вытяжка антоцианов имела первоначально буроватую окраску, то после добавления 1—2 капель кислоты она примет красивый розово-красный цвет. Изменения окраски связаны с перестройками в молекуле антоциана.

К окрасившемуся в розовый цвет раствору добавляйте по каплям разбавленную щелочь (0,001-процентный раствор едкого натра) или немного, на самом кончике ножа, порошка пищевой соды. Розовая окраска исчезает.

Контролируя с помощью индикаторной бумаги изменение pH раствора, происходящее в результате постепенного добавления кислоты или щелочи, можно установить более точную зависимость цвета антоцианов от кислотности среды. У краснокочанной капусты исходная вытяжка имеет красно-фиолетовый цвет. В сильнокислой среде (pH 2—3) она приобретает красный, а при pH 4—5 —розовый цвет. В результате нейтрализации розово-красный цвет изменяется сначала на синий (нейтральная среда, pH 6—7), затем на зеленый (pH 8), желто-зеленый (pH 9—10) и в сильно щелочной среде на желтый (pH выше 10).

К зеленоватому или синему раствору добавьте еще несколько капель кислоты Наблюдается повторное появление красного окрашивания. Можно повторить весь цикл изменения окраски антоциановых растворов под действием кислот и щелочей несколько раз.

17

Вытяжка пигментов синих лепестков и листьев многих растений при добавлении щелочи окрашивается в зеленый цвет. Только у некоторых видов, например, у фиолетовых анютиных глазок, гибискуса (китайская роза), краснокочанной капусты, раствор антоциана приобретает под действием щелочи довольно устойчивую сине-фиолетовую окраску У василька синего голубая окраска устойчива даже в кислой среде (pH 4—6). Причина этого явления в том, что голубой и синий цвета появляются только в том случае, если молекула пигмента входит в состав сложного комплексного соединения с металлами (Fe, Ca, Mg и др.), углеводами, белками. У многих видов в процессе выделения пигментов из листьев происходит разрушение этого комплекса и утрата способности к проявлению голубого и синего цветов.

В клетках растений может содержаться одновременно несколько различающихся по цвету антоцианов. Так, в ягодах темноокрашенного винограда их найдено 11.

Задание Проследите изменения окраски растворов антоцианов под действием кислот и щелочей на других, не названных выше, растениях. Какие из них под действием щелочи сохраняют стойкую синюю окраску?

### 3. Приготовление индикаторной бумаги из растворов антоцианов

Антоцианы растений относятся к группе индикаторов — веществ, изменяющих свою окраску в зависимости от реакции среды. Поэтому вытяжка из окрашенных в красный

18

и синий цвет органов может быть с успехом использована для приготовления индикаторной бумаги Чтобы приготовить индикатор на щелочь, (красную индикаторную бумагу) вытяжку, полученную из красных лепестков или других окрашенных антоцианом тканей растения, подкислите 1—2 каплями любой кислоты до появления четкой розовой окраски. Полосу фильтровальной бумаги пропитайте раствором антоциана и высушите на стекле. Индикаторная бумага готова.

Индикаторную бумагу на кислоты готовьте, пропитывая полоски фильтровальной бумаги сине-фиолетовым или зеленым раствором антоцианов.

Проверить эффективность приготовленной индикаторной бумаги можно, нанеся на нее по капле кислоты или щелочи. Индикаторные свойства антоцианов сходны с лакмусом: область перехода окраски лежит в интервале pH 3—12.

19

Для более точного определения pH раствора с помощью индикаторной антоциановой бумаги необходимо подготовить цветную шкалу изменений окраски антоцианов данного вида растений в интервале pH 2—10. Растворы, получаемые из окрашенных в красный, синий цвета органов растений, всегда содержат комплекс антоцианов (до 10-15), которые различаются по строению и способности к поглощению отдельных участков спектра. Поэтому индикаторные свойства окрашенных вытяжек, получаемых из разных видов растений, также различны.

Задание. Сравните индикаторные свойства антоцианов корнеплода столовой свеклы, лепестков розы, плодов рябины черноплодной.

### 4. Изменение окраски цветков в букете

Убедиться в том, что окраска органа зависит во многом от кислотности клеточного сока, можно на простом и эффектным опыте.

Для опыта нужны 3—4 вида растений с различной окраской венчиков, 2 стеклянных колпака, 2 стеклянные подставки под колпаки, водный раствор аммиака, концентрированная («дымящая») соляная кислота.

Составьте 3 одинаковых букета из цветов с различной окраской венчика: красных, голубых, фиолетовых, белых. Особенно эффектные результаты получаются с розами.

Первый букет (контрольный) оставьте в стакане с водой. Второй поместите в пары аммиака. Для этого на подставку из стекла

20

поставьте букет в стакане без воды. Рядом в маленьком стакане или бюксе — водный раствор аммиака.

Быстро накройте стеклянным колпаком. Третий букет поместите рядом со стаканчиком с концентрированной кислотой, накройте колпаком. Помните, что кислота оседает не только на цветках, но и на столе. Поэтому необходима подставка.

В течение 15—30 мин, по мере проникновения в клетки паров кислоты или аммиака, происходит постепенное изменение окраски комплекса антоцианов и их цветового сочетания с сопутствующими желтыми пигментами. В варианте, где лепестки венчиков подвергались воздействию паров кислоты, на лепестках синего цвета постепенно появляются розовые и красные пятна.

В варианте с воздействием на лепестки паров аммиака изменения окраски более разнообразны. Это обусловлено тем, что при изменении кислотности клеточного сока от кислой до щелочной происходит изменение цвета от красного через сине-фиолетовые тона до зеленого и желтого (рис. 3). Лепестки венчиков, имевшие до опыта красные, розовые тона приобретают необычную расцветку. У темно-красных роз в атмосфере аммиака цвет лепестков изменяется сначала до разных оттенков зеленого, затем переходит в коричневый. Такое изменение окраски связано с тем, что в лепестках роз одновременно содержатся не только антоцианы, придающие лепесткам красный цвет, но и желтые пигменты флавонолы. Под влиянием аммиака цвет флавонолов тоже меняется: слабое желтое окрашивание переходит в желто-оранжевое, коричневое.

21

Интересные результаты получаются с некоторыми белыми и бело-красными цветками. Так, у турецкой гвоздики, имеющей красные лепестки с белой каймой под влиянием паров кислоты может наблюдаться покраснение белых частей. Дело в том, что в клетках растений с белыми цветками и плодами могут синтезироваться бесцветные предшественники антоцианов — лейкоантоцианы, которые в результате окисления способны превращаться в окрашенные вещества.

В самом упрощенном варианте цветки или отдельные лепестки можно погрузить в 1—2-процентный раствор соляной кислоты или 0,001-процентный раствор гидроксида натрия. По мере проникновения растворов в клетки происходит изменение окраски. Недостаток этого варианта в том, что венчики намокают, антоцианы постепенно вымываются в раствор. Удобнее этим способом окрасить в ярко-красный цвет цветки бессмертника (под этим названием обычно объединяют 2 вида: акроклиниум розовый и гелихризум большой).

В книге О. Ольгина «Опыты без взрывов» предложен более сложный способ выполнения опыта. В вытяжном шкафу обрабатывают цветки смеси 50 мл медицинский эфира и 50 мл аммиака. Так как эфир, накапливаясь в клетках, нарушает проницаемость мембран, кислота или щелочь легко проникают в вакуоли, и сам опыт протекает быстро.

Задание. Прделайте опыты с цветками, лепестки которых окрашены в различные цвета, и опишите изменения их окраски.

22

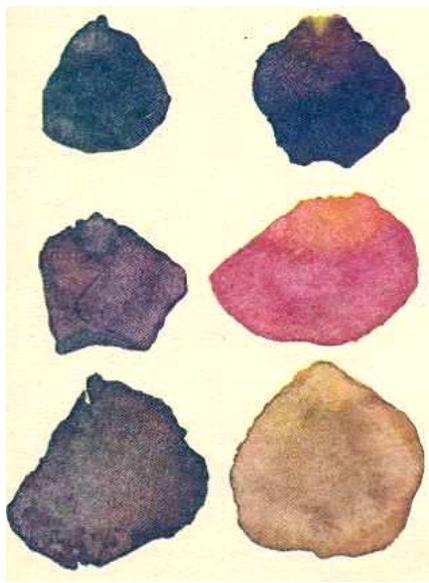


Рис. 3. Изменение окраски лепестков роз под действием щелочи.

### 5. Надписи на лепестках

В журнале «Химия и жизнь» (№ 1, 1977) членам клуба «Юный химик» было предложено задание: найти забытый способ надписей на лепестках. Победителем был признан десятиклассник из Винницы. Плотнo прижимая к стеклянной пластинке лепестки узамбарской фиалки, он с помощью пера, иглы или стеклянной трубочки с оттянутым концом наносил на лепестки вещества (главным образом разбавленные кислоты и щелочи) и наблюдал за изменением окраски. Так школьнику удалось написать поздравление сестре ко дню 8 Марта.

Приведем таблицу, в которую ученик свел результаты своих опытов (в скобках указан цвет, который приобрели лепестки со временем).

Реагент	Лепестки		
	белые	розовые	голубые
$\text{NH}_4\text{OH}$	Ярко-желтый	Светло-салатовый	Голубой (изумрудный с синей каймой)
$\text{NaOH}$	Зеленый (красно-коричневый)	Зеленый (красно-коричневый)	Голубой (желтый с зеленой каймой)
$\text{HCl}$	Зеленовато-голубой		
$\text{HBr}$	Зеленый (синий)	Розово-красный	Розово-красный
$\text{H}_2\text{SO}_4$	Зеленый	Карминово-красный	Бордо
$\text{HNO}_3$	Салатовый	Бордо	Красный
$\text{CH}_3\text{COOH}$	—	Бледно-розовый	Бледно-красный

Лепестки цветков фиалки узамбарской по размерам невелики, но, благодаря разнообразию их окраски, очень удобны для предварительного изучения изменения окраски лепестков под действием кислоты и щелочи. Для надписей лучше использовать более крупные лепестки тюльпанов, роз, пионов, гладиолусов.

Надпись делайте остро заточенной палочкой, смоченной в растворе кислоты или щелочи. Так как лепестки часто покрыты восковым налетом, малопроницаемым для водных растворов, поверхность листа слегка поцарапайте острым концом палочки. Надписи, сделанные кислотой на синих лепестках, будут розового цвета, а щелочью на красных — синими или зелеными.

Задание. Накальвая лепестки сирени иглой, конец которой смочен в растворе кислоты или щелочи, попробуйте получить соцветия сирени с разноцветными лепестками.

### 6. Муравьиные художества

Известно, что муравьи выделяют кислоту, которая так и называется — муравьиная. Положите на муравейник синие или голубые цветки (например, незабудки болотной) и наблюдайте за изменением окраски лепестков. Проникая в клетки лепестков, муравьиная кислота изменяет цвет антоцианов на красный. У цветков, окрашенных в красные тона, изменения менее заметны.

Посадите около муравейника несколько растений гиацинта мышиного. Под влиянием муравьиной кислоты, поступающей в растения через корни, окраска цветков из синей постепенно становится розовой.

25

В весеннем лесу обратите внимание на окраску венчиков молодых и старых цветков:

хохлатки Галлера, медуницы неясной, сочевичника весеннего, фиалки трехцветной, сон-травы. У медуницы венчики окрашены в самые разные цвета: от розового — до лилового и синего, от синего — до голубого и белого. Это цветки разного возраста: самые молодые, сидящие рядом с бутонами, розовые. Старая, они приобретают фиолетовую окраску, затем синюю и в конце концов — белую. Изменения окраски венчиков связаны с постепенным изменением реакции клеточного сока: в кислой среде она розовая, в щелочной — синяя, в нейтральной — лиловая.

Задание. Проведите опыт с другими видами растений, имеющими синие цветки.

### 7. Влияние ионов металлов на окраску цветков гортензии

Цвет антоцианов определяется не только кислотностью клеточного сока, но и способностью образовывать сложные комплексные соединения с металлами. Обычно взаимодействие с одновалентными катионами усиливает красную окраску, а с двухвалентными — синюю. У некоторых растений комплексные соединения антоцианов с молибденом имеют фиолетовый цвет, с железом — синий, с никелем и медью — белый. Увеличение содержания отдельных элементов в почве способно повлиять на окраску лепестков венчика. Убедиться в этом можно на опыте с гидрангией крупнолистной (гортензией) (рис. 4).

Для опыта нужны 2 растения гортензии:

26



Рис. 4. Гортензия.

одно — образующее соцветия розового цвета, второе — голубого, розовый раствор перманганата калия и раствор железосодержащих или алюмокалиевых квасцов, либо сульфата железа (II) или сульфата алюминия (II) (4—5 г/л).

Опыт лучше начинать весной, когда у гортензии начинают отрастать новые побеги, но соцветие еще не сформировалось. Голубую гортензию 1—2 раза в неделю поливайте розовым раствором перманганата калия, розовую — раствором соединений железа или алюминия. Из почвы окрашенные растворы поступают в растения и накапливаются в клетках, что вызывает в первом случае изменение окраски лепестков венчика с синей на розовую, а во втором — с розовой на голубую.

Задание. По описанной методике про-

27

ведите опыт с узамбарской фиалкой, подобрав растения с цветками различной окраски

Именно на способности растений изменять свой внешний вид в зависимости от химического состава почвы и воздуха основан биогеохимический метод поиска месторождений полезных ископаемых

В книге Н. Сладкова «Планета чудес, или невероятные приключения путешественника Парамона» есть маленький рассказ «Говорящие цветы»

«Как только мы спустились с горы в долину, мой провожатый сразу забыл про меня Он бросился собирать цветы Это была долина цветов.

Геолог торопливо срывал их, внимательно рассматривал, что-то записывал. Губы его беззвучно шевелились. Казалось, что он разговаривает с цветами. Будто он их о чем-то спрашивает, а они ему отвечают.

«Уж геолог ли он? — подумал я — Может, он ботаник или поэт?»

— Что вы там шепчете? — спросил я громко.

— Я нашел клад! — ответил геолог — В этой долине глубоко под землей спрятаны несметные сокровища!

— Это кто же вам сказал? — удивился я

— Они сказали, — крикнул геолог — Цветы.

«Неплохо,— подумал я — То цветы — поджигатели, то подземные, то говорящие».

— Наши цветы такие!— выкрикивал геолог — Им известны все клады, спрятанные в земле Нужно только понимать их язык — они все расскажут.»

28

Это не сказка. В зонах рудных месторождений из почвы в растения поступают и накапливаются в них повышенные количества элементов, образующих рудную залежь Это приводит к появлению у растений отклонений в форме, окраске листьев и цветков. У эшшольции калифорнийской повышенное содержание меди в почве изменяет оранжевый цвет лепестков на сизый, а цинка — на лимонно-желтый. Мак, растущий на свинцово-цинковом месторождении, изменяет форму лепестков (рассеченная форма вместо цельной), а на молибденовом месторождении на его ярко-красных лепестках появляются красивые черные пятна. Никель обесцвечивает цветки сон-травы. По этой примете на Южном Урале были найдены залежи никеля. Есть растения-индикаторы, которые растут только на почвах, богатых тем или иным химическим элементом. Например, на Алтае один из видов качима — растения семейства гвоздичных, растущего в виде плотных подушкообразных кустов — является индикатором меди. В Америке есть «свинцовая трава», растущая над залежами свинцовой руды.

### 8. Мозаика из всходов

Всходы травянистых растений, молодые, весенние листочки многих деревьев и кустарников из-за повышенного содержания антоцианов часто имеют окраску, непохожую на цвет сформированных листьев. Например, легко различимы всходы ржи и пшеницы у ржи они красноватые, у пшеницы — зеленые В ярко-красный цвет окрашены проростки сто-

29

ловой свеклы. Используя эту особенность, можно получить удивительную картину.

Для опыта нужны наклюнувшиеся семена пшеницы, ржи, свеклы столовой, чашка Петри или другой плоский сосуд с невысокими стенками, фильтровальная бумага.

На дно чашки Петри уложите 2—3 слоя фильтровальной бумаги. Важно, чтобы поверхность, на которую будут уложены семена, была ровной. На фильтровальную бумагу нанесите контуры двух- или трехцветного рисунка, учитывая цвет проростков. Увлажните фильтровальную бумагу и, в соответствии с рисунком, разместите набухшие семена. Для создания влажной среды, благоприятной для прорастания семян, накройте чашку крышкой. Антоциановая окраска сильнее проявляется у растений при пониженной температуре почвы и воздуха. Поэтому после того, как семена наклюнутся, сосуд перенесите в холодильник (4—10°C) до появления проростков.

К сожалению, картина красива только короткое время. С появлением первых настоящих листьев она становится однотонной, зеленой.

Задание. Окрашенные антоцианом проростки высушите и используйте для создания мозаичных панно путем наклеивания на бумагу резиновым клеем высушенного растительного материала, выбранного по тону.

30

### 9. Обесцвечивание антоцианов сернистым газом

Сернистый газ (SO<sub>2</sub>) оказывает на антоцианы удивительное действие — они обесцвечиваются: красные, синие цветки превращаются в белые.

Для опыта нужны цветки с красными и синими лепестками, стеклянный колпак, пригодный для обработки в нем цветков сернистым газом, кусочек серы или лабораторная установка для получения сернистого газа, ложка для сжигания веществ. Опыт проводится в вытяжном шкафу или вне помещения, так как сернистый газ раздражающе действует на органы дыхания человека.

Поместите 1—2 цветка (без воды) под стеклянный колпак и заполните пространство внутри колпака сернистым газом. Для этого в ложке зажгите кусочек серы и внесите в камеру, где находятся цветки. Лучше использовать лабораторную установку. Заполните сосуд сернистым газом с помощью газоотводной трубки. Плотнo закройте камеру. Наблюдайте постепенное, в течение 15—30 мин, обесцвечивание лепестков венчика. У растений с махровыми цветками сначала изменяются наружные лепестки.

Как только лепестки полностью или частично обесцветятся, достаньте цветок из камеры и поставьте в стакан с водой. Сернистый газ постепенно улетучится и лепестки примут исходный цвет. Нужно иметь в виду, что восстановление цвета происходит значительно медленнее, чем обесцвечивание, в некоторых случаях — в течение суток.

31

Сернистый газ вызывает переход антоцианов в бесцветную, так называемую лейкоформу. Бесцветные формы антоцианов достаточно широко распространены, например, в листьях, кожице и мякоти плодов некоторых растений (винограда, яблони). При определенных условиях они способны переходить в окрашенные формы

Задание Проведите опыт с 5—10 видами растений. Зафиксируйте время, за которое обесцветятся лепестки, а также время, необходимое для восстановления окраски. Данные оформите в виде таблицы.

### 10. Акварельные краски из антоцианов

Для опыта нужны растворы антоцианов, полученные из окрашенных частей различных растений, 1-процентная HCl, 0,001-процентный NaOH, водяная баня, кусочки камеди, образующейся на стволах вишни, сливы или 4-процентный глицерин.

Приготовьте различающиеся по цвету растворы антоцианов из окрашенных частей различных видов растений. С помощью нескольких капель HCl или NaOH придайте растворам более яркий оттенок. Для повышения вязкости добавьте растворенные в небольшом объеме воды кусочки камеди и упарьте на водяной бане. Краски готовы

Задание. Испытайте на стойкость полученные краски. Для этого каждый день в течение 1—2 недель пишите один и тот же текст на бумаге одного сорта и сравнивайте яркость цвета.

39

## ЖЕЛТЫЙ ЦВЕТ

Желтые пигменты распространены в мире растений так же широко, как и красные, но в некоторых случаях они маскируются антоцианами, хлорофиллом и поэтому менее заметны.

Географическое распределение растений с желтыми цветками довольно равномерно: на их долю приходится около 30% видов, произрастающих в данной местности.

Группа пигментов, способных придать клетке желтый, желто-оранжевый цвет, наиболее многочисленна: это каротиноиды, флавоны, а также флавонолы и некоторые другие.

Очень широко распространены в мире растений каротиноиды. Обычно растения содержат не один, а несколько различных каротиноидов, например в кожице зрелых плодов перца овощного обнаружено их около 100. Наиболее распространенными пигментами этой группы являются каротин, ксантофилл и ликопин

Каротиноиды поглощают свет в синей области спектра. Цвет пигмента определяется как количеством сопряженных двойных связей в молекуле, так и концентрацией его в растворе.

Каротиноиды, в отличие от других желтых пигментов, в воде не растворимы. Для их извлечения применяют органические растворители (бензин, спирт).

У растений каротиноиды содержатся практически во всех органах: в цветках (лепест-

33

ках, завязи, тычинках), листьях, плодах и семенах. В листьях и зеленых плодах каротиноиды находятся в хлоропластах, где маскируются хлорофиллом, и в хромопластах. В лепестках, семенах они могут находиться также во внепластидном состоянии в качестве красящего компонента капелек масла.

Желтый цвет венчиков чаще всего обусловлен пигментами группы каротиноидов. Например, в одном из исследований было установлено, что у 240 из 300 изученных видов растений желтый цвет лепестков определяли каротиноиды. Они придают желтый цвет венчикам цветков огурца посевного, тыквы обыкновенной, одуванчика лекарственного, лютиков, купальницы европейской, калужницы болотной, чистотела большого, подсолнечника однолетнего и других видов растений.

Вместе с флавонами каротиноиды содержатся в желтых тычинках и рыльцах пестиков, участвуя в процессах созревания пыльцы, прорастания ее на рыльце пестика и оплодотворения.

Мякоть плодов облепихи крушиковой, лимона, апельсина, корнеплодов моркови также богата каротиноидами.

Практическое использование каротиноидов основывается на их лекарственных свойствах:

они находят применение как обезболивающее средство при ожогах и обморожениях, как источник витамина А, для лечения труднозаживающих ран. Каротиноиды — прекрасные пищевые желтые красители. Выделенный из растений каротин используют для окраски конфет, масла, сыра, мороженого и других продуктов.

34

### 11. Получение облепихового (морковного) масла

В плодах облепихи хромопласты с каротиноидами находятся в сочном околоплоднике. Для получения масла, обогащенного каротиноидами, нужны растительное масло, плоды облепихи крушиновой, корнеплоды моркови, сито.

Плоды облепихи залейте таким количеством воды, чтобы она только покрывала ягоды, доведите до кипения, слегка охладите и протрите массу через сито. К мякоти добавьте столько процеженного растительного масла, чтобы получаемое облепиховое было достаточно концентрированным. Помешивая, прокипятите смесь на слабом огне. Каротиноиды, будучи жирорастворимыми веществами, переходят из разрушенных в процессе термической обработки хромопластов в растительное масло, которое приобретает оранжевую окраску. Для более полного извлечения пигментов смесь оставьте на несколько часов. После этого осторожно слейте с поверхности слой масла, обогащенного каротиноидами. Чтобы получить более насыщенный раствор, слитым маслом залейте новую порцию мякоти плодов и повторите процедуру несколько раз.

Сравните цвет растительного масла до начала и в конце опыта. Хорошо заметное изменение окраски с бледно-желтой до оранжевой свидетельствует о переходе в него пигментов плодов облепихи. Светло-желтый цвет самого растительного масла также обусловлен каротиноидами.

35

Натрите на терке корнеплод моркови, обжарьте в большом количестве подсолнечного масла. Вы получите масло, обогащенное комплексом каротиноидов моркови.

Основной компонент облепихового, морковного масла — каротиноид каротин, давший название всей группе пигментов. Кроме него, в состав масла входят другие жирорастворимые вещества: стерины, фосфолипиды. Лечебное действие масла обусловлено комплексом всех растворенных в нем веществ.

Помимо каротиноидов, в мире цветковых растений широко распространены желтые пигменты флавоны и флавонолы (от лат. «флаvus» — желтый). Флавоны и флавонолы близки между собой и по строению и по цвету. Сосредоточены они в вакуолях эпидермальных клеток, хорошо растворимы в воде. В растениях содержатся в цветках (лепестки, рыльца пестиков), листьях, плодах. Известно около 70 желтых пигментов, несколько

различающихся по химическому строению. Названия их обычно происходят от названий растений, из которых они были впервые выделены: кверцетин — пигмент коры и плодов дуба (от лат. «кверкус» — дуб), рутином богаты листья руты душистой.

Обычно в венчиках растений содержатся и антоцианы, и флавоны, и флавонолы. Например, в цветках львиного зева обнаружено 2 вида антоцианов (пеларгонидин и цианидин), 2 флавонола, в том числе кверцетин, несколько флавонов, например лютеолин — пигмент анютиных глазок. Наиболее распространен кверцетин, который содержится в лепестках всех изученных цветковых растений.

36

Флавоны и флавонолы интенсивно поглощают ультрафиолет. Поэтому особенно богаты этими пигментами цветки и листья тропических и высокогорных растений. Установлено, что, поглощая ультрафиолетовые лучи, флавоны и флавонолы предохраняют хлорофилл и цитоплазму клеток от разрушения.

С давних пор желтые пигменты наряду с антоцианами широко используются в качестве природных красителей. Первоначальное применение их связывается с раскраской и татуировкой тела. В дальнейшем краски употреблялись для окрашивания шкур, служивших одеждой. Позднее — для окраски тканей, пищевых продуктов и других предметов широкого потребления. Уже в XV—XVI вв. в Европе стали культивировать растения как источник красителей. Возникла красильная промышленность.

Для окрашивания волокон и тканей в желтый цвет в народной практике использовались цмин песчаный, череда трехраздельная, пупавка красильная, василек луговой, ястребинка зонтичная. В зеленые, коричневые, болотные тона окрашивает шерсть экстракт из наземной части зверобоя продырявленного;

в желтые, зеленые, коричневые — вытяжка из корней укропа огородного. Желто-коричневые оттенки даст окрашивание шерстяных волокон экстрактом из корней и листьев щавеля конского. Хороший желтый краситель получается из молодых листьев березы.

Задание. Приготовьте масло из плодов шиповника.

37

## 12. Получение желтого красителя из сухой чешуи лука

Сухая чешуя репчатого лука содержит в большом количестве желтый пигмент группы флавонолов — кверцетин. Экстракт чешуи находит широкое применение для окрашивания пищевых продуктов и тканей в желто-коричневый цвет. Используя экстракт чешуи лука, ознакомимся с методикой приготовления и использования растительных красителей.

Для опыта нужна сухая чешуя лука, аммониево-железные квасцы  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}]$ , сульфат железа (II), 2 химических стакана.

Окрашивание состоит из 3 этапов: экстракции, т. е. извлечения красителя, закрепления (протравки) и промывания.

100 г сухой чешуи лука залейте на 30—35 мин теплой водой (1 л), добавьте питьевую соду (чайная ложка на 1 л воды) и прокипятите 1,5 ч на слабом огне, слегка помешивая.

Экстракт слейте, а чешую лука еще раз залейте небольшим объемом воды и прокипятите в течение часа. Снова слейте экстракт, смешайте с полученной ранее порцией и дайте отстояться. Для увеличения концентрации красителя полученный экстракт можно упарить.

Такой концентрированный краситель можно непосредственно использовать для окрашивания ткани в желто-коричневый цвет, но для закрепления красителя, придания ему нужного оттенка обычно применяют протравливание ткани различными составами. Для окрашивания ткани в желтые тона в качестве протравки используют аммониево-железные

38

квасцы, а в темно-зеленые — сульфат железа (II) (железный купорос).

Протравливание можно проводить перед окрашиванием, во время окрашивания и после него. При предварительном протравливании окрашиваемый материал прокипятите 15—20 мин в растворе протравителя, затем переложите в холодный раствор красителя и прокипятите 45—60 мин.

При одновременном протравливании 4 г квасцов или 1 г сульфата железа (II) растворите в 2 л воды и добавьте в раствор красителя. Окрашиваемый материал опустите в раствор и доведите до кипения, все время переворачивая материал.

При последующем протравливании материал прокипятите около 1 ч в отваре чешуи лука, затем добавьте в раствор протравитель и кипятите еще 40 мин.

Окрашенную ткань или пряжу прополощите в теплой воде, в которую добавлено немного столового уксуса.

Помимо чешуи лука репчатого, для окрашивания в желто-зеленые тона можно использовать другой растительный материал (см. таблицу):

Источник красителя	Протравитель	Цвет окрашенного материала
Молодые листья березы	Дихромат калия	Оливково-желтый
Хвоя ели	Медный купорос (сульфат меди) (II)	Зеленый
Молодые шишки ели	Квасцы	Желтый
Опавшие листья липы	Медный купорос	Желтый

В некоторых случаях цвет ткани будет зависеть от порядка выполнения работы. Экстракт листьев и стеблей картофеля можно использовать для окрашивания ткани в желто-зеленый и черный цвета. При одновременной протравке с сульфатом железа (II) ткань приобретает желто-зеленый цвет, при предварительной — черный.

**Задание.** Приготовьте красители из листьев крапивы двудомной, корней укропа огородного, соцветий пупавки красильной, коры ольхи, сухих лепестков василька синего, опавших красных листьев клена и испытайте их, применяя в качестве протравителя железный купорос. Результаты испытаний оформите в виде таблицы.

## КОРИЧНЕВЫЙ И ЧЕРНЫЙ ЦВЕТА

Абсолютно черного пигмента у растений нет. Коричнево-черный пигмент антофеин также не часто встречается в мире растений: коричневые орхидеи, черные пятнышки на лепестках бобовых.

Антофеин — пигмент группы меланинов. По химическим свойствам близок к дубильным веществам.

В большинстве случаев, когда речь идет о черных цветках, плодах, мы имеем дело с накоплением темно-синих антоцианов.

Плоды черники, бузины черной, крушины ольховидной выглядят черными, поскольку толстый слой окрашенных клеток мякоти полностью поглощает солнечный свет.

Коричневого цвета в солнечном спектре нет, он обусловлен накоплением в клетках больших количеств желтых пигментов, часто в сочетании с окрашенными в красно-коричневые тона дубильными веществами. Например, в плодах конского каштана обыкновенного, дуба черешчатого содержится очень много желтого пигмента кверцетина.

Причиной появления коричневой, черной окраски, кроме того, могут быть бесцветные

41

вещества из группы катехинов. Сами по себе катехины бесцветны, но при окислении на воздухе происходит их полимеризация, т. е. соединение нескольких молекул между собой. Если количество взаимодействующих молекул невелико (2—4), получаются так называемые «пищевые» дубильные вещества. В цитоплазме клеток имеются специальные ферменты, которые при определенных условиях превращают катехины в дубильные вещества, окрашенные в красный, коричневый цвет.

«Непищевые» дубильные вещества (в коре дуба, ивы) представляют собой более высокомолекулярные полимеры.

По химическому составу катехины очень близки к антоцианам и флавонолам, но отличаются от них строением трехуглеродной цепочки. Катехины хорошо растворимы в горячей воде, накапливаются в вакуолях и в большом количестве содержатся в листьях многих растений, древесине, плодах. В листьях чайного куста содержатся различные желтые пигменты группы флавонолов, например кверцетин. Но желто-коричневый, а порой коричнево-черный цвет настоя чая обусловлен в основном комплексом так называемых «пищевых» дубильных веществ, которые образуются из катехинов в листьях чайного куста при обработке. В чайном листе количество катехинов превышает содержание хлорофилла и каротиноидов. В процессе приготовления чая молодые верхушечные листья сначала подвяливают в течение 6—8 ч, затем 2—3 раза пропускают между валками давяльных машин и выдерживают несколько часов в потоке кислорода. За это время в разрушенных клетках под действием

42

ферментов происходит окисление и полимеризация катехинов. Бесцветные катехины имеют горький и терпкий вкус, который пропадает при полимеризации. Процесс сопровождается образованием красных и коричневых продуктов. Если ферментация проходит не полностью, чай получается более низкого качества — горьковатый, чрезмерно терпкий. В чайном листе обнаружено до 130 химических соединений, причем многие из них имеют лекарственные свойства. Особенно богаты целебными веществами молодые листья: в трех верхних листочках сосредоточена четверть всех биологически активных веществ чайного куста. Первоначально чай использовали исключительно как лекарство. Катехины чая обладают свойствами витамина Р и так же, как этот витамин, регулируют проницаемость стенок кровеносных сосудов. Кофеин, содержание которого в высших сортах чая может достигать 4%, обладает тонизирующим действием.

Наиболее распространены 2 типа чая: черный и зеленый. Кроме того, известны желтый и красный чай. Получают их из одних и тех же листочков, но по-разному перерабатывают. Зеленый чай сохраняет естественный цвет и химический состав листьев. Он обладает наиболее активными лечебными свойствами. Черный чай в процессе переработки теряет часть витамина С, но приобретает аромат и золотисто-коричневый цвет. Желтый чай по свойствам близок к зеленому, но отличается интенсивным янтарно-желтым цветом и ни с чем не сравнимым ароматом. Красный дает ярко-красный настой, пряный аромат и имеет вдвое больше катехинов и других полезных веществ.

43

Известно много рецептов приготовления чая.

Тонизирующий чай заваривается из черного байхового чая высшего сорта в соотношении 2 г на 100 мл воды. Чай насыпают в предварительно нагретый фарфоровый чайник и заливают водой, доведенной до начальной стадии кипения (вода покрывается мелкими пузырьками, но еще не кипит). Сначала наливают половину нужного количества воды и, укрыв, настаивают 5 мин. Затем воду доливают, и чай готов. Для приготовления хорошего настоя пригодна только мягкая вода

При таком способе приготовления в раствор переходят 100% эфирных масел, 75% кофеина, 50% дубильных веществ. Пить тонизирующий чай нужно сразу после того, как он налит в чашку, ибо эфирные масла, а с ними и часть тонизирующих веществ быстро улетучиваются.

Яблоки и картофель также содержат катехины. Они-то, окисляясь на воздухе, и придают темный цвет яблокам в местах надрезов, яблочному соку, тертому картофелю.

Дубильные вещества играют защитную роль в жизни растений, препятствуя развитию в их тканях патогенных грибов и бактерий.

### 13. Обнаружение катехинов в клетках растений

Этот опыт по сравнению с предыдущими может показаться несколько сложным.

Для опыта нужны 10-процентный раствор нитрата натрия, 20-процентный раствор мочевины, 9—10-процентный раствор уксусной кислоты, 2-процентный раствор гидроксида нат-

44 рия, срезы молодых побегов ольхи, ивы, сосны, острый нож или лезвие

Тонкие срезы молодых веток поместите последовательно в равные объемы растворов:

сначала нитрата натрия, затем мочевины и наконец уксусной кислоты. Выдержите 3—5 мин в каждом. Затем перенесите срезы в раствор гидроксида натрия, объем которого в 2 раза превышает объем уксусной кислоты. При наличии веществ из группы катехинов на срезах появится вишнево-красное окрашивание.

Задание. Исследуйте на содержание катехинов кору ели, осины, сухой околоплодник граната, плюски незрелых грецких орехов.

### 14. Получение чернил из растительного материала

В результате полимеризации катехинов в растениях образуются дубильные вещества, которые в присутствии солей железа (5—10 г на 100 г растительного сырья) дают зеленые, синие или черные соединения. На этом основано получение растительных чернил.

Для опыта нужно 50—100 г растительного сырья, богатого дубильными веществами, например, дубовой коры, корней лапчатки прямостоячей или щавеля курчавого, плодов конского каштана обыкновенного или бузины черной, концентрированный настой чайного листа, сульфат железа (II), воронка, фильтровальная бумага.

Чтобы получить чернила из чая, возьмите 2 г чайного листа, 20-процентный раствор сульфата железа (II), 1—2 г сахара. Залейте

45

чай 50 мл горячей воды и нагревайте 30—40 мин на кипящей водяной бане. Раствор отфильтруйте, к осадку добавьте еще 20—25 мл воды, прокипятите и отфильтруйте. Фильтраты объедините и упарьте до объема 8—10 мл. Получится интенсивно окрашенная коричневая жидкость. К 2 мл теплого фильтрата добавьте 0,5—1 мл 20-процентного раствора сульфата железа (II) до появления черного цвета. 1—2 г сахарного песка сделают чернила густыми. Чернила из чая стойки, не выцветают.

Чернила из зеленых плюсок каштана готовятся так. Возьмите 200 г плюсок и проварите в течение 60—80 мин в 1 л воды. После того как раствор приобретет коричневую окраску, отфильтруйте его и немного уварите. К фильтрату добавьте 2 г сульфата железа (II) и 1 г железоаммиачных квасцов. Почернение раствора происходит постепенно, через 1—2 дня чернила готовы. Чем больше будет добавлено сульфата железа (II), тем темнее будет цвет чернил.

Чтобы получить чернила из дубовой коры, залейте ее таким количеством воды, чтобы она только покрывала кору, и прокипятите около часа. Когда жидкость окрасится в темно-коричневый цвет, раствор отфильтруйте, добавьте порциями порошок сульфата железа (II) и оставьте на 1—2 дня. Вместо сульфата железа (II) можно добавить хлорное железо  $FeCl_3$ . Чернила приобретут темно-синий оттенок.

Для приготовления чернил из плодов черной бузины возьмите 100 г ягод, отожмите из них сок, добавьте 5 г 9-процентной уксусной кислоты, 2 г железоаммиачных квасцов и 5 г сульфата

46

железа (II). Для увеличения вязкости добавьте 1—2 г сахара. Получите чернила черного цвета.

Высокое содержание дубильных веществ (до 30%) свойственно корневищам лапчатки прямостоячей. Найти это растение не трудно. Цветки желтые, но в отличие от других видов лапчаток четырехлепестковые. В народной медицине больше известно под названием «калган» (рис. 6)

Осенью выкопайте корневища, измельчите, залейте водой с избытком и приготовьте насыщенный отвар. Добавляя к теплему отвару небольшими порциями порошок железного купороса, получите превосходные черные чернила.

Рис. 6. Лапчатка прямостоячая.

Возможность получения черного красителя из различных растений, свидетельствует о широком распространении катехинов и дубильных

47 веществ в растительном мире. В каждом растении они представлены сложным комплексом



близких по составу соединений. Поэтому оттенок получаемых чернил будет зависеть от вида растения, даже если вы приготавливаете их по единой методике.

### 15. Почему органы растений после гибели чернеют

Изучите влияние солей железа на окраску различных органов растения.

Для опыта нужен 5—20-процентный раствор сульфата железа (II), опавшие листья различных видов растений, плоды дуба, каштана, химические стаканы или кристаллизатор.

Опавшие листья, плоды поместите в химические стаканы, чашки Петри или кристаллизатор и залейте раствором железного купороса, чтобы он только покрывал материал. Уже через несколько дней станет заметным изменение их окраски. Причем, чем выше концентрация раствора сульфата железа (II) и содержание дубильных веществ, тем быстрее проявляется черный цвет.

Железо содержится, хотя и в небольших количествах ( $10^{-5}$ — $10^{-6}$  % от сырой массы) во всех органах растения. Оно входит в состав ферментов, без которых невозможно осуществление таких физиологических процессов, как дыхание и фотосинтез. Дубильные вещества также широко представлены в растениях. Однако, пока растение здорово, взаимодействия между железом и дубильными веществами в живых клетках не происходит. Если листья, стебли, плоды повреждаются и после

48

отмирания попадают во влажную среду, насыщенную солями железа, это взаимодействие осуществляется легко и приводит к появлению черного цвета. Чем выше содержание дубильных веществ в живых клетках, тем интенсивнее их черная окраска после отмирания.

По этой же причине чернеют в воде мертвые листья рдеста, очень богатые дубильными веществами. Плоды дуба и конского каштана, пролежавшие долгое время в воде или в сыром месте, также становятся черными.

Задание. Положите несколько листьев, плодов, семян во влажную среду в природных условиях, например у кромки берега, на влажной земле. Сравните скорость (в днях), с которой будет происходить изменение цвета различных органов.

### 16. Многие ли растения содержат дубильные вещества

Для опыта нужны 5-процентный раствор хлорида или сульфата железа (II) или 10-процентный раствор железозаммиачных квасцов, спиртовка, пробирка, стеклянная палочка, предметное стекло, лист белой бумаги.

Качественной реакцией на наличие дубильных веществ является почернение тканей при обработке разбавленными растворами солей железа, например, хлорида, сульфата железа, железозаммиачных квасцов.

Опыт можно провести 3 способами.

*1 способ.* 1—2 г растительного материала прокипятите в пробирке с 5—6 мл воды. При этом дубильные вещества переходят в раст-

49

вор. К вытяжке добавьте 1—2 капли хлорида железа.

*// способ.* Предметное стекло положите на лист белой бумаги. На предметное стекло нанесите каплю сока, выжатого из исследуемого растения, и прибавьте каплю соли железа.

*/// способ.* Приготовьте срезы исследуемого органа. На срез нанесите каплю соли железа.

Независимо от способа исследования при наличии в клетках дубильных веществ появляется темное окрашивание. Хлорид железа и железозаммиачные квасцы дают темно-зеленое окрашивание, а сульфат железа (II) — черное.

Степень почернения выразите по трехбалльной системе (слабое, среднее и сильное), которая характеризует количество дубильных веществ в исследуемом органе. Результаты изучения оформите в виде таблицы:

Название растения	Орган растения	Почернение		
		сильное	среднее	слабое

Начинать работу лучше с растениями, содержащими много дубильных веществ (дуб, ива, каштан конский, щавель курчавый), а затем перейти к исследованию других растений.

Задание. Исследуйте, содержатся ли дубильные вещества в органах комнатных растений. Где их больше: в листе, стебле, корне, цветке?

### 17. В какой части стебля накапливаются дубильные вещества

Для этого опыта понадобится микроскоп, 10-процентный водный раствор железозаммиачных квасцов или 5-процентный свежеприготовленный раствор хлорида железа, острый нож, предметное стекло, молодые побеги ольхи клейкой, сосны и других растений.

Острым ножом или лезвием приготовьте тонкие срезы молодых побегов сосны и ольхи. Поместите срезы в раствор хлорида железа или железозаммиачных квасцов на 2—3 мин, промойте водой, поместите на предметное стекло, рассмотрите под микроскопом при малом увеличении. Клетки, содержащие дубильные вещества, окрашиваются в темно-зеленый цвет.

Хорошо заметно, что в стеблях сосны и ольхи больше всего дубильных веществ содержится в клетках коры

и сердцевины.

Задание. Проверьте, есть ли дубильные вещества в стеблях и листьях ели, лиственницы, горца, ревеня.

## ЗЕЛЕНый ЦВЕТ

Зеленые стебли, позеленевшие на свету клубни картофеля, зеленые плоды и, разумеется, зеленые листья своим цветом обязаны пигменту хлорофиллу (от греч. «хлорос» — зеленоватый, «филлон» — лист). В отличие от обширных групп антоцианов, каротиноидов,

51

флавонов и флавонолов, в клетках всех высших растений имеется только 2 формы хлорофилла — зеленый с синеватым оттенком, хлорофилл *a* и зеленый с желтоватым оттенком, хлорофилл *b*. У некоторых водорослей в очень малых количествах обнаружены еще 3 формы хлорофилла.

Других пигментов зеленого цвета у растений нет, только у некоторых видов древесных растений слои старой древесины могут приобретать зеленоватый оттенок в результате взаимодействия дубильных веществ с солями железа.

Для листьев различного возраста, различных видов растений характерно многообразие оттенков зеленого цвета. Объясняется это тем, что в формировании окраски листа принимают участие не только хлорофилл, но и другие содержащиеся в листе пигменты: желтые каротиноиды, красные антоцианы.

Убедиться в том, что в листьях зеленого цвета присутствуют и желтые пигменты можно, проделав следующий опыт.

### 18. Какие пигменты содержатся в зеленом листе

Для опыта нужны свежие листья злаков или комнатных растений, 95-процентный этиловый спирт, бензин, ступка фарфоровая, пробирка, воронка, ножницы, фильтровальная бумага.

Прежде всего получите вытяжку пигментов. Лучше, если вытяжка будет концентрированной, темно-зеленой. Можно использовать листья любых травянистых, но удобнее всего

52

комнатных теневыносливых растений. Они мягче, легче растираются, содержат, как все теневыносливые растения, больше хлорофилла. Хорошим объектом являются листья каллы (белокрыльника), аспидистры, пеларгонии. Менее пригодны для получения хлорофилльных вытяжек листья бегонии, содержащие в вакуолях много органических кислот, которые при растирании листьев могут частично разрушить хлорофилл.

К измельченным листьям (для опыта достаточно 1—2 листа пеларгонии) добавьте 5—10 мл этилового спирта, на кончике ножа  $\text{CaCO}_3$  (мел) для нейтрализации кислот клеточного сока и разотрите в фарфоровой ступке до однородной зеленой массы. Прилейте еще этилового спирта и осторожно продолжайте растирание, пока спирт не окрасится в интенсивно-зеленый цвет. Полученную спиртовую вытяжку отфильтруйте в чистую сухую пробирку или колбу.

Убедиться в том, что спиртовая вытяжка пигментов листа, помимо зеленых, содержит еще и желтые пигменты, можно 2 способами.

*/ способ.* На фильтровальную бумагу нанесите стеклянной палочкой каплю полученной спиртовой вытяжки пигментов листа. Через 3—5 мин на бумаге образуются цветные концентрические круги: в центре зеленый (хлорофилл), снаружи — желтый (каротиноиды).

*// способ.* Полоску фильтровальной бумаги шириной примерно в 1 см и длиной 20 см погрузите одним концом в пробирку с вытяжкой. Через несколько минут на бумаге появится зеленая полоса хлорофилла, а выше нее — желтые полосы каротиноидов (каротина и ксантофилла).

53

Разделение пигментов обусловлено их различной адсорбцией (поглощением в поверхностном слое) на фильтровальной бумаге и неодинаковой растворимостью в растворителе, в данном случае — этиловом спирте. Каротиноиды хуже, по сравнению с хлорофиллом, адсорбируются на бумаге, больше растворимы в спирте, поэтому передвигаются по фильтровальной бумаге дальше хлорофилла.

Таким образом, в создании цвета листа участвуют 2 группы пигментов — зеленые и желтые

Количество хлорофилла в сформировавшихся листьях примерно в 3 раза выше, чем каротиноидов, поэтому желтый цвет каротиноидов маскируется зеленым цветом хлорофилла

Количественное соотношение хлорофилла и каротиноидов непостоянно, зависит от возраста листа, физиологического состояния растений. Если содержание хлорофилла уменьшается, листья приобретают желто-зеленый, желтый цвет.

Кроме описанных выше, существуют другие методы разделения пигментов.

### 19. Разделение пигментов по методу Крауса

Убедиться в том, что в спиртовой вытяжке наряду с хлорофиллом присутствуют желтые пигменты, можно, используя их различную растворимость в спирте и бензине.

Из пигментов группы каротиноидов в

54

хлоропластах находятся преимущественно желто-оранжевый каротин и золотисто-желтый ксантофилл. Все пигменты можно выделить из листа спиртом, но растворимость хлорофилла и каротина в бензине выше, чем в

спирте. Ксантофилл в бензине не растворяется.

Для опыта нужны спиртовая вытяжка пигментов, бензин, пробирки, пипетка, цветные карандаши.

В пробирку налейте 2—3 мл вытяжки, столько же бензина и 1—2 капли воды. Закройте большим пальцем пробирку, энергично взболтайте в течение 2—3 мин и дайте отстояться.

Жидкость в пробирке разделится на 2 слоя; бензин, как более легкий, будет наверху, спирт — внизу. Оба слоя приобретут различную окраску: бензиновый — зеленую, спиртовой — желтую

Желтый цвет спиртовому раствору придает пигмент ксантофилл.

В бензиновом слое находятся 2 пигмента: хлорофилл и каротин, который не заметен из-за интенсивно-зеленого цвета хлорофилла

Зарисуйте результаты опыта, отметив на рисунке расположение слоев растворителей и пигментов, которые в них растворены.

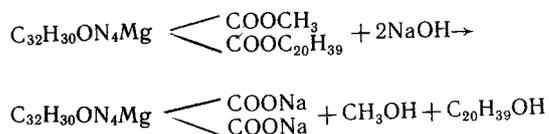
Убедиться в том, что в бензиновом слое действительно находится пигмент каротин, можно, проделав реакцию взаимодействия хлорофилла со щелочью.

## 20. Действие щелочи на хлорофилл

По химическому строению хлорофилл представляет собой сложный эфир дикарбоновой кислоты хлорофиллина и двух спиртов —

55

метилового и фитола. При взаимодействии сложных эфиров со щелочами (реакция омыления) происходит разрыв сложноэфирных связей с образованием соли данной кислоты и спиртов. В результате реакции омыления хлорофилла образуется соль хлорофиллина и 2 спирта: метиловый и фитол.



Для проведения этой реакции нужны спиртовая вытяжка пигментов листа, бензин, 20-процентный раствор гидроксида натрия или гидроксида калия, пробирка

Налейте в пробирку 2—3 мл спиртовой вытяжки пигментов, добавьте 4—5 капель 20-процентного раствора щелочи, взболтайте смесь. Происходит реакция взаимодействия хлорофилла со щелочью. Цвет раствора не меняется, так как соли хлорофиллина имеют зеленую окраску.

Добавьте бензин, чтобы общий объем жидкости в пробирке увеличился в 2 раза, взболтайте и дайте отстояться.

Нижний спиртовой слой окрасится в зеленый цвет благодаря присутствию в нем натриевой соли хлорофиллина, которая, в отличие от хлорофилла, в бензине не растворима. Здесь же, в спиртовом слое находится пигмент ксантофилл, но его окраска маскируется интенсивно зеленым цветом натриевой соли хлорофиллина.

56

Верхний слой бензина будет окрашен в желтый цвет пигментом каротином.

Опыты по разделению пигментов спиртовой вытяжки листа показывают, что она содержит 2 желтых пигмента: каротин и ксантофилл. Количественное соотношение их в растениях примерно равное.

Итак, цвет листа зависит от сочетания и количественного соотношения желтых пигментов каротиноидов (каротин, ксантофилл) и зеленого хлорофилла, изменяясь от желто-зеленого у молодых до интенсивно-зеленого у взрослых и ярко-желтого цвета у опадающих осенних листьев. Но можно ли с уверенностью говорить, что хлорофилл — зеленый?

## 21. Какого цвета хлорофилл

Цвет хлорофилла, как и любого окрашенного вещества, обусловлен сочетанием тех лучей, которые пигмент не поглощает. В спектре поглощения света растворами хлорофилла максимумы поглощения расположены в сине-фиолетовой (430 нм у хлорофилла *a* и 450 нм у хлорофилла *b*) и красной частях (660 нм у хлорофилла *a* и 650 нм у хлорофилла *b*). Эти лучи поглощаются хлорофиллом полностью. Поглощение голубых, желтых, оранжевых лучей определяется концентрацией хлорофилла в растворе: при низких концентрациях они поглощаются частично, при высоких могут быть поглощены полностью. Минимум поглощения лежит в зоне зеленых лучей. Совершенно не поглощается хлорофиллом только небольшая часть красных лучей, которые в спектре

57

расположены на границе с инфракрасными лучами. Это так называемые дальние красные лучи

Исследуйте зависимость цвета вытяжки от концентрации молекул хлорофилла в ней.

Для опыта нужна настольная лампа без абажура или фонарь, высокая пробирка, темно-зеленая спиртовая вытяжка пигментов, черная бумага.

Пробирку, завернутую в черную бумагу, чтобы свет сбоку не попадал на раствор, поместите над лампой. Свет от лампы должен проходить через раствор хлорофилла снизу вверх. Если смотреть в пробирку сверху, постепенно добавляя в нее (не над лампой!) маленькими порциями раствор хлорофилла, можно наблюдать удивительную картину изменения окраски раствора от ярко-зеленой до вишнево-красной

Объясняется это тем, что по мере увеличения высоты столба жидкости в пробирке изменяются условия

освещения молекул хлорофилла, а следовательно, и поглощение ими света

Пока вытяжки в пробирке немного, она имеет в проходящем свете характерный для хлорофилла изумрудно-зеленый цвет, обусловленный сочетанием непоглощенных зеленых, части голубых, желтых и дальних красных лучей.

По мере увеличения количества хлорофилла в пробирке молекулы хлорофилла постепенно поглощают сначала голубые и желтые, а затем и зеленые лучи. Остаются непоглощенными только дальние красные лучи. Поэтому в очень большом слое раствор хлорофилла в проходящем свете имеет не зеленый, а вишне-

во-красный цвет (рис 7). Так иногда в густом лесу можно видеть красное свечение, исходящее из-под полога леса.

Этот опыт показывает, что зеленый цвет хлорофилла — сочетание различных, проходящих через молекулу пигмента участков солнечного спектра. Измененный солнечный свет, в котором мало лучей, хорошо поглощаемых хлорофиллом, — одна из причин того, почему светолюбивые растения не могут жить под пологом других растений.

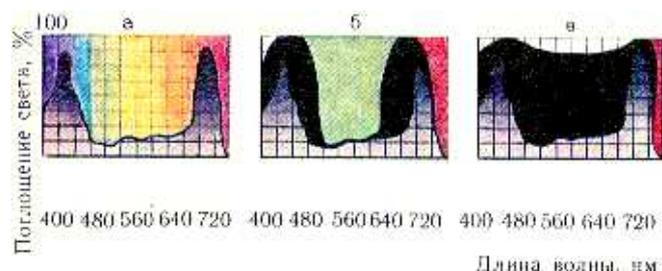


Рис 7. Поглощение света хлорофиллом в зависимости от концентрации пигмента: а—в разбавленном растворе (поглощаются средняя часть красного и синие фиолетовая области спектра) цвет раствора желто-зеленый; б—в растворе повышенной концентрации (поглощаются голубые, желтые, оранжевые лучи) цвет раствора изумрудно-зеленый; в— в сильно концентрированном растворе (поглощаются все видимые лучи солнечного спектра за исключением дальних красных лучей); цвет раствора вишнево-красный.

Задание Проверьте, содержат ли хлорофилл красные листья иррезинии, бегонии королевской и др. Для этого часть листа поместите в пробирку, залейте водой и прокипятите до полного исчезновения красной окраски. Приготовьте спиртовую вытяжку пигментов. Сделайте выводы.

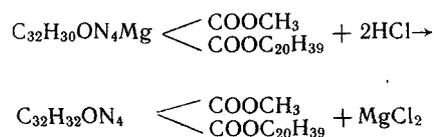
59

## 22. Взаимодействие хлорофилла с кислотой

Характерное для хлорофилла поглощение света определяется химической структурой его молекулы. Система сопряженных двойных связей играет большую роль в поглощении синие-фиолетовых лучей. Присутствие магния в ядре молекулы обуславливает поглощение в красной области. Нарушение структуры, например удаление из молекулы магния, приводит к изменению цвета хлорофилла. Удалить из хлорофилла магний можно, проделав реакцию взаимодействия хлорофилла с кислотой.

Для опыта нужна спиртовая вытяжка хлорофилла, 10-процентный раствор соляной кислоты, уксуснокислый цинк, спиртовка, пипетка, 3 пробирки.

Приготовьте спиртовую вытяжку хлорофилла и разлейте в пробирки по 2—3 мл. Одна из пробирок контрольная. В две другие добавьте по 2—3 капли соляной кислоты. В результате взаимодействия хлорофилла с кислотой магний замещается двумя атомами водорода и образуется вещество бурого цвета — феофитин.



Одну из пробирок с феофитином оставьте для контроля, а в другую внесите на кончике ножа уксуснокислый цинк и нагрейте на водяной бане до кипения. Бурый цвет раствора

60

меняется на зеленый: вместо двух атомов водорода в молекулу входит атом цинка и занимает то место, где раньше был магний.

Вместо уксуснокислого цинка можно взять соли меди, ртути. Во всех случаях металл входит в ядро молекулы феофитина, восстанавливается металлоорганическая связь и зеленая окраска. Следовательно, цвет хлорофилла зависит от наличия металлоорганической связи в его молекуле.

Производные хлорофилла с цинком, медью или ртутью в природных условиях пока не обнаружены, а феофитин образуется в листьях, поврежденных заморозками, промышленными кислыми газами, в процессе старения.

## 23. Письмо на зеленом листе

Свойство хлорофилла изменять цвет под действием кислот можно использовать для написания текста на зеленом листе. Выше описывалась методика нанесения рисунка на лепестки.

Для опыта нужны «чернила» — 10-процентная соляная кислота, листья фикуса, палочка.

Заостренный конец палочки смочите соляной кислотой и нанесите на лист нужный текст. На зеленом фоне листа постепенно появляется надпись бурого цвета. Скорость изменения цвета в месте нанесения кислоты

зависит от плотности покровов листа. Появление бурой окраски обусловлено проникновением кислоты внутрь клеток и образованием в них феофитина.

61

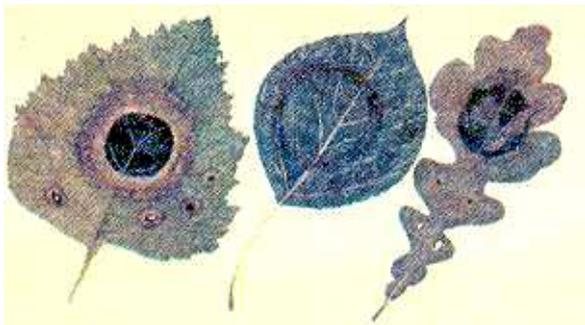
Газообразные выделения промышленных предприятий часто содержат сернистый ангидрид  $\text{SO}_2$ , который, проникая через устьица в листья, растворяется в цитоплазме клеток и образует сернистую кислоту  $\text{H}_2\text{SO}_3$ . Накопление ее в больших количествах в цитоплазме вызывает разнообразные нарушения обмена веществ в клетках, в том числе и разрушение хлорофилла. Внешне такие повреждения могут выражаться в появлении на листьях бурых пятен.

Задание. Сравните время «проявления» письма на листьях различных растений. С чем это связано?

#### 24. Образование колец отмирания на листьях

Образование феофитина в листьях многих растений может происходить также и при нагревании листа выше  $70\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для опыта нужны зеленые листья различных растений, спиртовка, препаровальная игла, стеклянная палочка.



Пятикопеечную монету, закрепив так, чтобы не обжечься, нагрейте в пламени спиртовки. Горячую монету опустите на лист. Через несколько минут вокруг монеты появится бурое пятно неправильной формы, при этом часть листа непосредственно под монетой может остаться зеленой.

Рис. 8. Кольца отмирания.

Видоизмените опыт: прикоснитесь к листу концом сильно нагретой стеклянной палочки, либо проколите его раскаленной препаровальной иглой. Во всех случаях возникают своеобразные изменения окраски листа: зеленые круги с неровными бурыми кольцами. Наиболее наглядные результаты дают растения с кислой

62

реакцией клеточного сока.

Появление бурых колец обусловлено поступлением кислот клеточного сока из вакуолей в цитоплазму, а затем в хлоропласты. Под действием кислот происходит образование феофитина и появление бурого окрашивания. Поскольку химический состав листьев различных растений имеет свои особенности, можно получить различные картины колец отмирания (рис. 8).

Желтые, коричневые пятна отмирания появляются на листьях и в природных условиях под влиянием сильного перегрева, засухи.

Задание. Получите кольца отмирания на листьях нескольких растений и сделайте гербарий.

63

#### 25. Получение отпечатков, фотографий с помощью раствора хлорофилла (по К. А. Тимирязеву)

Способность хлорофилла к поглощению света лежит в основе процесса фотосинтеза. Однако при высокой интенсивности освещения, особенно под влиянием ультрафиолетовых лучей, может происходить необратимое разрушение хлорофилла, которое приводит к обесцвечиванию, выцветанию его. Особенно быстро под действием солнечного света обесцвечивается выделенный из листьев хлорофилл. На этом основан опыт К. А. Тимирязева, который был приведен в его знаменитой Крунианской лекции, прочитанной в 1903 г. в Лондонском Королевском обществе: «Вот отпечаток листа папоротника, полученный при помощи хлорофилла. Лист был наложен на пластинку из коллодиума, окрашенного хлорофиллом. После непродолжительной экспозиции на солнце все поле выцвело, а части, защищенные листом, сохранили свою оригинальную окраску. Изображение фиксировалось непродолжительным погружением в баню из медного купороса» (рис. 9).

Повторите опыт К. А. Тимирязева. Для его проведения необходима спиртовая вытяжка хлорофилла, коллодий или фильтровальная бумага, 10-процентный раствор медного купороса  $\text{CuSO}_4$ , лист растения.

Приготовьте спиртовую вытяжку пигментов. Если нет коллодия, можно использовать фильтровальную бумагу. Пропитайте ее раствором хлорофилла и прикрепите лист растения, отпечаток которого вы хотите получить. Перенесите в освещенное солнцем место.

64



Рис. 9. Отпечаток листа папоротника.



Через  $1\text{--}2$  ч под действием света происходит обесцвечивание хлорофилла на участках фильтровальной бумаги, незащищенных листом растения. Для закрепления изображения опустите фильтровальную бумагу с отпечатком листа в горячий ( $50\text{--}60\text{ }^\circ\text{C}$ ) 10-процентный раствор  $\text{CuSO}_4$  на несколько минут.

Обесцвечивание хлорофилла при избытке света происходит в результате взаимодействия возбужденных светом молекул хлорофилла с кислородом и последующего необратимого

окисления молекул пигмента. Необратимое фотоокисление хлорофилла происходит не только в условиях чрезмерно высокой интенсивности освещения, но и при увеличении доли ультрафиолетовой радиации в потоке солнечного света. В природе такие условия бывают довольно часто, например, растения

65

Рис. 10. Колеус.

гор обитают в мощном потоке ультрафиолетового излучения. У этих растений в процессе эволюции возникли защитные механизмы в виде сопутствующих хлорофиллу пигментов (антоцианы, каротиноиды), которые поглощают избыточную солнечную радиацию и превращают ее в тепло. Не случайно высокогорные растения содержат в листьях больше антоцианов, чем растения долин. Установить связь между количеством антоцианов в листе и условиями освещения достаточно легко. Для этого необходимы 2 растения колеуса гибридного, можно взять 2 укорененных черенка (рис. 10). Одно растение поставьте на яркий солнечный свет, другое — в условия рассеянного освещения. На свету окраска листьев становится значительно

66

ярче, краснее, а при рассеянном освещении листья зеленеют. То же происходит и с фиолетовыми листьями традесканции зебровидной.

## 26. Фотография жизнью (по К. А. Тимирязеву)

Название этого опыта, как и описание, даны К. А. Тимирязевым в его знаменитой книге «Солнце, жизнь и хлорофилл». Цель опыта — показать, что для образования хлорофилла в листе обязательно нужен свет.

Достичь цели просто: выращивая растения, клубни картофеля на свету и в темноте. Через 2—6 дней после начала прорастания сравните цвет проростков. Летом это сделать еще проще: достаточно рассмотреть траву под большим камнем, доской, бревном. Она будет совершенно обесцвечена.

Климент Аркадьевич Тимирязев выбрал самый эффектный вариант. Вот описание опыта: «Всякий знает, что в темном погребе растение получается не зеленое, а бледно-желтое, этиолированное, как выражаются ботаники, таков, например, наш зимний салат-цикорий и т. д. Возьмем плоский деревянный ящик, на дно его положим кусок войлока и, посеяв по нему обыкновенный кресс-салат, оставим все в совершенной темноте. Кресс скоро вытянется и представит густую щетку — почти сплошную поверхность из своих первых, совершенно желтых листьев. Теперь вырежем в листе картона сквозными буквами какое-нибудь слово (Тимирязев выбрал слово «свет») и, прибив гвоздиками этот картон к краям ящика, вынесем все на свет (но не

67

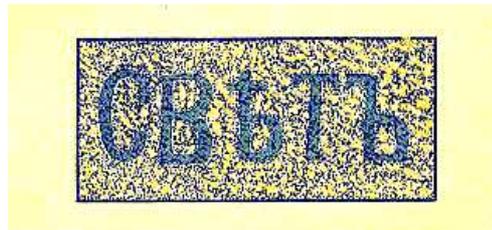


Рис. 11. Схема опыта К. А. Тимирязева.

на солнце). Через несколько часов, сняв картон, увидим на желтом фоне нашего газона из кресс-салата надпись, выступающую зелеными буквами» (рис. 11).

Четкий стиль изложения, умение простым, понятным языком объяснить научные понятия — характерная особенность работ К. А. Тимирязева.

Кресс-салат был выбран ученым за быстроту прорастания, мелкость семядольных листочков, что важно для создания однородного фона. Вместо кресс-салата можно использовать семена быстро и легко прорастающих растений: салата, горчицы, ржи, пшеницы.

Войлок был использован К. А. Тимирязевым потому, что хорошо впитывает воду, семена на нем лежат ровно, дружно прорастают. Его можно заменить несколькими слоями фильтровальной бумаги либо поролоновым матрасиком.

Результаты опыта свидетельствуют, что без

68

света у покрытосеменных растений хлорофилл не образуется. В то же время хвойные, папоротники и многие зеленые водоросли способны синтезировать хлорофилл в полной темноте. Биосинтез молекулы хлорофилла включает 15 последовательных реакций, одна из которых — присоединение 2 атомов водорода по месту разрыва двойной связи в четвертом пиррольном кольце — происходит на завершающей стадии биосинтеза хлорофилла. Поэтому для позеленения этиолированных проростков достаточно нескольких часов освещения.

Задание. Повторите опыт с проростками салата или горчицы.

## 27. Фотографии на листьях

Световая энергия, поглощенная пигментами хлоропластов, расходуется на образование из углекислого газа и воды органического вещества. Используя четкие фотографические негативы, убедимся в том, что количество образующегося в листе крахмала пропорционально количеству света, падающего на лист.

Для опыта нужны растения, накапливающие в листьях крахмал — примула, гортензия, фасоль обыкновенная, настурция большая, четкий фотографический негатив, черная бумага, ножницы, пинцет, водяная баня, химический стакан, 95-процентный этиловый спирт, раствор йода в йодиде калия (раствор Люголя), чашки Петри, лампа накаливания мощностью 100—200 Вт (или лампы дневного света).

Определить, подходит ли растение для опыта, можно пробой на крахмал. Для этого кусочек листа (взять во второй половине дня)

69

прокипятите в воде 2—3 мин, выдержите в горячем спирте до полного удаления хлорофилла из листа, промойте горячей водой и погрузите в раствор йода в йодиде калия, который готовят следующим образом: 2 г йодида калия растворяют в 10 мл воды, вносят 1 г кристаллического йода, тщательно размешивают и доводят до 300 мл водой. Хранят в темном месте. Можно приобрести в аптеке готовый раствор Люголя, который включает те же компоненты, но в более высокой концентрации. Если под действием йода кусочек листа пригел, растение для опыта пригодно.

Важный этап опыта — предварительное обескрахмаливание листа. Обычно трех суток выдерживания растения в темноте достаточно для того, чтобы весь крахмал, находящийся в листьях, превратился в глюкозу и перешел из листьев в другие органы. Скорость передвижения органических веществ по растению достаточно велика—до 1 м/ч. Проще поместить в темное место все растение, но длительное пребывание без света для растения неблагоприятно. Поэтому лучше склеить темные внутри и светлые снаружи (для отражения света) пакетики и изолировать отдельные листья (лучше молодые). Во многих случаях обескрахмаливание идет быстрее, чем за трое суток. В связи с этим можно закрыть пакетиками на 3 листа больше, чем планируется сделать фотографий. Через 12, 24 ч затемнения можно сделать пробу на крахмал и приступить к опыту.

На верхнюю сторону листа наложите фотографический негатив эмульсией вверх, а нижнюю сторону тщательно закройте черной бумагой (бумагу и негатив можно по краям сшить).

70

В осенне-зимний период естественного освещения для интенсивного фотосинтеза явно недостаточно. Поэтому для получения хорошего отпечатка на листе, его надо дополнительно освещать. Лампа не должна располагаться слишком близко к листу (температура вблизи листа 25—30 °С). Негатив должен плотно прилегать к поверхности листа и равномерно освещаться лампой. 3—6 ч освещения обычно достаточно для накопления крахмала в экспериментальном листе.

Методика «проявления» фотографии обычна: пакет снимите, лист опустите на 2—3 мин в кипяток, затем выдержите в горячем спирте до полного удаления хлорофилла (стаканчик со спиртом нагревать только на водяной бане!). Промойте горячей водой, осторожно положите в чашку Петри или тарелку и залейте раствором йода. После появления изображения раствор слейте, промойте лист холодной водой и просушите фильтровальной бумагой.

На свету даже у высушенного отпечатка окраска постепенно светлеет, выгорает, но ее можно восстановить, вновь обработав лист раствором йода.

## 28. Окрашивание цветков искусственными красителями

Применив ряд искусственных красителей, можно придать лепесткам цветков необычную для данного вида расцветку.

Для опыта нужны белые или окрашенные в светлые тона цветки различных видов рас-

71

тений (например, нарциссы, сирень обыкновенная, жасмин садовый (чубушник), виола трехцветная), красители: эозин, метиленовый синий, малахитовый зеленый, метиловый фиолетовый, либо содержащие данные красители красные, зеленые, синие, фиолетовые, черные чернила «Радуга-2», пробирки, штатив для пробирок.

Приготовленные для окрашивания цветков растения погрузите в пробирки с разбавленными растворами красителя. Начинать работу лучше с красных чернил, которые содержат краситель эозин. Эозин способен быстро (через 15—30 мин) проникать в лепестки, окрашивая их в розовые и красные тона. Первоначально краситель накапливается в сосудах, благодаря чему становится заметной густая сеть жилок, пронизывающих лепестки. Постепенно, по мере того как краситель из сосудов начинает проникать в клетки, лепестки окрашиваются полностью (рис. 12, а).

Используя чернила других цветов, можно белые лепестки превратить в синие, даже зеленые, что для мира растений — редкость.

Если несколько видоизменить опыт, можно получить цветки или соцветия причудливой мозаичной окраски. Для этого расщепите вдоль стебель соцветия или цветоножку. Одну половину стебля погрузите в пробирку с раствором красителя, например эозина, а вто-

72

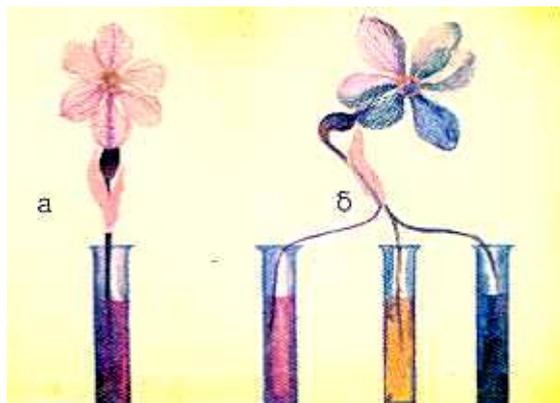


Рис. 12. Цветки-химеры.

рую — в пробирку с водой. В этом случае в красный цвет окрасится только часть соцветия или цветка. Мозаичное окрашивание хорошо удается на соцветиях белой сирени, жасмина садового, рябины обыкновенной (рис. 12, б).

На окрашенных лепестках видно, что входящие в них проводящие пучки (жилки) различным образом ветвятся, между ними образуются перемычки. Благодаря густой сети проводящих пучков любая клетка лепестка оказывается близко от источника воды. По мере накопления красителя можно рассмотреть окончания отдельных тонких жилок.

Вода из сосудов легко поступает в близлежащие клетки, но проникновение в них растворенных в воде

этому, помещенные в растворы различных красителей, цветки одного и того же вида растений будут окрашиваться с различной скоростью. Быстро поступает в клетки красный эозин, значительно медленнее — метиловый фиолетовый. В процессе старения клеток проницаемость мембран возрастает, поэтому скорость окрашивания цветков зависит еще и от их возраста. Например, в одном из опытов цветки маргаритки многолетней, находившиеся в растворе зеленых чернил (разбавление 1:2), окрасились в зеленый цвет только на седьмой день.

Передвижение воды вверх по сосудам растений происходит благодаря процессу испарения воды с поверхности листьев, лепестков. Поэтому скорость движения воды может колебаться от 0,1 до 100 м/ч в зависимости от вида растения и условий внешней среды. Используя эозин, можно определить скорость передвижения воды по стеблю или цветоножке. Для этого в раствор красителя нужно опустить только нижнюю часть стебля, измерить расстояние от уровня красителя до цветка и определить время, необходимое для появления красителя в лепестках.

Задание. Определите скорость передвижения различных красителей по стеблю нивяника обыкновенного (составьте букет из розовых, голубых, зеленоватых ромашек), сравните скорость движения воды по сосудам при различных погодных условиях.

## РОСТ РАСТЕНИЙ

Ростовые явления у растений проявляются прежде всего в образовании новых органов, тканей, клеток и их компонентов. В отличие от животных, рост растений продолжается в течение всей их жизни. Неограниченность роста обусловлена тем, что, в отличие от других организмов, деление клеток у растений приурочено к определенным зонам, называемым меристемами (от греч. «меристес» — делитель). В меристемах происходит не только деление клеток, но и образование зачатков органов. За счет деления клеток верхушечных меристем происходит рост стебля и корня в длину, образование листьев, цветков. Боковые меристемы обеспечивают рост осевых органов в толщину. У злаков рост стебля обусловлен делением клеток вставочных меристем, расположенных в основании междоузлий.

Характерной чертой роста растений является его неравномерность, периодичность. Рост клеток растений включает несколько следующих друг за другом процессов: фазы деления, растяжения и дифференциации.

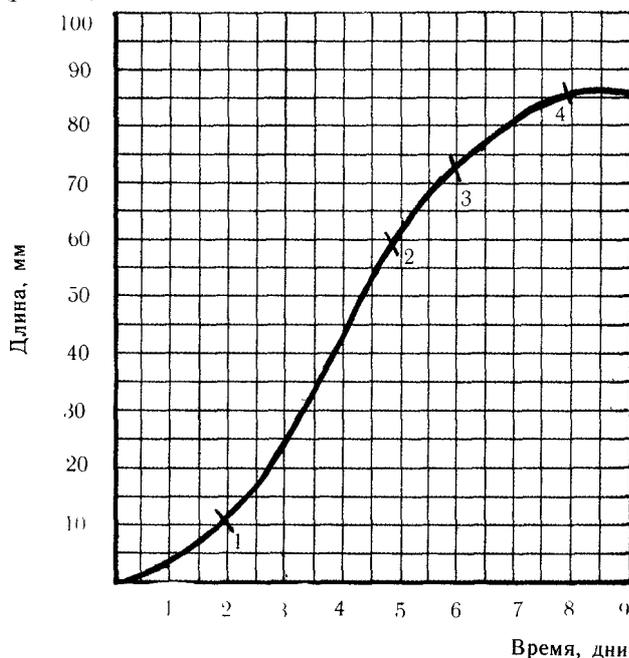
Фаза деления (эмбриональная фаза) проходит в зоне меристем. Образующиеся в ре-

зультате деления дочерние клетки первоначально имеют размеры вдвое меньше материнской, но затем быстро растут за счет увеличения объема цитоплазмы.

Часть клеток, образовавшихся в процессе деления, остается меристематическими, а остальные переходят в фазу растяжения. Характерной особенностью фазы растяжения является быстрое увеличение объема клеток, например, за 1 ч клетка может увеличиться в размерах в 2 раза. Увеличение объема клеток связано с поглощением больших количеств воды и формированием вакуолей. К концу фазы растяжения размеры клетки увеличиваются по сравнению с эмбриональной фазой в десятки раз.

Постепенно растяжение замедляется, и клетки переходят к третьему этапу жизнедеятельности — дифференциации, в ходе которого происходит их узкая специализация. Из внешне однородных клеток меристем формируются покровные, проводящие, паренхимные, эмбриональные, механические клетки, совокупность которых образует соответствующие ткани растений.

Таким образом, изменение размеров клеток идет неравномерно: сначала (эмбриональная фаза) медленно, размеры клеток после деления увеличиваются только в 2 раза, затем очень быстро (фаза растяжения) и вновь замедление вплоть до полной остановки роста (фаза дифференциации). Графически рост клетки описывается в виде S-образной кривой, иначе называемой большой кривой роста (рис. 13).



Рост клеток происходит — под контролем гормонов и регуляторов роста негормональной

Рис. 13. Большая кривая роста (фазы): 1 — медленного роста, 2 — быстрого роста, 3 — замедления (переход клеток в фазу дифференцировки), 4 — стационарная, свидетельствующая о прекращении роста.

природы. К гормонам растений относят вещества, которые синтезируются и функционируют в растениях в микроколичествах, при этом место синтеза гормонов и место их регуляторного воздействия пространственно разобщены. Например, гормон цитокинин, который синтезируется в клетках корня,

перемещается по сосудам в клетки стебля, листьев, цветков. У растений нет определенных органов или желез, аналогичных железам внутренней секреции животных, синтезирующим и продуцирующим гормоны. Гормоны растений образуются преимущественно в местах активного деления клеток: в верхушках корней и стеблей, в молодых листьях, почках, растущих плодах.

В зависимости от влияния, оказываемого гормонами на рост растений, выделяют гормоны — стимуляторы роста (ауксин, цитокинины, гиббереллины) и гормоны — ингибиторы роста (абсцизовая кислота, этилен). В регуляции участвуют и вещества негормональной природы, например входящая в группу фенольных ингибиторов салициловая кислота.

Ауксин синтезируется в верхушечных меристемах побегов и корней, молодых листьях, зародышах семян. В эмбриональной фазе ауксин стимулирует деление клеток, а затем их растяжение, регулирует передвижение питательных веществ в растении. Увеличение количества ауксина в растущих клетках увеличивает приток к ним питательных веществ, что приводит к усилению роста клеток.

Гиббереллины синтезируются в меристематических тканях тех же органов, что и ауксин. Совместно с ауксином гиббереллины регулируют процесс растяжения клеток, активизируют деление и дифференцировку. Им принадлежит главная роль в регуляции прорастания семян.

Основное место синтеза цитокининов — верхушки корней, откуда они перемещаются по растению с током воды. Цитокинины непосредственно регулируют процесс деления

78

клеток. Активизируя синтез белков и нуклеиновых кислот, цитокинины задерживают старение клеток.

Ингибиторы замедляют рост растений, подавляя процессы деления и растяжения клеток.

Этилен подавляет растяжение клеток, блокирует передвижение ауксина. Накопление этилена в значительных количествах ускоряет старение клеток листьев, плодов, цветков. Он играет важную роль в регуляции созревания плодов, опадении листьев.

Действие абсцизовой кислоты так же, как и этилена, проявляется в торможении роста. Она вызывает покой почек, опадение листьев.

Координация ростовых процессов основана на сбалансированном совместном действии стимуляторов и ингибиторов роста растений.

## 29. Периодичность роста древесных побегов

Общим законом роста растений является его неравномерность, или периодичность, обусловленная внутренними процессами.

Изучите проявление этого закона на примере роста побегов.

Для опыта нужны побеги деревьев, например тополя, линейка. Опыт лучше проводить осенью или зимой, после полной остановки роста побегов.

Измерьте длину междоузлий, а также длину побега от его основания до каждого междоузлия.

При измерении стебля важно не упустить сближенные узлы с неразвивающимися почками у основания и на верхушке побега.

Результаты измерений запишите в таблицу:

79

Номер междоузлия от основания побега	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 ...
Длина междоузлия, см										
Длина побега, см										

В большинстве случаев имеет место четко выраженная периодичность роста. Она проявляется в том, что междоузлия, образующиеся по мере нарастания побега, имеют неодинаковую длину: увеличиваясь от основания к середине, длина достигает максимума, а к верхушке побега опять уменьшается.

На основании полученных данных постройте кривые роста междоузлий и побега. Для этого по оси ординат отложите длину междоузлий и длину побега, по оси абсцисс — номера междоузлий, считая от основания побега. Построенные кривые показывают, что рост побега происходит неравномерно. Вначале наблюдается медленный рост, затем он увеличивается и наконец снова замедляется и прекращается.

Кривая роста междоузлий, характеризующая периодичность их роста, будет иметь одновершинную, почти симметричную форму.

Вы изучили особенности роста только одного органа растения — побега. Но они являются общими для ростовых процессов как всего растения в целом, так и других органов и тканей. Ведь в основе роста лежит рост составляющих их клеток. Общий характер кривых роста был установлен немецким ученым Ю. Саксом.

80

Задание. Сравните форму кривой роста побегов тополя с большой кривой роста. Сделайте выводы.

Замедление и полное прекращение роста растений в природных условиях часто совпадает с наступлением неблагоприятных внешних условий, но обусловлено прежде всего внутренними факторами: изменением уровня нуклеиновых кислот в точках роста, соотношением гормонов и ингибиторов роста. В тропиках, где годовые колебания температуры незначительны, практически все растения имеют периодическую приостановку роста.

Очевидно, рост растений можно регулировать искусственно.

### 30. Выращивание растения с 2 стеблями из 1 семени

Обычно прорастающие семена двудольных растений образуют 1 побег, развивающийся из зародышевой почки.

Для получения растений с 2 стеблями нужны семена гороха посевного, 2 горшка с почвой, ножницы.

В горшки посеете по 5—6 семян гороха, близко к поверхности.

Когда семена дадут всходы, в одном горшке срежьте стебельки у самой поверхности почвы таким образом, чтобы удалить ту часть стебля, на которой находятся прилистники. От стебля останется только короткий пенек.

Через несколько дней у опытных растений вместо удаленного главного побега вырастают 2 боковых, у контрольных растений продолжает расти 1 главный побег. Выкопайте несколько опытных растений и убедитесь, что боковые побеги выросли из пазух семядолей. Выкопав и раздвинув семядоли нескольких контрольных растений, убедитесь, что в их пазухах также имеются почки, но они находятся в состоянии покоя.

После появления первого листа обрежьте у части опытных растений верхушку стебля, оставив прилистники. Вскоре из почек, находящихся в пазухах прилистников, начнут развиваться боковые побеги. Образуются двустебельные растения.

У опытных растений еще раз обрежьте верхушки обоих стеблей. Таким образом можно получить уже растения с 4 стеблями.

Опыты показывают, что у основания (в пазухах) всех листьев имеются покоящиеся почки, которые трогаются в рост после удаления части побега с верхушечной почкой. Торможение роста боковых почек ростом верхушечной — проявление так называемых ростовых корреляций. Ростовые корреляции могут быть как отрицательными, так и положительными. При положительной корреляции рост одного органа ускоряется другим, такие взаимоотношения характерны, например, для корневой системы и надземной части растений. Торможение роста боковых почек верхушечной — пример отрицательной корреляции. Она имеет гормональную природу и обусловлена количественным распределением гормона ауксина. Основным источником ауксина в побеге — активно делящиеся клетки верхушечной почки, откуда он перемещается вниз по побегу и накапливается в боковых почках в избыточном, тормозящем рост количестве. При удалении вер-

82

хушки побега концентрация ауксина в боковых почках снижается до оптимальной и почки трогаются в рост.

Это явление широко используется в растениеводстве при формировании крон деревьев и кустарников. В парках, на площадях часто можно видеть живые изгороди, которым искусной стрижкой придана причудливая форма. При стрижке удаляются верхушечные почки всех побегов, в результате происходит пробуждение большого количества спящих почек, развитие боковых побегов, которые и придают подстригаемому кусту форму и плотность.

Задание. Попробуйте вырастить капусту с 2 кочанами.

### 31. Причудливые стебли

Для того чтобы получить растения с причудливой, искривленной формой стебля, нужно создать такие условия, при которых рост клеток одной стороны стебля будет происходить быстрее, чем другой. Добиться этого можно 2 способами: либо искусственно увеличить в клетках одной стороны содержание ауксина, который регулирует интенсивность растяжения клеток, либо несколько раз изменить положение растения в пространстве, что также приводит к неравномерному распределению ауксина в клетках верхней и нижней сторон стебля.

Опробуйте оба способа.

Для опыта нужны травянистые, растения, обладающие хорошим вертикальным ростом, например, бобы конские, фасоль посевная, кар-

83

тофель, молодые растения колеуса гибридного, 0,1-процентный раствор ауксина, ланолин.

*/ вариант — с ауксином.*

Марлевый или ватный тампон смочите раствором ауксина и привяжите к части стебля непосредственно под верхушечной почкой, где начинается зона растяжения. Во избежание высыхания тампон смажьте вазелином или кремом.

Вместо тампонов можно приготовить ауксиновую пасту. Для этого 10 мл 0,1-процентного раствора ауксина смешайте с 10 г (2 чайные ложки) расплавленного на водяной бане ланолина. Размешивайте стеклянной палочкой не менее 10 мин до получения однородной эмульсии. Ланолин имеет желтоватый цвет, но после растирания становится белым. Вместо ланолина можно взять любой крем, например детский (ланолин составляет жировую основу всех кремов). Хранится паста в холодильнике.

Нанесите ауксиновую пасту на одну из сторон стебля проростка фасоли. Ауксин легко поступает в клетки и ускоряет их растяжение. В результате обработанная сторона становится немного длиннее необработанной, что приводит к изгибу стебля. Чтобы добиться кольцевого изгиба, надо заставить стебель совершить еще 2 поворота — вниз, а затем вверх. Поэтому накладывать тампоны или пасту придется несколько раз.

*// вариант — без ауксина.*

Получить кольцевой изгиб стебля можно, используя способность главного стебля расти вертикально вверх. Для проведения этого опыта можно использовать проростки бобов

84

или фасоли, колеус гибридный. Удобнее, если они будут посажены в горшок прямоугольной формы. Положите

горшок так, чтобы стебель растения оказался в горизонтальном положении. Спустя несколько дней верхушка стебля изогнется, и он снова примет вертикальное положение. Таким образом у растения формируется первый изгиб. Постепенно в этой части стебля клетки заканчивают рост, одревесневают, изгиб закрепляется. Еще раз переверните горшок с растением таким образом, чтобы стебель вновь оказался в горизонтальном положении. Через сутки верхняя часть стебля снова окажется изогнутой вверх, но четко обозначенный изгиб сформируется через несколько дней.

Еще раз переверните растение таким образом, чтобы растущая верхняя часть стебля оказалась в горизонтальном положении. Верхушка стебля вновь изогнется вверх, завершая формирование кольцевого изгиба стебля.

Таким образом, перемещение стебля в горизонтальное положение оказывает такое же влияние, как одностороннее нанесение пасты с ауксином. Объясняется это тем, что в результате любого отклонения

85

главного стебля от вертикального положения в нем происходит перераспределение содержащегося в клетках эндогенного ауксина. В результате увеличивается количество гормона в клетках нижней стороны горизонтально расположенной части стебля, происходит усиление их роста и изгиб стебля вверх.

Задание. Осуществите в домашних условиях кольцевой изгиб стебля пеларгонии или бальзамина.

### 32. Березовый сок и старение растений

Место синтеза цитокининов — верхушки корней, откуда гормоны роста по сосудам вместе с током воды поднимаются в надземную часть растений. Одно из проявлений действия цитокининов — повышение устойчивости клеток растений к действию неблагоприятных факторов, торможение старения клеток, в том числе и клеток лепестков венчика. Естественным источником цитокининов является пасока — раствор минеральных и органических веществ, перемещающихся из корня в надземную часть растений по сосудам. Например, в пасоке винограда обнаружено 5 различных цитокининов.

Изучите влияние цитокининов березового сока на процесс старения срезанных цветков или листьев.

Для опыта нужны 100—200 мл свежего березового сока, молодые цветки фиалки узамбарской или других растений, несколько отделенных от растения листьев, например пеларгонии зональной.

86

Несколько молодых цветков фиалки и листьев пеларгонии поместите в стакан или пробирку с березовым соком. Контрольную группу растений поместите в раствор сахара (2 г на 100 мл), так как в пасоке березы содержание Сахаров составляет около 2%. Для предотвращения развития гнилостных бактерий можно добавить поваренную соль из расчета 1 чайная ложка соли на 1 л раствора.

Продолжительность жизни срезанных цветков фиалки под действием цитокининов березового сока увеличивается на 3—5 дней, листья пеларгонии остаются зелеными еще дольше.

Старение лепестков, листьев связано с постепенным накоплением в них ингибитора роста этилена, что приводит к нарушению проницаемости мембран клеток, усилению распада белков, а в листьях и хлорофилла.

Поступающие в лепестки и листья цитокинины тормозят синтез этилена, что приводит к увеличению продолжительности цветения, сохранению зеленого цвета листьев.

Задание. Исследуйте, какое действие оказывает пасока березы на цветки и листья различного возраста.

### 33. Салициловая кислота — ингибитор роста растений

Широко известно применение салициловой кислоты и ее производного — ацетилсалициловой кислоты (аспирина) в медицине. Впервые салициловая кислота была выделена из коры и листьев ивы (от лат. «саликс» — ива), где содержится в значительных количествах. Кроме ивы, салициловая кислота выделена из стеблей злаков, корней томатов,

87

мякоти плодов лимона, земляники, абрикоса. Ее широкое распространение обусловлено тем, что она обладает свойствами ингибитора роста. Изучим влияние салициловой кислоты на рост корня и стебля.

Для опыта нужны: раствор салициловой кислоты (50 мг на 100 мл), 3—6 чашек Петри, семена однодольных растений, например кукурузы, и двудольных, например огурцов посевных, линейка.

Семена разместите в 3 чашках Петри по 10 штук в каждой. Для большей достоверности проведите опыт в двух-, трехкратной повторности.

В первую чашку налейте 10 мл воды, во вторую 5 мл воды и 5 мл приготовленного раствора салициловой кислоты, что соответствует концентрации 0,025%, в третью — 10 мл исходного раствора салициловой кислоты (концентрация 0,05%). Закройте чашки Петри крышками и поставьте на проращивание в теплое (25—30 °С) место. Через неделю измерьте длину корней и стеблей у проростков, подсчитайте среднюю длину корня и стебля в каждом варианте, данные занесите в таблицу. Результаты опыта свидетельствуют, что салициловая кислота, особенно в высоких дозах, замедляет как прорастание семян, так и рост корня и стебля (рис. 15).

Например, в одном из опытов при повышении концентрации салициловой кислоты до 0,05% рост корня прекращается сразу после наклевывания, точки роста чернеют. В растворе наполовину меньшей концентрации корни у проростков вырастают в 4 раза короче, чем в контроле. Тормозящее действие салициловой кислоты на рост

88

корня выражено значительно более отчетливо, чем на рост стебля. Корень проявляет в 2—3 раза большую чувствительность к ингибитору, чем стебель. Тормозящее действие салициловой кислоты связано с подавлением в клетках синтеза ряда витаминов, хлорофилла, белков, процессов дыхания и фотосинтеза.

Салициловая кислота относится к довольно обширной группе природных негормональных ингибиторов роста.

#### 34. Влияние ростовых веществ дрожжей на укоренение черенков

Наряду с ингибиторами роста в группу негормональных регуляторов входят также вещества, стимулирующие рост: витамины, некоторые фенольные соединения, например, кофейная, феруловая кислоты. Изучите влияние комплекса витаминов, содержащихся в клетках дрожжей, на укоренение черенков.

Для опыта нужны черенки различных видов растений, дрожжи, фильтровальная бумага, мерный цилиндр на 500 мл.

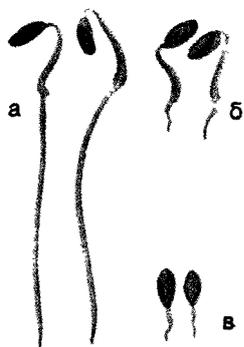


Рис. 15. Действие салициловой кислоты на рост проростков дыни:

а — контроль, б — кислота, 200 мкг/мл. в — кислота, 500 мкг/мл

89

Приготовьте раствор дрожжей концентрацией 100 мг/л. Черенки, например, пеларгонии зональной, разделите на 2 группы. Одну группу (контроль) поместите на сутки в воду, а вторую (опытные растения) — на такой же срок в раствор дрожжей. Через сутки черенки достаньте из раствора дрожжей, обмойте водой и перенесите в сосуд, заполненный наполовину водой. Чтобы вода не застаивалась, в сосуды с контрольными и опытными черенками поместите несколько кусочков древесного угля. Черенки должны находиться в сосудах с водой до появления корней у растений обоих

вариантов. В таблице для подведения итогов отметьте дату появления корней и число их к концу опыта.

Результаты опыта показывают, что вещества, выделяемые дрожжевыми клетками в воду, ускоряют появление корней на 10—12 дней и увеличивают их число в 2—10 раз.

Использование раствора дрожжей позволяет ускорить корнеобразование у растений с трудноукореняющимися черенками, например, лимона, роз, сирени.

Ускорение корнеобразования обусловлено выделением в воду из дрожжевых клеток витамина В<sub>1</sub>, биотина (витамина Н), а также спирта мезоинозита. Витамины, входя в состав различных ферментов, усиливают действие фитогормонов, что приводит к усилению процессов регенерации в черенках опытных растений.

90

#### 35. Влияние качества света на рост растений

Стимулятором или ингибитором роста растений может быть и свет. Большое значение имеет качественный, спектральный состав света. В солнечном спектре выделяют обычно 6 участков, имеющих различную окраску: фиолетовый, синий, зеленый, желтый, оранжевый, красный. Рассмотрим влияние на рост растений синего, зеленого, красного света.

Для опыта нужны растения салата листового, редиса посевого, укорененные черенки бегонии вечноцветущей, камнеломки отпрысковой, хроматические камеры (50x50x50 см), стержни к шариковым ручкам (синие, зеленые, красные), ацетон, небольшие поролоновые тампоны для окрашивания стекол.

Для изучения роста растений в условиях освещения красным, зеленым, синим светом необходимы 4 хроматические камеры, пропускающие свет определенных спектральных участков. В качестве хроматической камеры можно использовать готовые стеклянные аквариумы, либо изготовить их на основе деревянного каркаса из стекла. Использовать аквариумы в качестве хроматических камер лучше в том случае, если опыт проводится в лаборатории. При проведении опыта в полевых условиях нужны специальные хроматические камеры (рис. 16), в которых предусмотрена система вентиляции.

Окрасить стекла можно пастой шариковых ручек, которую слегка разводят ацетоном и наносят на стекла поролоновым тампоном.

91

В опыте 4 варианта: I — растения, выращиваемые под синими стеклами, II — под зелеными, III — под красными, IV — под неокрашенными (контроль). В каждую камеру помещают по 3 растения.

Растения в фазе проростков или небольшие укорененные черенки бегонии вечноцветущей накройте хроматическими камерами. Через 1—2 месяца сравните длину главного побега, среднюю длину междоузлий, количество и размеры листьев.

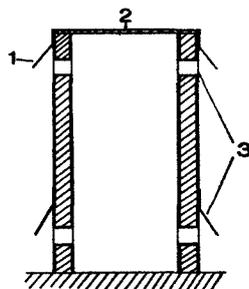


Рис. 16. Хроматическая камера (вид в разрезе):

1 — навесы из полосок клеенки, 2 — цветное стекло, 3 — щели для вентиляции

Наблюдения показывают, что растения, выросшие под красным, зеленым, синим светофильтром, отличаются по скорости развития и формирования стебля и листьев от растений, находившихся при естественном освещении или в камере с неокрашенными стеклами.

Синий свет вызвал торможение роста стебля, но не оказал влияния на количество и площадь листьев. Зеленый свет способствовал вытягиванию стеблей. Растения этого варианта имели мало листьев, площадь их пластинок уменьшилась. При освещении красными лучами тоже наблюдалось усиление линейного роста, уменьшение площади листьев, быстрое отмирание нижних

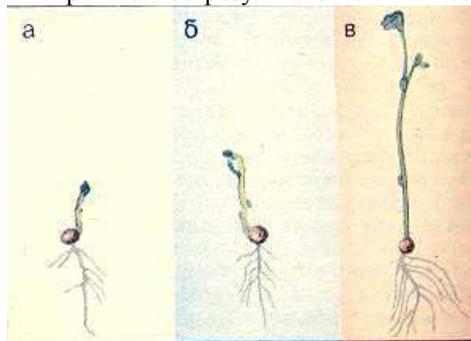
92

листьев. Растения контрольного варианта, освещавшиеся естественным солнечным светом, по длине стебля занимали промежуточное положение между растениями, выросшими на синем и красном свете, но имели более

развитую листовую поверхность, большее количество цветков.

Результаты опыта свидетельствуют, что условия освещения оказывают регуляторное воздействие на рост растений (рис. 17).

При анализе результатов опыта необходимо учитывать, что свет в жизни растений выполняет 2 важные



функции: энергетическую и регуляторную. Энергия света, поглощенного хлорофиллом и вспомогательными пигментами (у высших растений—каротиноидами), расходуется в процессе фотосинтеза на обра-

Рис. 17. Растения гороха, развивающиеся одинаковое количество времени в белом (а), синем (б) и оранжевом (в) свете

93

зование органических веществ из неорганических. Максимумы поглощения света хлорофиллом расположены в сине-фиолетовой и красной частях спектра, каротиноидов — в синей. Накопление органического вещества прямо пропорционально количеству поглощенной световой энергии, поэтому освещение растений зелеными лучами, мало поглощаемыми хлорофиллом, неблагоприятно для фотосинтеза и образования необходимых для ростовых процессов органических веществ.

Вторая функция света — регуляция процессов роста и развития. В этом случае свет поглощается не хлорофиллом, а другими пигментами: синий свет—флавионами, красный— фитохромом.

Реакции фоторегулирования могут осуществляться с помощью очень малого количества пигмента, поглощающего ничтожную часть падающего солнечного излучения. Влияние света на онтогенез растений многообразно. Он регулирует прорастание семян, образование листьев, корней, цветков, листопад, переход почек в состояние покоя. Синие, фиолетовые, ультрафиолетовые лучи стимулируют процессы деления клеток, но подавляют их рост в фазе растяжения, что приводит к задержке роста растений в высоту. Подавление растяжения клеток обусловлено, с одной стороны, сильным возрастанием количества ингибиторов роста, а с другой,—уменьшением содержания ауксинов в результате его фоторазрушения. Поэтому растения, выращенные в условиях освещения исключительно синим светом, имеют приземистую, часто розеточную форму.

94

Оконное стекло задерживает ультрафиолетовые лучи. Поэтому растения, выросшие в хроматической камере с неокрашенными стеклами, имеют более вытянутые стебли по сравнению с растениями, растущими вне камеры.

Красный свет подавляет процессы деления клеток, но стимулирует их растяжение. Это приводит к усилению линейного роста растений, вытягиванию стеблей и междоузлий. Растения, выращенные на красном свете, могут внешне напоминать этиолированные, т. е. выросшие без света растения.

Зеленые лучи тоже выполняют определенные функции в образовании и активации ферментов. Поэтому гармоничный рост растений возможен только в условиях освещения белым светом, который, как известно, содержит все участки солнечного спектра, от ультрафиолетового до дальнего красного: фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный.

Оптимальные для роста растений соотношения красного и синего света в общем светопотоке могут несколько меняться в зависимости от вида и возраста растений. Известно, например, что крестоцветные более требовательны к синему свету, а злаки — к красному.

При культивировании растений в условиях искусственного освещения (светокультура растений) регуляция спектрального состава и интенсивности света дает возможность управлять формированием урожая.

95

### 36. Тормозящее влияние света на рост растений

Изучите скорость роста растений в течение суток. Для опыта нужны семена гороха посевного, подсолнечника, клубни картофеля, линейка.

В горшках с почвой вырастите в темноте проростки гороха, подсолнечника, картофеля. Когда ростки достигнут 3—4 см, точно измерьте их длину и утром выставьте на свет. Чем интенсивнее освещение, тем нагляднее будут результаты. Через 9—12 ч снова измерьте длину проростков и на ночь поставьте в темное место. Утром растения измерьте и выставьте на свет. Наблюдения за ростом растений в дневное и ночное время проведите в течение нескольких дней. На основе полученных данных постройте кривую суточной периодичности роста растений. Для этого на оси абсцисс отметьте время измерения длины растений (с указанием часа суток), а на оси ординат — прирост стебля в длину.

Результаты опыта показывают, что в ночное время рост проростков идет быстрее, чем днем.

Тормозящее действие света на рост растений обусловлено его влиянием на количественное соотношение гормонов в растении. На свету происходит частичное разрушение ауксинов и подавление синтеза гиббереллинов. Это приводит к снижению их количества днем и возрастанию в ночное время суток. Одновременно на свету возрастает количество абсцизовой кислоты, ингибирующей деление и растяжение клеток.

96

Задание. Понаблюдайте за ростом какого-либо растения на клумбе или огороде. Определите средний прирост за день и за ночь.

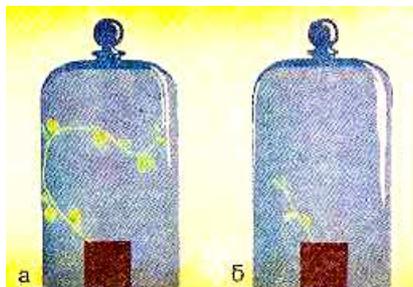
### 37. Влияние табачного дыма на рост растений

Загрязнение воздуха, в том числе табачным дымом, оказывает отрицательное воздействие на рост растений, особенно выраженное у молодых особей.

Для опыта нужны семена гороха посевного, бобов, 3 чашки Петри, 3 стеклянных колпака и пластинки из стекла в качестве подставок под колпаки, табак, чашечки для его сжигания.

В чашках Петри разложите на увлажненной фильтровальной бумаге, которую можно предварительно сложить в виде гармошки, по 10 семян гороха посевного. После прорастания семян поместите чашки под стеклянные колпаки. Проростки в первой чашке — контрольные. Проростки во второй чашке окурите табачным дымом 1 раз, а в третьей — 2—3 раза с интервалом в 1—2 дня.

Для окуривания необходимо зажечь в чашечке для сжигания табак. Чтобы колпаки достаточно герметично закрывали чашки с проростками, их края смажьте вазелином.



Обычно уже однократной обработки растений табачным дымом достаточно, чтобы у проростков гороха листья приобрели бледно-зеленую окраску, развился слабый стебель. В третьей чашке растения заметно отстают в росте, окраска листьев бледно-зеленая, стебельки изогнуты (рис. 18).

Рис 18 Влияние табачного дыма на рост растений  
а — контроль б — трехкратное окуривание

Задание Сравните влияние табачного дыма на рост растений различного возраста

### 38. Срастание корневых систем древесных растений

Срастание корней в природных условиях происходит у многих видов древесных растений

Для наблюдения этого явления нужны групповые насаждения сосны обыкновенной или березы бородавчатой, дуба черешчатого, клена остролистного возрастом не менее 5 лет, лопата, совок, нож

В 80—100 м от центра группы растений выкопайте траншею глубиной 80—100 см и длиной 1—2 м Стенку

98 траншеи, обращенную к деревьям, осторожно разрушите и освободите всю корневую систему В корневой системе двух или нескольких растущих очень близко друг к другу деревьев можно наблюдать срастание стержневых корней, вращение бокового корня в стержневой, срастание боковых корней и даже срастание одного корня с корнями не скольких особей (рис 19) Сфотографируйте сросшиеся корневые системы и засыпьте почвой обнаженные корни Такие срастания корней аналогичны прививкам побегов растений

Считают, что срастание корней — положительное явление в жизни растений Можно представить себе березовую рощу как единый организм (срастание корней у березы происходит особенно легко из-за гладкой поверхности корней).

Благодаря срастанию корней в природе можно наблюдать удивительное явление

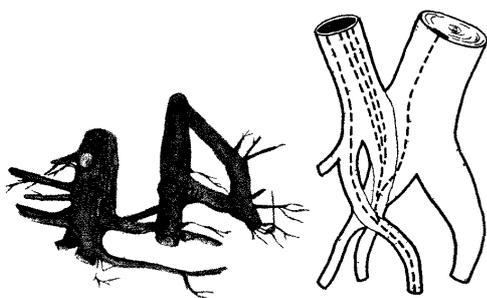


Рис 19 Срастание корней древесных растений живые пни.

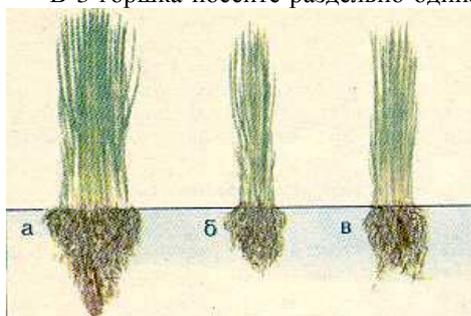
Например, в посадках сосны обыкновенной до 50% пней, оставшихся после прореживания посадок, могут быть живыми. Большинство таких пней находится на расстоянии 2,5 м от молодого дерева. Причем у живого пня функционируют только те корни, которые срослись с живым деревом. Пни, не сросшиеся корнями с другими деревьями, отмирают через год.

### 39. Взаимное влияние растений

Помимо абиотических факторов внешней среды (свет, температура, вода, кислород, элементы питания), на рост растений оказывают влияние биологически активные вещества, которые выделяются в почву и воздух другими растениями. Явление взаимного влияния растений носит название аллелопатии (от греч. «аллелон» — взаимно, «патос» — страдание). Растения могут выделять вещества, которые тормозят (токсины) или ускоряют (стимуляторы) рост других растений.

Для изучения взаимного влияния растений нужны наклюнувшиеся семена пшеницы, овса и ячменя, 4 горшка с почвой.

В 3 горшка посеять отдельно одинаковое количество семян пшеницы, овса, ячменя. В четвертый горшок посеять поочередно семена всех 3 видов растений. Общее количество семян в нем должно быть таким же, как и в контрольных горшках.



Через месяц подведите итоги опыта. Рост пшеницы, ячменя и овса в отдельном и смешанном посевах происходит по-разному. Растения овса в смешанном посевах отстают

Рис 20. Изменение длины корней овса в смешанных с ячменем и пшеницей посевах:

а — контроль, б — посев через зерно, в — посев через ряд

в росте, имеют менее развитую корневую систему по сравнению с растениями, выращенными в отдельном посеве (рис. 20). Это может быть обусловлено конкуренцией за питательные вещества, ведь растения принадлежат к одному семейству и имеют сходные биологические свойства. Взаимное влияние растений в посевах проявляется также через корневые выделения, которые могут стимулировать или угнетать растущие рядом растения. В состав корневых выделений входят минеральные соединения, органические кислоты, алкалоиды, ферменты, ингибиторы роста негормональной природы, например кумарин, кофейная кислота и стимуляторы, например витамины.

101

Под влиянием комплекса токсинов, выделяемых корневыми системами одних растений, может происходить подавление деления и роста клеток, интенсивности процессов фотосинтеза и дыхания соседних растений.

Задание. Определите, как влияют на рост культурных растений сорняки, например пырей ползучий, марь белая, осот огородный.

#### 40. Влияние газообразных выделений растений на прорастание семян

Выясните, как влияют летучие выделения растений (фитонциды) на прорастание семян гороха.

Для проведения опыта нужны наклюнувшиеся семена гороха посевного или другого вида растений, листья комнатных растений (алоэ древовидное, пеларгония зональная), 2 чашки Петри (или пол-литровые банки), пластилин, ступка с пестиком, фильтровальная бумага.

В центре чашки Петри из пластилина сделайте бортик, тщательно приклеивая его ко дну (рис. 21). Вокруг бортика поместите смоченное водой кольцо из фильтровальной бумаги и расположите на нем по периметру чашки на равном расстоянии друг от друга 10 семян гороха.

5 г ткани исследуемого растения разотрите в ступке с песком. Поместив кашицу в углубление, ограниченное бортиком, быстро закройте чашку и поставьте в теплое место.

В контрольную чашку в углубление вместо кашицы налейте чистую воду.

Регулярно следите за состоянием семян и при необходимости увлажняйте фильтроваль-

102

ную бумагу. Отметьте, на какие сутки от начала опыта наблюдается прорастание семян. Когда корешки в одном из вариантов опыта достигнут 1—1,5 см, проведите учет их длины у каждого семени и вычислите среднюю длину корешка, а также процент проросших семян.

Средние значения длины корней, процент проросших семян в каждом варианте занесите в таблицу. Результаты опыта показывают, что летучие выделения листьев могут оказывать на прорастание семян и рост корней гороха посевного как стимулирующее (алоэ древовидное), так и тормозящее (пеларгония зональная) действие.

В состав летучих соединений, получивших общее название фитонцидов (от греч. «фитон»—растение, «цидо»—убиваю), входят эфирные масла, альдегиды уксусной и пропионовой кислот, метиловый и этиловый спирты, полифенолы и другие соединения.

К образованию комплекса летучих соединений способны все растения, причем повре-

103

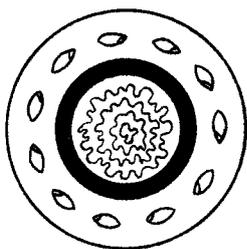


Рис. 21. Схема опыта по изучению действия летучих соединений растений на прорастание семян.

ждение клеток усиливает выделение фитонцидов. Именно поэтому при проведении описанного выше опыта рекомендуется использовать кашицу, получаемую путем растирания листьев.

Состав и количество химических веществ, выделяемых растениями, специфичны для каждого вида, что сказывается на характере их взаимоотношений. Например, ясень обыкновенный, осина, липа мелколистная, клен ясенелистный подавляют, а береза бородавчатая, клен остролиственный — стимулируют рост дуба. Напротив, сосна обыкновенная отрицательно реагирует на выделение газообразных веществ листьями березы бородавчатой.

Химические вещества, выделяемые листьями и корнями высших растений, играют важную роль в формировании сообществ растений (фитоценозов).

#### 41. Бактерицидное действие фитонцидов горчицы

Фитонциды растений обладают мощным бактерицидным действием. Например, фитонциды чеснока, лука, хрена, горчицы убивают многие виды бактерий, простейших, низших грибов в течение нескольких минут и даже секунд. Изучите бактерицидные свойства фитонцидов горчицы черной.

Для опыта нужна горчица пищевая в виде порошка или пасты, вареное яйцо, колба емкостью 500 мл, пробка с крючком, сургуч.

На дно колбы поместите немного разведенной в теплой воде горчицы. На крючок, приделанный к пробке, подвесьте в сеточке очищен-

104

ное от скорлупы яйцо. Опустите сеточку с яйцом в колбу таким образом, чтобы оно не касалось слоя горчицы,

и плотно закройте колбу пробкой. Для герметичности можно залить пробку сургучом или парафином.

Под действием фитонцидов горчицы, основным компонентом которых являются аллилгорчичные масла, происходит стерилизация воздуха у поверхности яйца. В атмосфере летучих выделений горчицы яйцо может сохраняться без признаков порчи продолжительное время. Описан опыт, в котором куриное яйцо в колбе сохранилось свежим благодаря горчице в течение 20 лет.

Количество фитонцидов, выделяемых различными растениями, неодинаково. 1 га соснового леса выделяет за сутки около 5 кг летучих фитонцидов, а можжевельного — около 30 кг. Фитонциды являются одним из факторов естественного иммунитета: растение стерилизует себя продуктами собственной жизнедеятельности.

Задание. Проверьте, используя описанную методику, бактерицидное действие фитонцидов чеснока, хрена, лука.

## РАЗДРАЖИМОСТЬ И ДВИЖЕНИЯ У РАСТЕНИЙ

Для растений движения также естественны, как и для животных. Но поскольку большинство растений не способно к перемещению в пространстве, у многих людей существует представление об их неподвижности. Даже известный французский биолог Жан Батист Ламарк в свое время дал растениям такое определение: «Растения представляют собой живые организованные тела, части которых никогда не обладают раздражимостью. Они не переваривают пищи и не способны двигаться ни под влиянием волн, ни вследствие истинной раздражимости». Заметим, что Ламарк выделил 3 основных критерия, по которым различают растения и животных: наличие у животных организмов раздражимости, способности к движению и способности к перевариванию пищи.

Справедливость восторжествовала только в конце XIX в. Исследования Ч. Дарвина в 1865—1880 гг., индийского ученого Д. Ч. Боса в 1895—1937 гг., русских ученых И. Ф. Леваковского и Т. И. Вяземского

106

в 1860—1901 гг. показали, что раздражимость так же свойственна растениям, как и животным.

Изучение способности растений к движениям Ч. Дарвин начал сразу же после выхода в свет его знаменитой книги «Происхождение видов путем естественного отбора». На основании изучения более 100 видов лезящих и вьющихся растений, 31 вида хищных растений, принадлежащих к 11 родам, ученый сделал вывод о способности растений к восприятию раздражения и проведению возбуждения по тканям.

В итоговой книге «Способность к движению у растений» великий естествоиспытатель с удовлетворением заключил: «В настоящий момент мы знаем, что движение растений происходит постоянно и что только его размах или направление, или то и другое вместе должны видоизменяться для пользы растения соответственно внешним и внутренним стимулам».

Доказательство единства, физиологической общности процессов раздражимости у растений и животных — одно из величайших достижений биологии конца XIX — начала XX в.

## РАЗДРАЖИМОСТЬ РАСТЕНИЙ

Что же такое раздражимость? Это способность организма воспринимать воздействия внешней и внутренней среды и реагировать изменением процессов жизнедеятельности.

Спектр внешних воздействий, воспринимаемых растением, широк — свет, температура, сила тяжести, химический состав окружающей среды, магнитное поле Земли, механические и электрические раздражения.

У растений так же, как и у животных восприятие раздражения и ответная реакция, например двигательная, пространственно разобщены. Передача раздражения (проведение возбуждения) может осуществляться путем возникновения и распространения по растению электрического потенциала, т. н. потенциала действия.

В существовании электричества у растений можно убедиться на довольно простых опытах.

### 42. Обнаружение токов повреждения в разрезанном яблоке

Так называемые токи повреждения были впервые обнаружены в конце XVIII в. итальянским ученым Луиджи Гальвани у животных организмов. Если разрезать отпрепарированную мышцу лягушки поперек волокон и подвести электроды гальванометра к срезу и продольной неповрежденной поверхности, гальванометр зафиксирует разность потенциалов около 0,1 В

Первые доказательства существования аналогичных процессов у растений были получены спустя почти 100 лет, когда по аналогии стали измерять токи повреждения на разных растительных тканях. Срезы листьев, стебля, репродуктивных органов, клубней всегда оказывались заряженными отрицательно по отношению к здоровой ткани.

Итак, вернитесь в 1912 г. и повторите опыт с измерением потенциалов надрезанного яблока. Для опыта, кроме яблока, нужен гальванометр, способный измерить разность потенциалов около 0,1 В.

108

Яблоко разрежьте пополам, удалите сердцевину. Если оба электрода, отведенных к гальванометру, приложить к наружной стороне яблока (кожуре), гальванометр не зафиксирует разности потенциалов. Один электрод перенесите во внутреннюю часть мякоти, и гальванометр отметит появление тока повреждения.

Кроме яблока, можно измерить токи повреждения, достигающие 50—70 мВ, у срезанных стеблей, черешков, листьев.

Как показали более поздние исследования, средняя скорость тока повреждения в стебле и черешке

составляет около 15—18 см/мин.

В неповрежденных органах биотоки тоже постоянно существуют, но для их измерения нужна высокочувствительная аппаратура.

Установлено, что ткань листа заряжена электроотрицательно по отношению к центральной жилке, верхушка побега заряжена положительно по отношению к основанию, листовая пластинка — положительно по отношению к черешку. Если стебель положить горизонтально, то под действием силы земного тяготения нижняя часть его становится более электроположительной по отношению к верхней.

Наличие биоэлектрических потенциалов характерно для любой клетки. Разность потенциалов между вакуолью клетки и наружной средой составляет около 0,15 В. Только в 1 см<sup>2</sup> листа может содержаться 2—4 млн клеток, и каждая — маленькая электростанция.

Решающую роль в возникновении растительного, как впрочем и животного, электричества играют

109

мембраны клетки. Проницаемость их для катионов и анионов в направлении из клетки и в клетку не одинакова. Установлено, что если концентрация какого-либо электролита с одной стороны мембраны в 10 раз выше, чем с другой, то на мембране возникает разность потенциалов 0,058 В.

Под действием различных раздражителей проницаемость мембран меняется. Это приводит к изменению величины биопотенциалов и возникновению токов действия. Возбуждение, вызванное раздражителем, может передаваться по растению от корней к листьям, регулируя, например, работу устьиц, скорость фотосинтеза. При смене освещения, изменении температуры воздуха токи действия могут передаваться и в противоположном направлении — от листьев к корням, что приводит к изменению активности работы корня.

Интересно, что вверх по растению биотоки распространяются в 2,5 раза быстрее, чем вниз.

С наибольшей скоростью возбуждение у растений идет по проводящим пучкам, а в них — по клеткам-спутницам ситовидных трубок. Скорость распространения потенциала действия (электрических импульсов) по растению у различных видов не одинакова. Быстрее всех реагируют насекомоядные растения и мимоза — 2—12 см/с. У других видов растений эта скорость значительно ниже — около 25 см/мин.

#### 43. Опыт с зеленой горошиной

Этот опыт впервые был поставлен крупнейшим исследователем проблемы раздражимости растений

индийским ученым Д. Ч. Босом. Он показывает, что резкое повышение температуры вызывает в семенах появление токов действия. Для опыта нужны несколько зеленых (несозревших) семян гороха посевного, бобов, фасоли, гальванометр, препаровальная игла, спиртовка.

Соедините внешнюю и внутреннюю части зеленой горошины с гальванометром. Очень осторожно в бюксе нагрейте горошину (не повреждая) приблизительно до 60°С.

При повышении температуры клеток гальванометр регистрирует разность потенциалов до 0,1—2 В. Вот что отметил по поводу этих результатов сам Д. Ч. Бос: если собрать 500 пар половинок горошин в определенном порядке в серии, то суммарное электрическое напряжение составит 500 В, что вполне достаточно для казни на электрическом стуле.

Самыми чувствительными у растений являются клетки точек роста, находящиеся на верхушках побегов и корней. Многочисленные побеги, обильно ветвящиеся и быстро нарастающие в длину кончики корней как бы ощупывают пространство и передают информацию о нем в глубь растения. Доказано, что растения воспринимают прикосновение к листу, реагируя на него изменением биопотенциалов, перемещением электрических импульсов, изменением скорости и направления передвижения гормонов. Например, кончик корня реагирует более чем на 50 механических, физических, биологических факторов и всякий раз при этом выбирает наиболее оптимальную программу для роста.

Убедиться в том, что растение реагирует на прикосновения, особенно частые, надоедливые, можно на следующем опыте.

#### 44. Стоит ли трогать растения без надобности

Познакомьтесь с тигмонастиями — двигательными реакциями растений, вызванными прикосновениями.

Для опыта в 2 горшка высадите по одному растению, желательно без опушения на листьях (бобы, фасоль). После появления 1—2 листьев начинайте воздействие: листья одного растения слегка потрите между большим и указательным пальцем 30—40 раз ежедневно в течение 2 недель.

К концу второй недели различия будут видны отчетливо: растение, подвергавшееся механическому раздражению, отстаёт в росте (рис. 23).

Результаты опыта свидетельствуют, что длительное воздействие на клетки слабыми раздражителями может привести к торможению процессов жизнедеятельности растений.

Постоянным воздействиям подвергаются растения, высаженные вдоль дорог. Особенно чувствительны ели. Их ветви, обращенные к дороге, по которой часто ходят люди, ездят машины, всегда короче ветвей, расположенных на противоположной стороне

Раздражимость растений, т. е. их способность реагировать на разные воздействия, лежит в основе активных движений у растений, которые не менее разнообразны, чем у животных.

Перед тем как приступить к описанию опытов, раскрывающих механизм движения растений, целесообразно ознакомиться с классификацией этих



Рис. 23 Влияние на рост растений механического воздействия

на осуществление движений затрачивают энергию дыхания, это физиологически активные движения. По механизму изгиба они подразделяются на ростовые и тургорные.

Ростовые движения обусловлены изменением направлением роста органа. Это сравнительно медленные движения, например изгибы стеблей к свету, корней к воде.

Тургорные движения осуществляются путем обратимого поглощения воды, сжатия и растяжения специальных двигательных (моторных) клеток, расположенных у основания органа. Это быстрые движения растений. Они свойственны, например, насекомоядным растениям, листьям мимозы.

Более подробно типы ростовых и тургорных движений будут рассмотрены ниже по мере выполнения опытов.

Для осуществления пассивных (механических) движений прямых затрат энергии клетки не требуется. В механических движениях в большинстве случаев цитоплазма не участвует. Наиболее распространены, гигроскопические движения, которые вызываются обезвоживанием и зависят от влажности воздуха.

113

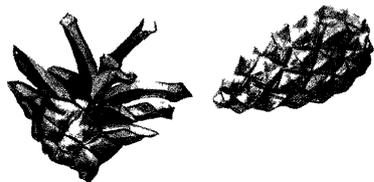
### ГИГРОСКОПИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ

В основе гигроскопических движений лежит способность оболочек растительных клеток к поглощению воды и набуханию. При набухании вода поступает в пространство между молекулами клетчатки (целлюлозы) в оболочке и белка в цитоплазме клетки, что приводит к значительному увеличению объема клетки.

#### 45. Движения чешуи шишек хвойных, сухого мха, сухоцветов

Изучите влияние температуры воды на скорость движения семенных чешуи шишек.

Для опыта нужны по 2—4 сухие шишки сосны и ели, высушенные соцветия акроклинума розового или гелихризума большого (бессмертника), сухой мох кукушкин лен, часы.



Рассмотрите сухую шишку сосны. Семенные чешуи подняты, хорошо видны места, к которым были прикреплены семена (рис. 24).

Опустите половину шишек сосны в холодную воду, а вторую — в теплую (40—50 °С). Наблюдайте за движением чешуи. Отметьте

114

Рис. 24. Шишки сосны.

время, которое потребовалось для полного их смыкания.

Достаньте шишки из воды, стряхните и проследите за движением чешуи в процессе высыхания.

Отметьте время, за которое чешуи вернутся в исходное состояние, занесите данные в таблицу:

Объект наблюдения	Температура		Продолжительность	
	10 °С	50 °С	смыкан	размыка
Шишки сосны	+			
Шишки ели	+	+		
Соцветие бессмертника	+			
Соцветие бессмертника		+		

115

Повторите опыт с теми же шишками несколько раз. Это позволит не только получить более точные данные, но и убедиться в обратимости изучаемого вида движений.

Результаты опыта позволят сделать важные выводы:

1) Движение семенных чешуи шишек обусловлено потерей и поглощением ими воды. Об этом же свидетельствует прямая зависимость движения чешуи от температуры воды: при ее повышении скорость движения молекул воды возрастает, набухание чешуи происходит быстрее.

2) Чтобы набухание чешуи могло изменить их положение в пространстве, строение и химический состав клеток на внешней и внутренней стороне чешуи должны быть различными. Это действительно так. Оболочки клеток верхней стороны чешуи шишек хвойных более эластичны, растяжимы по сравнению с клетками нижней стороны. Поэтому при погружении в воду они поглощают ее больше, быстрее увеличивают свой объем, что приводит к удлинению верхней стороны и движению чешуи вниз. В процессе обезвоживания клетки верхней стороны теряют воду тоже быстрее клеток нижней стороны, что приводит к загибанию чешуи вверх.

Интересно наблюдать вызываемые набуханием движения листьев кукушкина льна либо других листостебельных мхов. У живых растений листья направлены в сторону от стебля, а у сухих — прижаты к нему. Если опустить сухой стебелек в воду, через 1—2 мин листья переходят из вертикального положения в горизонтальное.

Очень красивы движения высушенного соцветия бессмертника. Если сухое соцветие опустить в воду, через 1—2 мин листочки обертки приходят в движение и соцветие закрывается.

Задание. Сравните скорость движения чешуи шишек различных видов хвойных. Зависит ли она от размера шишек? Сравните скорость движения чешуи шишек сосны и ели, листьев мхов и листочков обертки соцветия бессмертника, выявите черты сходства и различия.

#### 46. Гигроскопические движения семян. Гигрометр из семян аистника

Гигроскопические движения играют важную роль в распространении семян различных растений.

Изучите механизм самозакапывания семян аистника, перемещения по почве семян василька полевого.

Для опыта нужны семена аистника (грабельника), василька синего, лист плотной бумаги, часы, предметное стекло.

Аистник — распространенное в Белоруссии растение. Свое название получило благодаря сходству плода с головой аиста (рис. 25).

Рассмотрите внимательно строение сухого плода аистника. Доли зрелого коробочковидного плода снабжены длинной остью, в нижней части спирально закрученной. Плод покрыт жесткими волосками.

На предметное стекло нанесите каплю воды и опустите в нее сухой плод. Закрученная спиралью нижняя часть начинает раскручива-

117

ться и плод, не имеющий опоры на стекле, совершает вращательные движения.

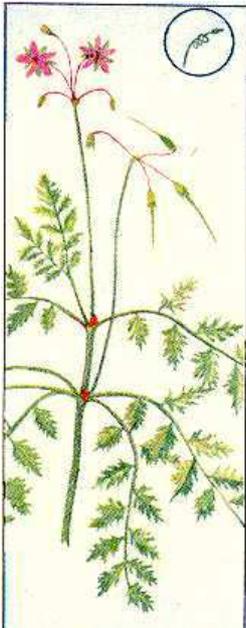
После полного выпрямления ости перенесите плод на сухую часть стекла. По мере высыхания нижняя часть снова закручивается в спираль и вызывает вращение плода.

Проведите хронометраж опыта, сравнивая скорости процессов раскручивания и закручивания спирали.

Механизм движения плода аистника тот же, что и чешуи шишек хвойных — различие в гигроскопичности клеток ости.

Наблюдения за движением плода в капле воды позволяют понять поведение его в почве. Когда плод падает на землю, верхний конец ости, загнутый под прямым углом, цепляется за окружающие его стебельки и остается неподвижным. При закручивании и

Рис. 25. Аистник.



118

раскручивании спирального участка нижняя часть плода с семенем ввинчивается в землю. Путь назад преграждают жесткие, отогнутые вниз волоски, покрывающие плод.

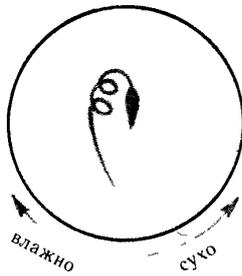
Чтобы изготовить примитивный гигрометр, в кусочке картона или дощечке, покрытой белой бумагой, проделайте отверстие и закрепите в нем нижний конец плода. Для калибровки прибора сначала высушите, затем смочите ость водой и отметьте крайнее положение (рис. 26). Размещать прибор лучше на улице, где колебания влажности выражены более резко, чем в помещении.

Аистник — не единственное растение, способное к самозакапыванию семян. Сходное строение и механизм распространения имеют ковыли, овсюг, лисохвост.

Плоды василька (семянки с хохолком из твердых щетинок) не способны к самозакапыванию. При колебаниях влажности почвы щетинки попеременно опускаются и поднимаются, толкая плод вперед.

Задание. Соберите семена василька, лисохвоста, овсюга. Изучите поведение их во влажной и сухой среде, сравните с аистником.

Рис 26. Гигрометр из аистника.



119

### ТРОПИЗМЫ

В зависимости от строения органа и действия факторов внешней среды различают два вида ростовых движений: тропизмы и настии.

Тропизмы (от греч. «тропос» — поворот), тропические движения — это движения органов с радиальной симметрией (корень, стебель) под влиянием факторов внешней среды, которые действуют на растение односторонне. Такими факторами могут быть свет (фототропизм), химические факторы (хемотропизм), действие силы земного тяготения (геотропизм), магнитное поле Земли (магнитотропизм) и др.

Эти движения позволяют растениям располагать листья, корни, цветки в положении, наиболее благоприятном для жизнедеятельности.

#### 47. Гидротропизм корня

Одно из наиболее интересных видов движения — движение корня к воде (гидротропизм). Наземные растения испытывают постоянную потребность в воде, поэтому корень всегда растет в ту сторону, где содержание воды выше. Гидротропизм присущ прежде всего корням высших растений. Наблюдается также у

ризоидов мхов и заростков папоротников.

120

Для опыта нужно 10—20 наклонившихся семян гороха (люпина, ячменя, ржи), 2 чашки Петри, немного пластилина.

Плотно прикрепленным ко дну пластилиновым барьером разделите площадь чашки на 2 равные части. На барьер положите наклонившиеся семена, слегка вдавливая их в пластилин, чтобы при росте корня семена не сдвинулись с места. Корешки должны быть направлены строго вдоль барьера (рис. 27).

Эти этапы работы в контрольной и опытной чашках одинаковы. Теперь предстоит создать различные условия увлажнения. В контрольной чашке влажность в левой и правой частях должна быть одинакова. В опытной чашке вода наливается только в одну половину, а вторая остается сухой.

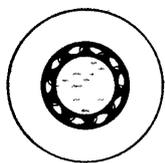


Рис. 27. Схема расположения семян при изучении гидротропизма корня.



Обе чашки накройте крышками и поместите в теплое место. Ежедневно наблюдайте за положением корешков. Когда ориентация их станет хорошо заметной, подсчитайте количество семян, корни которых проявили положительный гидротропизм (рост органа в сторону воды).

Наблюдения за движением корешка к воде ясно показывают, что тропизмы — это ростовые движения. Корешок растет в сторону воды, при этом происходит, если это необходимо растению, изгиб корня.

Гидротропизм — частный случай хемотропизма (ростовой реакции растений на неравномерное распределение в окружающей среде какого-либо вещества). Способность корней растений, грибных гифов, пыльцевых трубок, проростков паразитических растений (повилики, например) распознавать химическое вещество на некотором расстоянии от него удивительна. Установлено, что воспринимает воздействие

121

химических веществ зона роста органа, а изгиб образуется на некотором расстоянии от нее, т. е. происходит передача раздражения по корню (рис. 28).

Задание. По описанной выше схеме опыта проверьте способность растений распознавать не только воду, но и нужные растению растворы минеральных солей, например 0,3-процентный раствор нитрата калия или аммония.



Рис. 28 Хемотропический изгиб корней

#### 48. Влияние силы земного тяготения на рост стебля и корня

Большинство растений растет вертикально. При этом главную роль играет не располо-

122

жение их относительно поверхности почвы, а направление радиуса Земли. Именно поэтому на горных склонах растения растут под любым углом к почве, но вверх. Главный стебель обладает отрицательным геотропизмом — он растет в сторону, противоположную действию силы земного тяготения. Главный корень, напротив, обладает положительным геотропизмом.

Наиболее интересно поведение боковых побегов и корней: в отличие от главного корня и стебля, они способны расти горизонтально, обладая промежуточным геотропизмом. Побеги и корни второго порядка вообще не воспринимают действие силы земного тяготения и способны расти в любом направлении. Неравномерное восприятие побегам и корням различных порядков действия силы земного тяготения позволяет им равномерно распределяться в пространстве.

Чтобы убедиться в противоположной реакции главного стебля и главного корня на одно и то же воздействие силы земного тяготения, можно поставить следующий опыт.

Для опыта нужны наклонившиеся семена подсолнечника посевного, пластинки из стекла и пенопласта 10X10 см, фильтровальная бумага, пластилин, стакан.

На пластинку из пенопласта положите несколько слоев увлажненной фильтровальной бумаги. Наклонившиеся семена разместите на ней так, чтобы их острые концы были направлены вниз. По углам пластинки прикрепите кусочки пластилина. Положите на них, слегка прижимая, стеклянную пластинку, чтобы зафиксировать семена в нужном положении. Оберните несколькими слоями увлажненной фильтровальной

123

бумаги и в вертикальном положении (острые концы семян должны быть направлены вниз) поместите в теплое место.

Когда корешки достигнут 1—1,5 см, пластинку переверните на 90°, чтобы корешки были расположены горизонтально.

Ежедневно контролируйте состояние проростков. Фильтровальная бумага должна быть влажной.

Проведите хронометраж опыта и отметьте время (в сутках от начала опыта) проявления геотропического изгиба.

Результаты опыта свидетельствуют, что при любом положении проростка в пространстве главный корень всегда изгибается вниз, а стебель — вверх. Причем ответная реакция осевых органов может проявиться довольно быстро (1—2 ч).

Геотропическая чувствительность растений высока, некоторые способны воспринимать отклонение от

вертикального положения в 1°. Проявление ее зависит от сочетания внешних и внутренних условий. Под влиянием низкой температуры воздуха отрицательный геотропизм стеблей может переходить в поперечный, что приводит к их горизонтальному росту.

Каким же образом стебель или корень «ощущают» свое положение в пространстве? У корня зона, воспринимающая геотропическое раздражение, находится в корневом чехлике. Если его удалить, геотропическая реакция затухает. В стебле силы земного тяготения также воспринимаются верхушкой.

Непосредственный изгиб корня или стебля осуществляется ниже, в зоне, где клетки проходят растяжение. При этом под действием

124

одного и того же фактора — силы земного тяготения — в горизонтально лежащем стебле усиливается рост клеток нижней стороны, что приводит к изгибу его вверх, в корне же — рост клеток верхней и изгибу вниз.

**Задание.** Изучите характер геотропической реакции стеблей разного порядка двудольного растения. Для этого вырастите проростки, закройте поверхность почвы, чтобы она не высыпалась, и переверните горшки. Наблюдения ведите до тех пор, пока не появятся боковые стебли первого и второго порядка.

#### **49. Влияние этилена на геотропическую реакцию проростков гороха**

Рост растений регулируется не только биоэлектрическими сигналами, но и гормональной системой. Главную роль в регуляции скорости роста играет количественное содержание гормона ауксина и его взаимодействие с другими гормонами, в частности абсцизовой кислотой и этиленом.

В отличие от стимулирующего рост ауксина, абсцизовая кислота тормозит деление клеток нижней стороны органа. Это вызывает замедление ее роста, и корень начинает изгибаться по направлению к центру Земли.

Для опыта нужны зрелые яблоки (источник этилена), 2 стеклянных колпака, 2 горшка с проростками гороха.

Стеклянные колпаки установите на подставку. Под ними разместите горшки с 2-, 3-дневными проростками

125

гороха. В опытном варианте под колпак положите яблоки. Растения поставьте в темноту.

По мере накопления этилена в воздухе, он начинает проникать в проростки гороха. Через несколько дней становятся заметны нарушения нормальной отрицательной геотропической реакции побегов, которые начинают расти горизонтально, а при высокой концентрации этилена в воздухе даже полегают.

Результаты опыта свидетельствуют о регуляторных функциях этилена в жизни растений. Увеличение его содержания в клетках приводит к изменению скорости их роста.

**Задание.** Изучите влияние этилена на рост проростков томатов.

Естественно, геотропическая ориентация органов растений в непрерывно меняющихся условиях среды не может всегда оставаться постоянной. По мере формирования и распускания бутонов изменяется ориентация цветоножки, например у мака. Молодые ветки ели растут под более острым углом, чем старые.

Можно изучить смену отрицательного геотропизма цветоножек арахиса (земляного ореха) на положительный, вырастив его в комнатных условиях. После отцветания цветоножка арахиса, на которой сидит завязь, удлинится, загнется к земле и углубляется в нее. Таким образом, цветки находятся над землей, а плоды созревают в земле. Хотя это ограничивает способность вида к распространению, созревшие семена находятся в идеальных условиях для прорастания.

126

#### **50. Как поднимаются полегшие стебли ржи**

Затопление почвы, как это бывает после затяжных дождей или неправильного полива, может привести к полеганию зерновых культур из-за смены отрицательной геотропической реакции стеблей злаков на положительную. Вызванный этим изгиб стебля происходит своеобразно: он как бы надламывается и изгибается вниз. После улучшения аэрации почвы побег может снова приобрести отрицательную геотропическую настроенность и выпрямиться, при этом на стебле возникают своеобразные коленчатые изгибы.

Для опыта нужны произрастающие в природных условиях растения ржи в фазе колошения, 3 металлические шпильки или 6 деревянных колышков, с помощью которых можно прижать стебли к почве, 3 небольших стакана с водой.

На первом этапе выясните, в какой части горизонтально лежащего стебля может произойти геотропический изгиб, на втором изучите способность междоузлий к росту.

Металлическими шпильками или деревянными колышками осторожно прижмите к почве 3 растения ржи таким образом, чтобы стебель располагался горизонтально. У одного растения шпильку расположите под одним из нижних междоузлий, у второго — в средней части соломины, у третьего — непосредственно под колосом. Наблюдайте за растениями. Отметьте время (в сутках) и место проявления геотропической реакции (изгиб вверх).

127

Результаты опыта показывают, что полегший стебель ржи поднимается через несколько дней вертикально в результате формирования изгиба в основании одного из междоузлий (рис. 29). Если растение еще не окончило рост, изгиб может произойти в любом междоузлии. Это связано с тем, что у злаков каждое междоузлие в нижней своей части имеет зону делящихся клеток (вставочную меристему). Интенсивность деления и растяжения клеток верхних и нижних междоузлий различна.

Убедитесь в том, что каждое междоузлие соломины ржи растет самостоятельно, за счет собственной

меристемы. Из верхней части стебля вырежьте междуузлие так, чтобы верхний и нижний срезы прошли под близлежащими узлами соломины. Лист можно отрезать, но влагалище оставьте. Чтобы выяснить, в какой части междуузлия находится зона деления и растяжения клеток, разрежьте междуузлие поперек. Получите равные половины: нижняя — с узлом и влагалищем листа, верхняя — участок междуузлия.

Обе половины междуузлия поставьте в сосуд с водой, накройте стеклянной пластинкой. Через сутки сравните их длину: верхняя половина почти не изменится в размерах, следовательно, клетки ее уже закончили рост, нижняя увеличится в длине, при этом соломина заметно выдвинется из влагалища. Измерив прирост междуузлия за сутки, приблизительно определите скорость его роста.

Результаты опыта показывают, что нарастание стебля ржи в длину происходит путем деления и растяжения



клеток нижней части междуузлий. Так как в стебле злаков несколько междуузлий и каждое растет самостоятельно, геотропические изгибы могут происходить в любом из них, если ростовые процессы еще не прекратились.

Задание. Используя описанную выше методику, определите скорость роста нижних междуузлий, сравните ее со скоростью роста верхних.

Рис. 29. Геотропический изгиб стебля.

### 51. Изучение фототропизма растений

Растения при недостаточном освещении всегда растут в сторону света. Это явление носит название фототропизма, в данном случае — положительного.

Корни растений находятся в земле, свет для их роста не нужен, поэтому у большинства растений корни фототропически нейтральны. Но у ряда растений корни способны проявлять при освещении отчетливую отрицательную реакцию, изгибаясь от источника света.

Для опыта нужны семена растений семейства крестоцветных, например капусты, горчицы, сарептской, редиса посевного, опилки, невысокий стакан, кусочек пробки или пено-

129

пласта, фототропическая камера или черный колпак с небольшим отверстием для света.

Во влажных опилках вырастите проростки исследуемого растения таким образом, чтобы корешок был прямым. Для этого наклонившиеся семена зафиксируйте, как описано в опыте № 48. Можно также вырастить растение в пробирке. В кусочке пробки или пенопласта сделайте отверстие и пропустите в него корешок растения.

Пробку с укрепленным проростком поместите в стакан с водой и перенесите в темное место на сутки. За это время под действием силы земного тяготения корень вырастет отвесно вниз, а стебель вертикально вверх.

Измените условия освещения. Поставьте стакан с проростком в фототропическую камеру или накройте черным колпаком с расположенным сбоку отверстием для света. Уже через несколько часов можно заметить изменения в ориентации органов: стебелек начинает изгибаться в сторону света, а корень — в противоположную (рис. 30).

Проведите хронометраж опыта. Вскоре становится ясно, что в стебле затененная сторона растет быстрее, чем освещаемая, что приводит к изгибу в сторону источника света.

Наблюдая за развитием изгиба в корне, отметьте, что в нем быстрее происходит рост клеток освещаемой стороны. Торможение роста затененной стороны вызывает изгиб от света.

Противоположная реакция стебля и корня на одно и то же воздействие указывает на различие физиологических свойств клеток этих органов.

130

И в корне, и в стебле действие света воспринимается верхушкой органа, а изгиб происходит ниже, в той части, где клетки проходят фазу растяжения.

Установлено, что при неравномерном освещении стебля в нем происходит перераспределение гормона ауксина: до 75 % его перемещается на затененную сторону. Это приводит к усилению растяжения клеток и удлинению затененной стороны.

Рис. 30. Фототропизм стебля и корня горчицы.

В корне большую роль в торможении роста затененной стороны играет, вероятно, абсцизовая кислота, которая синтезируется в корневом чехлике и накапливается в большом количестве на затененной стороне.

Задание. Выясните, являются ли верхушки стебля и корня местом восприятия действия света. Для этого описанный выше опыт дополните еще одним вариантом с проростками, у которых удалена верхушка органа.

### 52. Движение корзинки подсолнечника

Интересной разновидностью фототропизма является гелиотропизм — движение органа вслед за движением солнца



Рис. 31. Гелиотропизм подсолнечника

Для опыта нужны растущие на открытом месте растения подсолнечника с раскрытыми и закрытыми соцветиями, компас, несколько листов бумаги, карандаш, отвес — нитка с привязанным небольшим грузом, например, гвоздем.

Лист бумаги через прорезь в нем наденьте на стебель растения и опустите на землю. С помощью компаса отметьте на бумаге направление сторон горизонта. К центральной части соцветия поднесите нить отвеса так, чтобы гвоздь острием почти касался бумаги. Проекцию отвеса отметьте на бумаге карандашом (в виде точки) и заметьте время. В течение дня через каждые час-два повторяйте измерения. Точки соедините, стрелкой укажите направление движения соцветия.

Наблюдения показывают (рис. 31), что раскрывшиеся желтые корзинки подсолнечника

132

в течение дня остаются неподвижными, ориентированными на восток, тогда как нераскрывшиеся зеленые корзинки поворачиваются за солнцем, совершая путь с востока на запад.

Этот опыт отчетливо показывает зависимость ростовых движений растений от возраста органа: изгибы органа возможны только до тех пор, пока клетки его проходят фазу растяжения. Клетки полностью дифференцировавшиеся тканей, в данном опыте — обертки раскрытого соцветия подсолнечника, уже не могут делиться, расти в длину и поэтому не обнаруживают движения.

Задание. Выясните, существует ли явление гелиотропизма у других растений.

### 53. Магнитное поле Земли и рост корня

Одно из наиболее таинственных движений растений — магнитотропизм — зависимость роста от действия магнитного поля Земли.

Для опыта нужны компас, семена любого вида растений, у которых видно направление роста зародышевого корешка, чашка Петри, фильтровальная бумага.

На дно чашки Петри уложите несколько слоев фильтровальной бумаги, обильно смочите ее и разделите поверхность на 2 части. В одной сухие семена положите таким образом, чтобы их зародышевые корешки были направлены точно к южному полюсу, во второй — к северному. Чашку закройте крышкой.

В большинстве случаев семена, ориентированные корешками к южному полюсу, прорастают быстрее. Во

133

втором варианте появившиеся корешки изгибаются в сторону южного магнитного полюса.

Результаты опыта показывают, что проростки растений способны ориентироваться в пространстве.

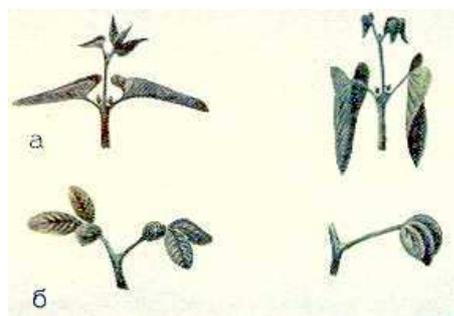
К сожалению, о механизме восприятия магнитного поля Земли и процессах, происходящих в клетках растений под его воздействием, крайне мало данных.

Задание. Изучите влияние магнитного поля Земли на скорость прорастания, направление роста зародышевых корешков различных видов растений. Выясните, как будет происходить рост зародышевых корешков при ориентации их на запад и восток.

### НАСТИИ

Помимо органов с радиальной симметрией, есть органы и с двусторонней симметрией — листья, усики некоторых растений (гороха посевного).

Благодаря различиям в строении, химическом составе клеток верхней и нижней сторон, они способны реагировать на диффузное, равномерное изменение условий среды вокруг листа, цветка. Движения такого типа называются настическими или просто настиями (от греч. «настое» — уплотненный). Термин возник в связи со способностью некоторых видов растений поднимать или опускать листья, плотно прижимая их друг к другу (рис. 32).



Названия настий, как и тропизмов, зависят от тех раздражителей, которые их вызывают. Различают фото-, термо-, никти-, хемо-, тигмо-, сейсмо-, электро-, травмонастии.

134

Рис. 32. Настические движения листьев фасоли (а) и донника желтого (б).

### 54. Наблюдения за движениями венчиков цветков

Для опыта нужны полоска миллиметровой бумаги длиной около 10 см, лист миллиметровой бумаги, цветущие растения: годоция крупноцветковая, деморфотека гибридная, ипомея пурпурная, маттиола двурогая, ноготки лекарственные, портулак крупноцветный, нивяник наибольший, табак душистый, эшшольция калифорнийская.

Никтинастии, обусловленные сменой дня и ночи, довольно медленные, плавные движения, поэтому определить среднее время открытия и закрытия цветка визуально не просто. Для получения более точных данных необходимо провести наблюдения за движением

135

лепестков в течение всего дня, лучше в солнечную погоду.

Основной показатель — расстояние между расположенными друг против друга лепестками венчика. Когда цветок закрыт, расстояние между лепестками минимально, по мере раскрытия венчика оно возрастает. Расстояние измеряйте полоской миллиметровой бумаги.

Опыт лучше начинать утром, когда венчики большинства цветков еще закрыты. Или, наоборот, раскрыты, как у табака душистого и магиолы двурогой.

Для наблюдения отберите 2 молодых цветка изучаемого вида. На цветоножки повесьте небольшие этикетки с номером растения.

Измерения проводите с интервалом в 1—2 ч, заканчивая их вечером.

Полученные данные используйте для составления графика движения лепестков венчика в течение дня. На оси абсцисс отложите часы суток, в которые были проведены измерения, на оси ординат — расстояние (мм) между противоположно расположенными лепестками венчика. На кривой, описывающей движение венчика в течение дня, отметьте время начала раскрывания венчика, полного открытия его и закрытия. Полученные данные сведите в таблицу и на ее основе составьте местный вариант цветочных часов.

Наблюдения показывают, что у исследованных видов растений венчики способны открываться и закрываться в определенное, характерное для данного вида, время суток. Изменение условий, например дождь, облачность, приводит к сдвигу в ритмах движений венчиков. Это явление получило образное название «сна растений».

136

У календулы лекарственной венчики раскрываются около 10 ч утра и к 19—20 ч закрываются. Иной характер этих движений у ослинника двулетнего.

У большинства растений движения отчетливо выражены только у молодых цветков, а лепестки старых либо совсем не двигаются, либо их движения имеют несколько другой характер. Например, у портулака крупноцветкового цветки начинают открываться в 9 ч утра и в 11 ч все уже открыты. Молодые цветки «бодрствуют» до 15 ч, а старые тут же начинают закрываться и в 14 ч уже все «спят». Поэтому грядки портулака выглядят оригинально: в 14 ч часть цветков закрыта, часть открыта.

Наблюдения за движениями одного и того же цветка в течение нескольких дней убеждают, что ритмические движения венчиков совершаются непрерывно до тех пор, пока цветок не состарится.

На рисунке 36 представлена запись движений венчика цветков картофеля в течение 3 дней. Каждый день цветки картофеля в 6—7 ч утра раскрывались и к 20—21 ч закрывались.

Способностью к движениям обладают и листья. Семязольные листочки лебеды раскидистой, томатов, перца овощного вечером поднимаются, а днем опускаются, подставляя листовые пластинки солнцу. Сходным образом ведут себя листочки сложных листьев клевера белого, горошка мышиного, кислицы, робинии лжеакации.

137

Перистые листья робинии лжеакации (белой акации) особенно чувствительны к суточным изменениям освещенности и температуры. В течение суток листочки их могут несколько раз менять свое положение. Утром они располагаются горизонтально, солнечный свет падает на всю поверхность листа. В полдень, когда интенсивность освещения возрастает, они

139

становятся ребром к солнечным лучам. С заходом солнца листочки свешиваются вниз.

Медленный, плавный характер многих никтинастий позволяет сделать вывод, что это ростовые движения. Если клетки верхней стороны лепестка растут быстрее, венчик раскрывается. Замедление их роста по сравнению со скоростью роста клеток нижней стороны лепестка приводит к закрытию цветка.

Этот вывод подтверждается и наблюдениями за способностью к движениям венчиков молодых и старых цветков.

141

В лепестках стареющих цветков клетки заканчивают растяжение, поэтому на изменение условий освещения реагируют слабее. Никтинастические движения листьев, а также лепестков некоторых растений представляют собой не ростовые, а тургорные движения. Движения листа происходят вследствие быстрого увеличения или уменьшения объема клеток, расположенных у основания органа.

Никтинастии — результат совместного влияния изменяющихся в течение суток освещенности и температуры. Большую роль играют также внутренние раздражения — характерный для них суточный ритм движений растения сохраняют, находясь в течение нескольких суток в условиях равномерного освещения и температуры.

Задание. Изучите ритмы фотонастических движений венчиков дикорастущих растений, например представителей семейства сложноцветных (ястребинки волосистой, кульбабы осенней, осота огородного). Сравните способность к движению молодых и старых цветков культурных и дикорастущих видов.

## 55. Термонастии цветка тюльпана

Для опыта нужны побеги тюльпанов, комнатный термометр, холодильник, часы.

Побеги с полностью раскрытыми цветками положите на нижнюю полку холодильника (около +5°C). Когда цветки полностью закроются, достаньте побеги из холодильника и перенесите в теплое помещение. Занесите в таблицу данные о времени, за которое лепестки открывались и закрывались.

142

Вид растения	Повторность	Продолжительность, мин	
		открытия	закрытия
Тюльпан	1		
	2		
	3		

Для вывода о механизме этого вида движений проделайте опыт с состарившимися цветками.

И в природных условиях цветки тюльпанов, крокусов, галантуса белого (подснежника), портулака крупноцветного в холодные дни не раскрываются.

Несомненно, термонастические движения лепестков играют защитную роль, предохраняя завязь и пыльцу от переохлаждения и переувлажнения. И это особенно важно для раннецветущих растений: крокусов, галантусов, которые из-за капризов погоды порой могут оказаться под снегом.

Задание. Сравните скорость термонастических движений портулака крупноцветного и эшшольции калифорнийской. Выясните зависимость скорости движений венчика от возраста цветков (считая первым днем день раскрытия бутона).

### 56. Как движутся листья кислицы обыкновенной и робинии лжеакации

У небольшой группы растений имеются специализированные — моторные, или двигательные — клетки. Благодаря особому механизму их работы, реакция листочков и чувствительных волосков на раздражающие стимулы может наступать уже через несколько секунд,

143

Эти сейсмонастические движения — ответная реакция растений на толчки, сотрясения (при ветре, дожде, прикосновении насекомых). Наиболее детально изучены движения листьев мимозы стыдливой — полкустарника с двоякоперистыми листьями родом из Бразилии. В нашей стране мимоза выращивается только в оранжереях. У мимозы днем листочки сложного листа и сам лист располагаются горизонтально. Если встряхнуть все растение, происходят одновременно 3 движения: главный черешок отгибается вниз, весь лист повисает, прижимаясь к стеблю; опускаются по направлению к главному черешку 4 листа; листочки сложного листа поднимаются вверх и прижимаются друг к другу (рис. 39). Эти движения у мимозы могут происходить и в медленном темпе, под влиянием смены дня и ночи.

Чувствительность мимозы удивительна. Если слегка ударить по какому-нибудь листу, волна возбуждения быстро распространяется по растению и листья начинают поочередно складываться.

В белорусской флоре тоже есть, хоть и менее чувствительные, но все же интересные в этом отношении растения — кислица обыкновенная, робиния лжеакация.

Для опытов необходимы растения кислицы, листья робинии лжеакации, часы, линейка, лист миллиметровой бумаги.

Кислица медленно раскрывает и складывает свои листья и лепестки венчика при смене дня и ночи (никтинастии) и намного быстрее в ответ на резкие механические (сейсмонастии) и температурные (термонастии) воздействия. Чувствительность кислицы по сравне-

144

нию с мимозой значительно ниже, поэтому легкого прикосновения к листу может быть недостаточно. Нужно слегка ударить палочкой по черешку листа. Отметьте начало опыта. Обратите внимание на поведение черешка, трех листочков сложного листа и частей листовой пластинки. Определите скорость реакции листьев на раздражение и скорость возврата в исходное состояние.

Графическое изображение движений листочков и их половинок облегчит восприятие и анализ результатов. Методика построения кривых описана в опыте «Наблюдения за движениями венчиков цветков», только интервал времени между двумя измерениями сократите до 1—2 мин. Лучше всего всю сложную систему движений листьев кислицы представить серией фотографий.

Исследование реакции листьев кислицы на механическое раздражение показывает, что реакция органа (складывание листьев) протекает немного быстрее, чем восстановление исходного состояния. Это характерная особенность процесса возбуждения всех клеток.

Рис. 39. Реакция мимозы стыдливой на раздражение.



Обращает на себя внимание согласованность движений черешка, листочков и половинок листовой пластинки. Координация их обусловлена преобразованием механического раздражения в электрический сигнал. Он быстро распространяется по растению (у мимозы, например, скорость его передвижения около 2 см/с) и доходит до основания черешков. У основания черешка листа и черешков сложных листьев имеются особые утолщения — листовые подушечки (рис. 40) со специализированными моторными (двигательными)

Рис. 40. Срез сочленовой подушечки мимозы.

клетками. Под влиянием электрических сигналов резко изменяется проницаемость мембран,

145

вода выталкивается из вакуолей в межклетники и клетки быстро теряют тургор. Поэтому сейсмонастические движения относят к группе тургорных движений. Уменьшение или увеличение объема листовых подушечек вызывает опускание и поднятие листьев кислицы, мимозы.

К группе тургорных движений относятся и никтинастии сложных листьев робинии лжеакации, различных видов клевера. Убедимся в этом.

Лист робинии лжеакации, листовая пластинка которого полностью развернута, поместите на несколько минут в стакан с водой, затем достаньте его и положите на стол.

146

Постепенно происходит обезвоживание листа, в том числе моторных клеток листовых подушечек. В результате начинается движение листочков сложного листа, они поднимаются вверх и складываются. Вновь поставьте лист в воду, наблюдайте за восстановлением тургора.

Задание. Выясните, существует ли зависимость сейсмонастических движений от возраста листа.

### 57. Влияние ауксина на закручивание усиков гороха

Впервые этот опыт был проведен американским ученым А. Гэлстоном.

Для опыта необходимы растения гороха посевного с усиками на листьях, 50 мл раствора ауксина (гетероауксина) концентрацией 150 мг/л, 3 пробирки, 3 чашки Петри, деревянная палочка.

Ауксин плохо растворяется в холодной воде, поэтому раствор нужно готовить накануне опыта. Для получения нужной концентрации растворите 8 мг ауксина в 50 мл воды, нагревая до 80—90 °С. Ауксин (гетероауксин) можно приобрести в магазинах бытовой химии.

В стоящие в штативе пробирки с водой осторожно, не прикасаясь к усикам, поместите отрезки стебля гороха, несущие листья с молодыми, еще не закрученными усиками.

Рядом с пробирками поставьте 3 чашки Петри. В первые две налейте воду, в третью — раствор ауксина.

Концы усиков осторожно опустите в подготовленные чашки так, чтобы они не касались края.

147

Усик, находящийся в первой чашке, — контрольный. Если предыдущие этапы работы выполнены аккуратно, то он до конца опыта не закручивается.

Нижнюю сторону верхушки второго усика несколько раз слегка потрите палочкой, имитируя соприкосновение усика с опорой. Под влиянием раздражения он начнет постепенно закручиваться.

Усик же, опущенный в раствор ауксина, начинает закручиваться самопроизвольно, без дополнительного раздражения.

У гороха посевного в усик превращается верхняя часть сложного перистого листа, поэтому, как и лист, усик дифференцирован на верхнюю и нижнюю стороны, различающиеся по строению и свойствам. Поступающие из раствора дополнительные количества ауксина стимулируют рост только верхней стороны, что и приводит к закручиванию усика.

Перераспределение ауксина, увеличение его содержания в клетках верхней стороны усика — ответная реакция его на прикосновение.

Самой высокой степенью раздражимости обладает верхняя треть усика, причем у гороха — нижняя его сторона. У некоторых растений чувствительность усиков настолько высока, что они могут воспринимать раздражение от прикосновения шерстяной, нитки массой 0,025 мг.

Таким образом, результаты проведенного опыта показывают, что закручивание усика гороха посевного регулируется ауксином.

148

Задание. Проведите наблюдения за движениями усиков огурца посевного и тыквы обыкновенной, которые в отличие от усиков гороха являются видоизмененными побегам, т. е. имеют не двустороннюю, а радиальную симметрию. В какой части их усиков располагается зона, воспринимающая раздражение? Одинакова ли чувствительность различных сторон (пометьте одну из них краской)? Какова скорость закручивания усиков?

### 58. Хмель завивается...

Широко распространены у растений круговые или колебательные движения верхушки стебля — нутации. В большей или меньшей степени они характерны для верхушек всех молодых растений, но наиболее отчетливо выражены у вьющихся. Благодаря непрерывным круговым движениям верхушки (у хмеля диаметр круга, описываемого верхушкой, достигает 50 см) растение обвивается вокруг опоры.

Направление движения у различных видов не одинаково: для одних (хмель обыкновенный) характерно правое (по часовой стрелке), для других (фасоль многоцветковая, вьюнок полевой) — только левое (против часовой стрелки), у третьих (горец вьюнковый) возможно вращение в обоих направлениях. Любопытно, что у растений преобладает левовинтовое движение.

Определите направление и скорость движения верхушки стебля хмеля обыкновенного.

Для опыта нужны молодые вьющиеся растения хмеля обыкновенного, картон или фанера (20X20 см), бумага (20X20 см), отвес (нитка, к которой за шляпку привязан гвоздь), часы, кнопки.

149

Около стебля растения положите лист картона с приколотой чистой бумагой. В картоне сделайте прорезь, чтобы зафиксировать стебель. К верхушке растения, не касаясь ее, поднесите отвес так, чтобы гвоздь острием почти касался бумаги. Проекцию отвеса отметьте на бумаге карандашом в виде точки и заметьте время. Каждые

10—30 мин повторяйте измерения. На бумаге стрелкой укажите направление движения. Окончите опыт, когда верхушка побега завершит оборот.

Скорость вращения довольно велика. Например, в одном из опытов верхушка хмеля описала круг диаметром 33 см за 2 ч

В основе вращения лежит неравномерный рост клеток внешней и внутренней сторон органа, причем усиление роста идет по оси Нутации — пример автономных, или эндогенных, движений, которые регулируются внутренними процессами, имеющими ритмичный характер, т. н. биологическими часами

Задание. Выясните, зависит ли скорость вращения верхушки хмеля от возраста растения, погодных условий.

## РАСТЕНИЯ ОСЕНЬЮ И ЗИМОЙ

Большая часть территории Советского Союза расположена в зоне умеренного и холодного климата, для которого характерны длительные относительно сильные морозы до  $-20^{\circ}\text{C}$ , а в отдельных районах Восточной Сибири до  $-68^{\circ}\text{C}$ . Районов, где совсем бы не было зимы, в Советском Союзе нет.

Понижение температуры ниже нуля создает серьезные трудности для выживания растений. У большинства видов ростовые процессы могут идти только в интервале температур от  $-5$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ , а фотосинтез и накопление органического вещества—от  $+5$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Жизнедеятельность растений прекращается зимой потому, что из замерзшей почвы в растения перестают поступать вода и минеральные соли. В периоды длительных морозов гибель тканей растения наступает от повреждающего действия кристаллов льда, образующихся в межклетниках и цитоплазме клеток.

Приспособление растений к выживанию в экстремальных условиях шло в процессе эволюции различными путями.

151

Так, однолетние травянистые растения заканчивают свой жизненный цикл до наступления морозов и зимуют в виде семян, клубней, луковиц, находящихся в состоянии покоя.

Травянистые многолетники с отмирающими на зиму листьями зимуют в виде заглубленных в почву корневищ (осот полевой, хвощ полевой, пырей ползучий).

Многие травянистые растения уходят под снег с листьями, а ранневесенние растения (хохлатка, ветреница) даже способны к подснежному росту.

Деревья и кустарники с наступлением холодов переходят в состояние покоя. Листопадные породы предварительно сбрасывают листву.

Переход от активного роста летом к глубокому покою зимой происходит постепенно, в течение осеннего сезона. Изменение условий внешней среды, прежде всего продолжительности дня, вызывает перестройку гормонального режима растений: постепенно уменьшается содержание гормонов, стимулирующих рост, и увеличивается количество ингибиторов роста (этилена, абсцизовой кислоты). Не случайно абсцизовую кислоту называют гормоном стресса, а этилен — гормоном старения. Увеличение содержания ингибиторов роста приводит к снижению интенсивности обмена веществ и постепенной остановке роста. Формируются приспособления, повышающие устойчивость растений к морозам: сбрасывание листвы, накопление Сахаров и других водорастворимых веществ, обезвоживание клеток, переход растений в состояние покоя.

152

## ЛИСТОПАД И ВЕТВЕПАД

Характерной чертой осеннего состояния природы является, конечно, листопад, а у некоторых растений — и ветвепад.

Отделение листа происходит в области специализированной ткани, где у основания черешка формируется отделительный слой толщиной в 2—3 клетки. У одних растений под действием ферментов пектиназ, синтезирующихся к этому времени в клетках отделительного слоя, растворяется межклеточное вещество, соединяющее клетки. У других — кроме пектиназ, синтезируется еще и фермент целлюлаза. Он расщепляет целлюлозу клеточных оболочек, что приводит к растворению клеток. Результат — желтые листья под ногами, иногда целые ветви, оказавшиеся «лишними».

### 59. Искусственный листопад

Для опыта нужны 2—4 побега караганы древовидной или робинии лжеакации, несколько зрелых яблок, 2 стеклянных колпака, 2 стакана.

В стаканы с водой поместите по 1—2 побега караганы древовидной. Листья должны быть зелеными, без признаков пожелтения, но не слишком молодыми (среднего и нижнего ярусов), так как этилен проявляет свое действие при предрасположенности ткани, в данном случае черешка, к старению. Накройте стака-

153

ны колпаками. Под один из них положите несколько зрелых яблок. Через 5—6 дней в варианте опыта с яблоками начнется пожелтение и опадение боковых листочков сложного листа. Несколько позже опадет и главный черешок. В другом варианте листья остаются зелеными.

Результаты опыта позволяют сделать вывод, что газообразные выделения зрелых яблок стимулируют образование отделительного слоя в черешке и преждевременное опадение листьев.

Как мы уже знаем, этим газообразным веществом является этилен. Он синтезируется в околоплоднике в

период созревания плодов, где стимулирует накопление сахаров, разрушение хлорофилла и синтез антоцианов, а также распад соединяющего клетки межклеточного вещества.

У яблонь синтез этилена созревающими плодами и выделение его через межклетники усиливается после сбора плодов. Поэтому для проведения описанного опыта яблоки более удобны, чем другие сочные плоды.

Помимо созревания плодов, этилен, как показывают результаты проведенного опыта, регулирует и опадение листьев.

Задание. Выясните, стимулируют ли образование отделительного слоя плоды других видов растений, например, томатов, земляники садовой, черники. Изучите влияние этилена на продолжительность жизни листьев комнатных растений. При этом имейте в виду, что у этих растений листопада может и не быть. Довольно часто о гибели листьев свидетельствует их побурение.

154

### 60. Опадение листьев под влиянием табачного дыма

Для опыта нужны 2—4 побега караганы древовидной, 2 стеклянных колпака, табак, чашечка для сжигания табака, 2 стакана.

В стаканы с водой поставьте по 1—2 побега караганы. На них должны быть не только молодые (верхушечные), но и более старые листья среднего и нижнего ярусов. Вместо побегов караганы древовидной (у нее сочленения боковых листочков сложных листьев реагируют на увеличение содержания этилена в воздухе) можно использовать побеги любых комнатных растений. Накройте стаканы стеклянными колпаками. Под одним из них сожгите часть сигареты. Воздух под колпаком заполнится табачным дымом. Нужно позаботиться о том, чтобы не было утечки дыма из-под стеклянного колпака (поставить растение и колпак на подставку из стекла).

Наблюдая за растениями, убедитесь, что у побегов, находящихся в атмосфере табачного дыма, через несколько дней начинается опадение листочков сложных листьев (рис. 42).

Табачный дым неблагоприятно действует не только на растения. В нем содержится более 90 органических веществ, многие из которых оказывают на организм человека еще более сильное отрицательное воздействие, чем никотин. Например, содержание ацетона в табачном дыме превышает допустимые для человека дозы в 74 раза, содержание таких активных канцерогенов, как бензпирен, стирол, превышает допустимые дозы в 1037 раз, 2-метил-пропаналя — в 513 раз. Среди веществ, кото-

155



Рис. 42. Влияние табачного дыма на листопад робинии лжеакация.

рые выделяются при сгорании табака, есть и этилен. Именно он воздействует на клетки черешков листьев, вызывая преждевременное формирование отделительного слоя и опадение листьев.

Результаты изучения влияния газообразных выделений плодов и табачного дыма показывают, что первыми начинают опадать нижние, более старые листья. Это связано с тем, что в молодых органах велико содержание ауксина, листья прочно удерживаются на побегах и клетки отделительной ткани черешков медленнее реагируют на увеличение содержания этилена.

Осень — пора массового листопада. Следовательно, растения получают

156

какой-то общий для всех сигнал, по которому начинает формироваться отделительный слой в черешках листьев. Если растение по какой-то причине такого сигнала не получит, морозы застанут его неподготовленным к зиме.

В условиях Белоруссии не успевает сбросить листву до наступления холодов робиния лжеакация, погибают от морозов в фазе активного цветения георгины культурные, хризантемы.

Установлено, что переход древесных растений от активной вегетации к зимнему покою регулируется изменением продолжительности светового периода в течение суток. Если в июле в средних широтах продолжительность дня составляет 16—17 ч. то в сентябре она уменьшается до 11—14 ч. а в октябре — до 9—11 ч.

Задание. Попытайтесь изучить взаимосвязь уменьшения продолжительности светового дня и перехода растений в состояние покоя.

### 61. Береза — растение комнатное!

Для опыта нужны семена березы бородавчатой, светоустановка для дополнительного освещения растений, горшки с почвой.

Соберите осенью семена березы бородавчатой. Весной посейте их в горшки. Через год разделите их на 2 группы по 4—6 растений в каждой. Растения первой группы выращивайте при естественном освещении (контрольные растения).

Саженцам второй группы создайте условия постоянного длинного дня—15 и более часов освещения

157

в сутки. Для соблюдения этого условия, начиная с середины августа, дополнительно подсвечивайте растения в течение 1—3 ч. Опыт продолжайте до начала листопада у берез в природных условиях.

Если условия освещения соблюдены, березы, выращиваемые в условиях длинного дня, к листопаду не

приступят, хотя у другой, контрольной группы, пожелтение и опадение листьев произойдет одновременно с растениями в природе.

Прекратив дополнительную подсветку, переведите растения на характерный для данного месяца короткий день. Под влиянием короткого фотопериода в черешках листьев сформируется отделительный слой, листья опадут.

Продолжите опыт. Контрольные растения, успешно и вовремя закончившие листопад, разделите на 2 группы. Растения одной из них пересадите из горшков в почву, а вторую оставьте зимовать в тепле. В конце апреля — начале мая у деревьев, растущих вне помещения, начнут распускаться почки, а комнатные березки по-прежнему будут оставаться в состоянии покоя, без листьев. Вывести их из ЭТОГО состояния можно только длительным, в течение 2-3 месяцев, воздействием низких температур.

Таким образом, выращивать березу в домашних условиях очень сложно. Листопад — обязательный этап онтогенеза всех листопадных видов растений. Главное условие его начала — укорочение светового дня, которое является сигналом приближения зимы. Обычно для формирования отделительного слоя в черешках

158

листьев растениям достаточно 10—15 коротких дней.

Возникает вопрос: каким образом растения определяют продолжительность дня?

Восприятие действия света осуществляется голубоватым пигментом фитохромом. Фитохром локализован в поверхностной мембране клетки, эндоплазматической сети и других мембранах. Общее количество фитохрома в клетках ничтожно по сравнению с содержанием хлорофилла. Фитохром — регуляторный пигмент, который координирует прохождение растением практически всех этапов онтогенеза, в том числе листопада и перехода в состояние покоя.

В мембранах клетки фитохром находится в двух взаимопревращаемых формах. Одна форма голубого цвета имеет максимум поглощения в светло-красной области спектра с длиной волны 660 нм ( $\Phi_{660}$ ), а вторая — в темно-красной области спектра с длиной волны 730 нм ( $\Phi_{730}$ ). При освещении светло-красным светом  $\Phi_{660}$  превращается в  $\Phi_{730}$ , который малоустойчив и в темноте постепенно возвращается в исходную форму  $\Phi_{660}$ . Более быстро возврат происходит при освещении растений темно-красным светом (длина волны 730 нм). Свет волны длиной 730 нм — это дальние красные лучи, граничащие с невидимой инфракрасной частью спектра, поэтому одна форма фитохрома получила название фитохром 730 дальний красный ( $\Phi_{дк}$ ), а другая форма — фитохром 660 красный ( $\Phi_{к}$ ).

Таким образом, в течение дня в листе постепенно накапливается фитохром дальний красный.

159

Именно эта форма является физиологически активной. Ее количество определяется продолжительностью дня. Когда количество активной формы фитохрома достигает критического уровня для данного вида, происходит переход от одного этапа развития к другому. В данном случае идет усиление синтеза этилена, ферментов, формирующих отделительный слой, и, в конечном итоге, опадение листьев, переход растений в состояние покоя (рис. 43).

У каждого вида растения своя критическая длина дня, приводящая в действие фитохромную систему. Причем, как выяснилось, главную роль играет не продолжительность светового периода как таковая, а именно укорочение его. Поэтому, хотя все особи одного вида приступают к листопаду практически одновременно, у разных видов эти сроки различны, но не случайны. Критическая длина дня обусловлена климатическими условиями, в которых данный вид в процессе эволюции сформировался. Переход в состояние покоя должен начаться не слишком рано, так как это приведет к истощению растения, но и без опоздания, чтобы перестройка организма закончилась к моменту наступления неблагоприятных условий.

В субтропиках СССР, на юге Европы благоприятные климатические условия позволяют начать подготовку к зиме значительно позже, чем в средней полосе. Поэтому южные виды, выращиваемые в условиях средней полосы СССР, например робиния лжеакация, хризантемы, не начинают этой подготовки до тех пор, пока длина дня не уменьшится до критической

160

величины. И конечно, запаздывают: листья их остаются зелеными до первых морозов.

Интересно, что деревья, растущие возле уличных фонарей, осенью дольше остаются зелеными, что объясняется увеличением продолжительности светового периода в течение суток.

Задание. На чернике, голубике изучите зависимость наступления листопада от продолжительности дня.

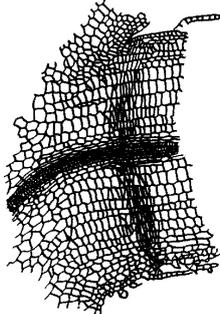


Рис 43 Отделительный слой у основания листового черешка.

## 62. Как сохранить естественную окраску засушиваемых цветов

Искусственное прекращение жизни растения до формирования отделительного слоя лежит в основе приготовления зимних букетов. Чтобы сохранить осенние ветки с красиво окрашенными листьями, осторожно прогладьте листья и черешки горячим утюгом через бумагу. Если отделительный слой еще полностью не сформирован, проглаженные листья будут долго держаться на ветках.

Тот же принцип лежит в основе метода объемного засушивания цветков в горячем песке. Помимо температурного воздействия, для приготовления объемных букетов можно применить другие приемы.

161

Для опыта нужны цветущие побеги роз, астр, хризантем и других растений с плотными мелкоцветными соцветиями, ящик (сосуд), который можно плотно закрыть, ложечка для сжигания серы.

Свежесрезанные побеги свяжите попарно и подвесьте «головками» вниз в хорошо закрывающемся ящике. Удобно проводить опыт в пустом аквариуме или под стеклянным колпаком. В ящик внесите горящую серу. Сернистый газ обладает раздражающим действием, поэтому при выполнении опыта необходимо соблюдать правила техники безопасности: опыт проводить в хорошо проветриваемом помещении, под тягой или вне помещения. После того как ящик заполнится сернистым газом, закройте его крышкой. Через несколько часов под действием  $\text{SO}_2$  сначала обесцвечиваются антоцианы цветков (они становятся белыми), затем погибают клетки. Извлеките побеги из ящика (растения с травянистыми стеблями выдерживайте меньше, с одревесневшими — дольше) и развесьте для проветривания и сушки в хорошо вентилируемом, затененном месте. По мере улетучивания сернистого газа восстанавливается окраска цветков. Так как ткани лепестка погибли в результате обработки, далее при высушивании цветков отделительный слой уже не образуется и лепестки не опадают. Для лучшего сохранения формы высушенного соцветия его можно периодически переворачивать.

К концу высушивания цветки уменьшаются в объеме, но сохраняют свой цвет и форму. 162

### 63. Влияние листовой пластинки на длительность жизни черешка

Было установлено, что листовая пластинка играет важную роль в формировании отделительного слоя в черешке.

Для опыта нужен горшок с комнатным растением (пеларгония зональная), ауксиновая паста.

Выберите на растении несколько (по 4—6) молодых и старых листьев, причем лучше использовать верхние и нижние листья одного побега.

На выбранном побеге (чем он длиннее, тем больше разница в возрасте между верхними и нижними листьями) удалите у половины листьев листовые пластинки, оставив на стебле черешки. Делайте это так, чтобы по всей длине побега обрезанные листья чередовались с неповрежденными.

Через 2—3 недели станут заметны результаты опыта. Оставшиеся без листовой пластинки черешки постепенно начинают желтеть и опадать. Причем не все одновременно, а последовательно, в соответствии с возрастом: сначала старые, затем более молодые. Отметьте дату опадения каждого черешка, занесите данные в таблицу. У контрольных листьев никаких видимых изменений не происходит. Они продолжают оставаться зелеными, прочно удерживаются на стебле.

Таким образом, результаты опыта показывают, что вещества, поступающие в черешок из листовой пластинки, регулируют срок образования в нем отделительного слоя.

Казалось бы, черешки должны жить и без

163

листовой пластинки. Клетки черешков содержат хлоропласты, в которых идет процесс фотосинтеза, образуются органические вещества в количестве, достаточном для их питания. Однако, взаимодействие листа и черешка более сложное. Результаты описанного ранее опыта «Искусственный листопад» показывают, что скорость формирования отделительного слоя у основания черешков регулируется количеством этилена в них. Продолжительность жизни черешка без листовой пластинки значительно короче, следовательно, в изолированном черешке ускоряется синтез этилена и формирование отделительного слоя.

Важную роль в торможении синтеза этилена в отделительной ткани черешка играет ауксин, который синтезируется в делящихся клетках листьев и поступает в черешки. Стареющие листья вырабатывают ауксина меньше, что приводит к изменению количественного соотношения ауксина и этилена в пользу последнего. Поэтому черешки старых листьев опадают быстрее.

Чтобы убедиться в роли листовой пластинки как источника ауксина, несколько видоизмените опыт. На новом побеге удалите у части листьев, чередуя, листовые пластинки. Срезы половины черешков смажьте ауксиновой пастой (методика ее приготовления описана в опыте № 31). Наблюдения показывают, что обработанные черешки опадают позже. Ауксин заменяет черешкам листовую пластинку.

Задание. Летом и осенью изучите влияние удаления листовой пластинки на опадение черешков у листопадных деревьев и кустарников.

164

### 64. Получение растительного волокна

Упавшие на влажную землю осенние листья, как и отмершие стебли однолетних растений, постепенно чернеют под действием ферментов, выделяемых почвенными бактериями и грибами. Происходит разрушение тканей и клеток органов. Распад идет в определенной последовательности: сначала отмирает межклеточное вещество, которое соединяет соседние клетки, затем оболочки и протоплазма. Клетки сосудов и механических волокон, входящих в состав жилок листьев, благодаря толстым клеточным оболочкам более устойчивы. Поэтому поздней осенью и ранней весной в лужицах на лесных дорогах, в парках, как только сойдет снег, можно найти черные листья, у которых мягкие ткани перегнили и остался только кружевной «скелет» (рис. 44).

Неодновременность разложения микроорганизмами паренхимных клеток и жилок издавна использовалась человеком для получения из растений волокон и изготовления тканей.

Растительные волокна — это длинные клетки с очень толстой клеточной оболочкой, образующие механическую ткань растения. Волокна входят в состав проводящих пучков стеблей, корней, листьев

прядильных растений. Самое распространенное из них в Белоруссии — лен, из стеблей которого получают очень тонкое и прочное волокно. В стеблях конопли посевной волокно более толстое, ломкое, поэтому оно используется для изготовления веревок, канатов, парусины. Еще более грубое, но прочное волокно дают стебли джута длиннолистного, выращиваемого в Индии. Оно используется для изготовления мешковины.

165

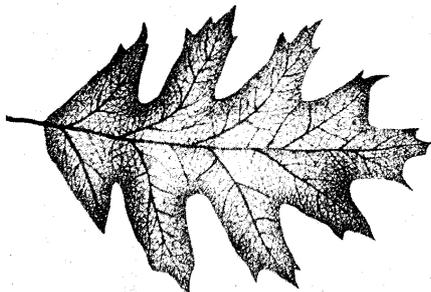


Рис. 44. «Скелет» листа.

Древнейшим прядильным растением была крапива двудомная. Из ее волокон делали прочные нитки для изготовления чулок, полотна.

Хорошо известна сказка о девушке, которая, чтобы спасти братьев от злых чар, должна была в короткий срок сплести рубашки из крапивы.

Хлопковое волокно (составляет более 50% мирового производства волокна) — длинные и прочные волоски, окутывающие семена хлопчатника.

Волокно можно получить из некоторых растений с длинными листьями, имеющими дуговое и параллельное жилкование. Например, из листьев банана волокнистого получают манильскую пеньку, которая идет на

166  
изготовление веревок, мешковины. Из листьев агавы американской — волокно «сизаль», используемое на веревки, шпагат, ковбойские лассо. На острове Шри Ланка в этих целях получают волокно из листьев сансевьера, а в южной Америке — из листьев алоэ.

Крапиву для прядильных целей заготавливают, как и лен, в конце августа — сентябре, когда созрели семена, стебли приобрели желтый или темный цвет.

Срезанные стебли подсушите в течение нескольких дней, чтобы было легче удалить листья, свяжите в пучки и погрузите в речную или прудовую воду. В ней всегда имеются микроорганизмы, способные к разложению органического вещества (от 10 до 400 тыс. бактериальных клеток в 1 мл воды). Водопроводной же воде нужно дать отстояться несколько дней для удаления остатков дезинфицирующих веществ.

Постепенно под действием ферментов, вырабатываемых водными микроорганизмами, происходит разложение межклеточного вещества.

Спустя 1—2 недели волокон уже легко отделяются от остальных клеток стебля.

Описанный способ получения волокна из стеблей крапивы — вариант так называемой водяной мочки стеблей прядильных растений. При этом мацерация (разъединение клеток в результате разрушения межклеточных пластинок) осуществляется анаэробными бактериями. Главная роль принадлежит бактериям *Clostridium pectinoforum*. Название означает, что бактерии способны к расщеплению пектиновых веществ — основного компонента межклеточного вещества. Образующиеся растворимые углеводы расходуются

167

бактериями на процессы брожения и роста.

Познакомимся поближе с этими бактериями.

Мертвые перегнивающие ткани растений несут огромное количество разнообразных бактерий. Чтобы выделить нужную группу, надо поставить опыт так, чтобы в питательной среде мог развиваться только один, интересующий исследователя вид бактерий.

Для опыта приготовьте снопик крапивы высотой 5—6 см, составленный из нескольких стебельков, пробирку, микроскоп, предметное и покровное стекла, раствор Люголя.

Перевяжите снопик нитками в двух местах, поместите в большую пробирку, залейте полностью водой и прокипятите в течение 10 мин. Смысл этого этапа работы в удалении из клеток растворимых веществ, которые могут быть использованы для питания посторонними бактериями. Воду слейте, а снопик залейте новой порцией воды и прокипятите еще раз в течение 10 мин. При кипячении из воды удаляется кислород.

Пробирку закройте ватным тампоном и поставьте на 6—7 дней в теплое место (25—30 °С).

На поверхности стеблей крапивы, льна и других растений всегда имеются споры пектиноразрушающих бактерий. Они образуются в бактериальных клетках при наступлении неблагоприятных условий. При кипячении споры не погибают, и в питательной среде уже через несколько часов из них вырастают жизнеспособные, активно делящиеся клетки. Постепенно в пробирке начинается процесс брожения пек-

168

тиновых веществ, в результате которого образуется масляная кислота (имеет характерный запах прогорклого масла), углекислый газ и водород. От выделяющихся газов жидкость пенится. Полностью брожение заканчивается через 1,5—2 недели.

Для изучения морфологии бактерий через 3—5 дней достаньте снопик из пробирки и отожмите каплю жидкости на предметное стекло. Добавьте каплю раствора Люголя, накройте покровным стеклом и рассмотрите под микроскопом на большом увеличении. На препарате видны крупные палочковидные клетки, окрашенные йодом в синий цвет.

Проведя эти наблюдения, вы убедитесь, что разложение растительных остатков происходит при активном участии микроорганизмов.

Мацерация тканей под действием ферментов, выделяемых микроорганизмами, — процесс достаточно длительный. В лабораторных условиях ее можно провести быстрее, используя искусственные способы разрушения пектиновых веществ межклеточных пластинок. Примените их для получения волокон из листьев комнатных растений: сансевьеры трехполосной, агавы американской, алоэ древовидного, куркулиги наклонен-

ного.

Самый простой способ — механический. Вот описание древнейшего метода получения волокна из листьев сансевьеры из книги Н. Верзилина «Путешествие с домашними растениями»: «Сансевьера растет в диком виде на острове Цейлон (совр. назв. Шри-Ланка.— *Прим. ред.*), но возделывается с древних пор в Индии как

169

волокнистое растение. Индусы добывают волокна вручную. Положив лист сансевьеры на доску, прижимают ее ногой, а руками сдирают часть листа до волокна».

Частичное разрушение пектиновых веществ происходит при кипячении листьев в воде. Из обработанных таким образом листьев волокна легко выделить вручную или вычесать гребнем.

Мацерация пройдет быстрее, если лист или часть его осторожно прокипятить в течение 5 мин в 1-процентной HCl. После пребывания листа в соляной кислоте тщательно промойте его водой и, подложив ткань, выбейте мякоть осторожными ударами жесткой щетки либо вычесайте гребнем с редкими зубьями.

170

Волокна, полученные из листьев и стеблей, имеют сероватый цвет, из них можно сплести веревочку, изготовить полотно.

Задание. Соберите осенью стебли льна, конопли, выделите волокна, сравните их длину и эластичность.

## ОСЕННИЕ КРАСКИ

Непременный признак осени — изменение цвета листы, которое совпадает с началом формирования отделительного слоя. У каждого вида растений своя, характерная окраска листы. У ольхи, робинии осенняя окраска выражена слабо. Листы липы — желто-зеленого цвета, тополей и берез — желтого. Прекрасны окрашенные в красные тона листы дуба красного, ирги канадской, груши обыкновенной, бересклета европейского.

Это многообразие оттенков обусловлено различным сочетанием в осенних листьях трех групп пигментов: желто-оранжевых каротиноидов, зеленых хлорофиллов и красных антоцианов.

Изменение окраски листьев всегда начинается с прекращения синтеза хлорофилла. Имеющийся в хлоропластах хлорофилл начинает постепенно разрушаться: у одних видов — полностью (листья дуба), у других — частично (слива).

В хлоропластах зеленых листьев всегда присутствуют 2 группы пигментов: зеленые

171

хлорофиллы и желто-оранжевые каротиноиды. Каротиноиды маскируются хлорофиллом, поэтому в зеленых листьях не заметны. В отличие от хлорофиллов, каротиноиды более устойчивы, осенью распад их идет гораздо медленнее, а у некоторых видов количество их даже возрастает. В конечном итоге цвет листа будет зависеть от того, способен ли данный вид к синтезу в листьях антоцианов.

У деревьев и кустарников, не образующих в листьях антоцианы, в результате осеннего распада хлорофилла становятся заметными каротиноиды, листья приобретают различные оттенки желтого, желто-зеленого цвета.

### 65. Влияние условий освещения на пожелтение листьев

Различные факторы внешней среды (освещенность растений, температура воздуха, водоснабжение) оказывают влияние на окраску листьев. Например, в зависимости от погодных условий цвет листьев клена меняется от желтого до пурпурно-красного.

Для опыта нужны листья нижних ярусов настурции большой, которые уже закончили рост, но еще не имеют внешних признаков старения, стакан, лист черной бумаги.

Половину листовой пластинки закройте с двух сторон черной бумагой. Лист поместите в стакан с водой и поставьте в хорошо освещенное место. Спустя 4—5 дней снимите бумагу, сравните цвет половинок листа. Хорошо заметны различия в окраске: освещенная часть зеленая, а затемненная — желтая.

172

Результаты опыта свидетельствуют, что снижение интенсивности и продолжительности освещения листьев ускоряет распад молекул хлорофилла в хлоропластах.

У разных видов растений скорость распада хлорофилла различна. Это проявляется в неодновременности развития осенней окраски. Например, у шелковицы белой разрушение хлорофилла происходит медленно, в течение 60 дней, а у магнолии быстрее — за 35 дней.

Задание. Сравните устойчивость хлорофилла в листьях различных видов растений, в молодых и старых листьях.

### 66. Необходимость кислорода для разрушения хлорофилла

Стареющий, но еще сохранивший зеленый цвет лист любого светлюбивого растения опустите в стакан с водой так, чтобы только половина его находилась под водой.

Для этого закрепите лист в прорези укрывающей стакан плотной бумаги или пропитанной парафином марли. Стакан поставьте в темное место.

Через 3—5 дней станут заметны различия в окраске листа: находившаяся-

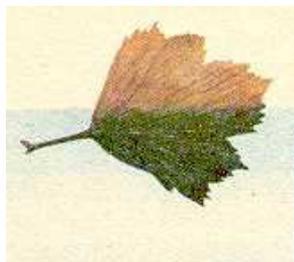


Рис. 46 Необходимость кислорода для разрушения хлорофилла.

ся в воде часть сохранит зеленый цвет, другая—пожелтеет (рис. 46).

Уменьшение скорости распада хлорофилла в той части листа, которая находилась в воде, свидетельствует, что в разрушении хлорофилла важную роль играет процесс дыхания. Содержание кислорода в воде намного ниже, чем в воздухе.

### 67. Искусственная осень

Многие виды растений одновременно с распадом хлорофилла синтезируют и накапливают в вакуолях клеток красный пигмент антоциан. У таких растений цвет листьев будет определяться сочетанием желто-оранжевых каротиноидов, красных антоцианов и остаточных количеств хлорофилла.

Ярко-красная окраска листьев бывает, однако, далеко не каждую осень у тех видов, для которых она характерна. Необходимы определенные условия: ясная солнечная погода, достаточно высокие дневные температуры, прохладные ночи.

В ясные солнечные дни в листьях еще довольно интенсивно идет процесс фотосинтеза, накапливаются углеводы, но отток органических веществ из листа затруднен как пониженными ночными температурами, так и началом формирования отделительного слоя. В листе накапливается некоторый избыток Сахаров, которые и способствуют синтезу антоцианов.

Для опыта нужны растущие в естественных условиях растения, синтезирующие антоцианы в листьях: виноград девичий пятилисточковый,



Рис. 47. Искусственная осень.

174

дерен красный, клен остролистный, груша и др.

В конце июля — начале августа на побеге растения сделайте поперечный, надрез примерно на 2/3 древесины

Спустя 2—3 недели сравните цвет листьев на надрезанном и неповрежденном побегах

Листья, расположенные на побеге выше надреза, приобретут ярко-красную окраску, тогда как на остальном растении они сохраняют зеленый цвет (рис 47) Причина преждевременного усиления синтеза антоцианов в избыточном накоплении Сахаров в листьях, расположенных выше надреза

Задание Перерезав центральную жилку, изучите зависимость между накоплением углеводов и синтезом антоцианов на стареющих, но еще сохранивших зеленый цвет листьях дуба красного, груши обыкновенной, винограда девичьего

Условия освещения влияют на накопление Сахаров и, в свою очередь, на синтез антоцианов, образующихся не только в листьях, но и в созревающих плодах некоторых видов растений Проверьте эту зависимость на плодах яблонь.

### 68. Надписи и рисунки на плодах

Для опыта нужны красноокрашенные яблоки, темный чехол с вырезанным рисунком или темная изолента.

Опыт проводите в саду в июле — августе, когда рост плодов уже заканчивается, но цвет еще остается зеленым В этот период клетки плода приобретают способность к синтезу ферментов, необходимых для

176

образования антоцианов из Сахаров.

Наденьте на яблоко чехол. Можно прикрепить к плоду фигурку из темной бумаги или изоленты.

Чехол остается на плодах до того времени, пока не покраснеют остальные плоды на дереве Снимите чехол, убедитесь, что антоцианы образовались только в тех местах, на которые падал свет. Затененные места приобрели бледно-желтый цвет

Результаты опыта свидетельствуют, что для образования антоцианов нужен свет. В садах довольно часто можно видеть плоды, на поверхности которых видны светло-желтые отпечатки листа, затенявшего созревающий плод. У многих деревьев, например клена остролистного, груши обыкновенной листва краснеет только на той стороне, которая лучше освещена, а в дождливую осень с обилием пасмурных дней остается желтой

Задание Проведите опыт с листьями растений, синтезирующими значительные количества антоцианов (дуб красный, груша обыкновенная, виноград девичий, ирга канадская).

### 69. Тайны созревающих плодов

Созревание плодов — характерная примета осени Любой плод состоит из семян и околоплодника. Семена образуются из оплодотворенных семязачек, а околоплодник — из разросшейся стенки завязи

Соответственно выделяют 2 этапа созревания плодов Первый связан с формированием и созреванием

177

семян. Семяпочки в неоплодотворенной завязи очень маленькие. После оплодотворения семя начинает расти, в нем формируется зародыш, эндосперм (или утолщаются семядольные листочки зародыша), семенная оболочка. К концу созревания семена обычно переходят в состояние покоя, поэтому для опыта мы предлагаем рожь и томаты, семена которых не имеют длительного периода покоя.

Второй этап — рост и созревание околоплодника. Маленькая завязь превращается в большой плод. Например, плоды томатов проходят всем хорошо знакомый путь от маленьких и очень зеленых до крупных зеленых. Затем рост прекращается, плоды белеют и через небольшое пожелтение переходят к красно-оранжевому цвету.

Что происходит в плодах? Почему околоплодник не растет безгранично? Что регулирует его рост? Почему семена не прорастают внутри плода? На все эти вопросы попытаемся дать ответ.

*I часть опыта. Как растет околоплодник?* Для роста и деления клеток обязательно нужен источник гормонов роста. В растении эти гормоны, конечно, образуются, но к периоду цветения и образования плодов способность растительных тканей к их синтезу значительно снижается. Поэтому вегетативные части растений не могут служить источником гормонов роста для плодов. Эта закономерность достаточно очевидна: из массы цветков дают плоды только те, которые были оплодотворены, в которых начал развиваться зародыш. Зародыш — очень молодое растение, все его клетки — места интенсивного образования гормо-

178

нов. Синтезирующиеся в зародышевом корешке, стебельке, листочках гормоны поступают в клетки завязи, где стимулируют их деление и рост.

Чтобы убедиться в роли семян для разрастания завязи, попробуйте удалить семена и посмотрите, что произойдет с созревающими плодами. Чаще семена находятся внутри плода и проделать такую операцию, не повредив плодов, невозможно. Выбор растений, у которых семена находились бы на поверхности плода, невелик: земляника лесная или садовая. У этих растений ягода представляет собой разросшееся цветоложе, на поверхности которого находятся мелкие сухие плодики (орешки). Такие образования называют ложными плодами.

Для опыта понадобятся 9 совсем зеленых молодых плодов. В опыте 3 варианта. Первый — контроль, для него отберите 3 плода. Обязательно повесьте на плодоножку этикетку — небольшую пластинку из пластмассы на нитке. Подпись делайте мягким простым карандашом.

У трех плодов, отобранных для второго варианта, очень осторожно иголкой или крючком снимите плодики с одной половины земляничины.

В третьем варианте снимите все орешки с поверхности завязи.

Экспериментальная часть на этом заканчивается. Остается только внимательно наблюдать за ростом ягод и в конце опыта зарисовать либо сфотографировать плоды. Опыт закончен, когда созреют плоды контрольной группы растений. Сравните их размеры, форму с опытными ягодами. В контрольной группе

179

они значительно крупнее, имеют правильную, округлую форму. Плоды с удаленными с одной стороны семенами вырастают однобокими. С той стороны, где семян нет, завязь не разрастается. В третьем варианте размеры завязи остаются теми же, что и в начале опыта. Результаты свидетельствуют, что разрастание мякоти плода регулируется ростовыми веществами, поступающими из семян.

Задание. Осенью соберите в саду несколько округлых и неправильной формы плодов яблони, груши. Разрежьте. Сравните количество зрелых семян со степенью развития мякоти.

*II часть опыта. Когда заканчивается созревание семян?*

Эти наблюдения лучше провести с рожью либо с мелкоплодными кистевидными сортами томатов.

Суть опыта в том, чтобы через определенные промежутки времени, например через 6—10 дней (начав опыт как только можно будет выделить семена из плода), отбирать семена для проверки их способности к прорастанию. Выделенные семена промойте водой и разложите на влажной фильтровальной бумаге. Для удобства сравнения результатов желательно брать одинаковое количество семян в каждом опыте либо вычислять всхожесть в процентах. Опыт продолжайте до сбора урожая. Охарактеризуйте внешний вид плодов, их вкусовые качества.

Результаты опыта убеждают, что созревание семян и околоплодника происходит одновременно, но взаимосвязанно. Созревание семян заканчивается гораздо раньше. По вре-

180

мени оно совпадает с началом изменения окраски плода, например с зеленой на красную у томатов. Одновременно прекращается рост плода, так как созревшие семена, как и стареющие растения, перестают синтезировать гормоны роста. У сухих плодов околоплодник засыхает, а у сочных начинается интенсивный процесс его созревания, в ходе которого происходят изменения, делающие плод привлекательным для животных: плоды меняют маскирующий их зеленый цвет на более яркий, кислый вкус на сладкий, твердую консистенцию на мягкую.

*III часть опыта. Почему семена не прорастают внутри плода?*

Если семена полностью созревают до окончания созревания плода, то почему они не прорастают внутри его?

Для опыта необходимы созревшие томаты. Из плодов выделите семена и отожмите сок. Семена тщательно промойте, чтобы отделить от них слизистую оболочку. Можно, как это обычно делают при получении семян томатов, залить их водой и оставить на несколько дней.

Опытные семена разделите на 2 части. Одну поместите в чашке Петри на фильтровальной бумаге,

смоченной водой, другую — на фильтровальной бумаге, смоченной соком, выжатым из зеленых плодов. Через несколько дней семена в первом варианте начнут прорасти, тогда как семена, находящиеся на фильтровальной бумаге, смоченной соком плодов, останутся непроросшими. Следовательно, в мякоти плодов находятся вещества, тормозящие прорастание семян — ингибиторы роста.

181

Если плоды имеют плотную оболочку, как, например, у тыквы, то в процессе хранения происходит постепенное разрушение ингибиторов, и семена начинают прорасти внутри плода.

## ПОКОЙ — ЭТО ТОЖЕ ЖИЗНЬ

После созревания плодов и семян у растений наступает период покоя, когда резко снижаются скорость роста и интенсивность обмена веществ. Но все же жизнь растений продолжается.

В течение лета в листьях накапливается много органических и минеральных веществ, в том числе таких важных для растений, как азот, фосфор, калий. Несмотря на то что над каждым квадратным метром земной поверхности находится 7,5 т молекулярного азота, усваивать его, использовать на построение белков и других азотсодержащих веществ многоклеточные растения не могут. Содержание минеральных азотистых веществ в почве крайне мало, а органические формы азота растения усваивают слабо. Вынужденные всю жизнь экономить питательные вещества, растения перед сбрасыванием старых листьев, а тем более перед полным удалением листвы в период листопада, повторно используют многие содержащиеся в старых листьях вещества. Под влиянием специально образующихся к этому времени ферментов белки старых листьев распадаются до

182

аминокислот, крахмал — на растворимые сахара, освобождаются фосфор, калий. По ситовидным трубкам они оттекают из отмирающих листьев либо к молодым побегам, если растение еще молодо, либо к запасующим органам (древесине, корням, клубням, луковицам), если растение готовится к переходу в состояние покоя. В сущности опадает не тот, наполненный жизнью лист, что мы видели летом, а лишь оболочка его.

### 70. Много ли питательных веществ в опавших листьях

Убедиться в способности растений экономить питательные вещества можно с помощью метода крахмальной пробы.

Для опыта нужны раствор Люголя, 50—100 мл 96-процентного этилового спирта.

Осенью с одного растения сорвите 2 листа: один с верхушки побега, зеленый, другой — у основания, желтый. Прокипятите листья в воде до полного отмирания клеток, затем выдержите в горячем спирте (на водяной бане) для удаления пигментов. Обесцвеченные листья обработайте раствором Люголя. Разница в окраске старых и молодых листьев очевидна: молодой лист под действием йода окрашивается в синий цвет, а старый остается желтым. Посинение листа происходит в результате взаимодействия йода с крахмалом, следовательно, желтые, опадающие листья крахмала не содержат. Перед листопадом крахмал превращается в растворимые сахара, которые по проводящим пучкам перемещаются в запасующие органы: стебель и корень (древесные растения), семена (травянистые одно-, дву-, многолетники).

183

В клетках стебля и корня из растворимых сахаров снова синтезируется крахмал. Разумеется, далеко не все вещества листьев повторно используются растением, например, избыточные количества солей кальция остаются в листьях и удаляются таким образом из растения.

Продолжите опыт и проследите за крахмалом, который после опадения листьев накапливается в стебле.

### 71. Судьба запасного крахмала

Для опыта нужны ветки липы мелколистной или березы бородавчатой, раствор Люголя.

Осенью запасной крахмал скапливается в виде крахмальных зерен в живых клетках древесины, сердцевины. Убедитесь в этом, расщепив старую ветку и обработав ее раствором Люголя. Интенсивность синего окрашивания зависит от количества крахмала в стебле.

Запасной крахмал служит энергетическим материалом, за счет которого растения живут зимой. Он повышает устойчивость клеток к морозам, благодаря ему происходит рост растений весной до появления листьев.

Зимой, несмотря на то что растения находятся в состоянии покоя и процессы видимого роста у них приостановлены, в клетках происходит постепенный распад крахмала и накопление растворимых Сахаров и жиров.

В зависимости от характера превращения запасного крахмала древесные растения делят на 2 группы: крахмалистые (дуб, ива, сирень, лещина) и маслянистые (хвойные, а также береза, липа).

184

Проследите за превращением запасного крахмала в стеблях растений, относящихся к группе «маслянистых».

Опыт начните в октябре, сразу после окончания листопада. Один раз в месяц или 10 дней срезайте по 1—2 небольших побега липы мелколистной или березы бородавчатой и на продольном расщепе их с помощью раствора Люголя определяйте наличие крахмала.

Содержание крахмала выразите в баллах: 4 — иссиня-черный цвет (содержание крахмала высокое), 3 — темно-синий (содержание среднее), 2 — светло-синий (содержание низкое), 1 — голубой (следы крахмала), 0 —

желтый (крахмал отсутствует). Результаты занесите в таблицу. Закончите опыт в апреле — мае.

Результаты показывают, что содержание крахмала в стеблях липы колеблется. К середине зимы крахмал почти исчезает, однако с февраля его количество начинает постепенно возрастать.

Такие колебания в содержании запасного крахмала связаны с распадом крахмала и накоплением жиров в вакуолях клеток, нередко вместе с крахмалом, запасными белками, а также в цитоплазме.

Простыми методами трудно проверить, действительно ли в клетках стебля липы в декабре — январе появляется много жиров. Один из них описан в книге Н. Верзилина «По следам Робинзона», куда и отсылаем

185

интересующихся. Скорость превращения крахмала в жиры у маслянистых видов растений зависит от температуры окружающей среды. Наступление сильных холодов ускоряет этот процесс. Накопление жиров в клетках помогает перезимовать не только животным, но и растениям. Повышение температуры воздуха в конце зимы вызывает распад жиров и повторное накопление крахмала. К началу сокодвижения и распускания почек запасной крахмал окончательно распадается с образованием растворимых сахаров, которые используются растением на процессы роста. Чтобы убедиться в этом, не обязательно ждать весны.

Зимой внесите ветку сирени (дуба, ивы, лещины) в комнату, поставьте в воду на 3—4 недели. После появления листьев сделайте пробу на крахмал.

Механизм защитного действия жиров достаточно сложен. Он связан с регуляцией содержания воды в клетках. У морозостойких видов подготовка к зиме начинается заранее. Один из ее этапов — обезвоживание клеток. Жиры, накапливаясь в клетках, вытесняют из них воду. Оставшаяся вода прочно связана с молекулами белков, углеводов и теряет способность к кристаллизации. Поэтому у морозостойких видов кристаллы льда внутри клеток не образуются. При значительном понижении температуры кристаллы льда начинают образовываться в межклетниках. Кристаллы растут, оттягивая воду из клеток. Сильное обезвоживание также вредно: оно приводит к разрушению структуры мембран, белков, нуклеиновых кислот. Увеличение содержания жиров на поверхности протоплазмы препятствует дальнейшему выходу воды из клеток и тем

186

самым повышает устойчивость растений к морозам.

Морозостойкость связана с накоплением в клетках не только жиров, но и растворимых Сахаров. Например, накопление сахарозы и глюкозы в клетках характерно для листьев озимых злаков, а также зимующих видоизмененных органов — лукович, корнеплодов моркови, свеклы.

Задание. Изучите сезонные изменения содержания крахмала в стеблях сирени обыкновенной, ивы козьей, дуба черешчатого. Сравните с результатами, полученными в опыте с побегами липы мелколистной.

## 72. Повышение морозостойкости тканей растений

Для опыта нужен корнеплод свеклы столовой, 3 пробирки, штатив, термометр (на  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), лед, поваренная соль, мешалка для льда.

В вакуолях клеток столовой свеклы содержится водорастворимый пигмент из группы антоцианов — бетацианин. Поскольку он, как и другие антоцианы, находится только в вакуолях, для выделения пигмента необходимо повредить мембрану.

Пробочным сверлом из корнеплода вырежьте 6 небольших одинаковых ( $2 \times 0,5$  см) пластинок. Тщательно промойте их водой, чтобы удалить антоциан из разрезанных клеток (от этого будут зависеть результаты опыта).

Затем перенесите пластинки в пробирки. В первую налейте на  $1/4$  объема воду, во вторую — столько же  $0,5$

187

М раствора сахарозы, в третью — столько же  $1,0$  М раствора сахарозы. Количество раствора в пробирках и количество пластинок свеклы в них должно быть одинаковым.

Пробирки поместите в охлаждающую смесь: к 3 частям снега или мелко истолченного льда добавьте 1 часть поваренной соли и перемешайте. Измерьте температуру смеси. Когда она опустится до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , содержимое пробирок заморозит.

Через 15—20 мин достаньте пробирки и поставьте в стакан с водой комнатной температуры для оттаивания, после чего сравните окраску раствора в пробирках. В контрольной — раствор окрашивается в красный цвет. Выход антоцианов из вакуолей в раствор означает, что клетки погибли, мембраны их разрушены и уже не могут удерживать содержимое клетки.

В пробирках с  $0,5$  М и  $1,0$  М растворами сахарозы цвет отличается от контроля. Чем выше концентрация сахарозы, тем слабее окрашен раствор. Уменьшение выхода антоциана из тканей корнеплода свеклы, находившихся в растворах сахарозы, свидетельствуют о том, что сахароза оказала защитное действие на цитоплазму клеток при их замораживании. Степень защитного действия зависит от концентрации сахарозы: в более концентрированном ( $1,0$  М растворе) повреждение тканей оказалось минимальным.

Внезапное, в течение 15—20 мин, понижение температуры от  $+20$  до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  вызывает в клетках корнеплода, находившегося в пробирке с водой, образование льда непосредственно в цитоплазме. Кристаллы

188

льда повреждают структуру клеток, клетки погибают. В природных условиях такие резкие перепады температуры характерны для весенних заморозков.

Защитное действие сахарозы во второй и третьей пробирках связано как с поступлением сахарозы из раствора в клетки, так и с выходом воды из клеток в наружный, более концентрированный раствор. Чем выше количество сахарозы в клетке, тем ниже температура заморозания цитоплазмы, поскольку сахароза, связывая внутриклеточную воду, уменьшает ее подвижность. Обезвоживание клеток также повышает их устойчивость к

действию морозов, препятствуя внутриклеточному образованию льда. Не случайно у древесных растений зимой накапливается в клетках до 10 % Сахаров, а у озимых злаков — до 50 %.

Результаты опытов позволяют понять, почему для успешной зимовки, как озимых травянистых растений, так и древесных, важна солнечная осень. При пониженных ночных температурах, замедляющих отток Сахаров в другие части растения, в зеленых листьях накапливаются углеводы. Самая низкая температура, которую выдерживают наиболее морозостойкие сорта озимой ржи — около  $-30^{\circ}\text{C}$  на уровне почвы. Это не слишком высокая степень морозоустойчивости. Ведь почки древесных пород в Сибири выдерживают до  $-70^{\circ}\text{C}$ . Такая температура наблюдается в Якутии, где растут ель сибирская, сосна обыкновенная, береза пушистая, осина. Дополнительную морозостойкость почкам этих видов придает состояние глубокого покоя, переход в которое сопровождается сильным обезвоживанием клеток, накоплением жиров, углеводов, изменением состава белков.

189

Задание. Выясните, повысится ли после пребывания в 0,5 М и 1,0 М растворах сахарозы морозоустойчивость клеток мякоти яблок и других окрашенных антоцианами плодов, листьев свеклы столовой и капусты краснокочанной, лепестков цветков.

### 73. Продолжительность периода глубокого покоя у разных видов растений

Для опыта нужны побеги липы мелколистной или клена остролистного, дуба черешчатого, тополя черного, березы бородавчатой, ивы козьей, сирени обыкновенной, черешни, форзиции пониклой.

Методика опыта проста, но для того, чтобы довести его до конца, требуется определенное терпение и настойчивость, а также объекты исследования в достаточном количестве. Необходимо раз в месяц или в 10 дней срезать по 2—3 небольших побега какого-либо из указанных выше растений. Этот перечень не является строго обязательным. Конечно, чем больше видов будет изучено, тем интереснее и полнее будут результаты, но не забывайте о бережном отношении к природе.

Срезанные побеги снабдите этикетками с названием растения и датой сбора, поставьте в сосуд с водой в теплое помещение, еженедельно подрезая стебли и меняя воду. Основная задача дальнейших наблюдений за побегами — отмечать дату распускания почек. Сведения о дате сбора побегов и распускания почек

190

вносите в таблицу, подсчитывая количество дней, прошедших со дня внесения данного побега в теплое помещение до начала роста почек.

Начинать опыт можно в октябре — ноябре, но наиболее полноценные наблюдения получаются в том случае, если к изучению покоя почек приступить еще до опадения листьев, в августе — сентябре. Заканчивайте опыт в апреле — мае.

Если опыт проводился длительное время и данных получено много, результаты лучше выразить графическим способом. На оси абсцисс отложите даты срезания побегов растений, на оси ординат — промежуток времени (в сутках) от срезания побега до распускания почек.

Наблюдения показывают, что зимой у исследованных в опыте видов есть период, когда их побеги, будучи перенесенными в благоприятные для роста условия, не способны к распусканию почек.

Если начать опыт в июле, можно заметить, что в начальном этапе формирования почек они еще способны к росту (при условии, что вы перед опытом уберете все листья с побега). Затем, по мере вхождения древесных растений в состояние покоя, почки полностью утрачивают способность к росту.

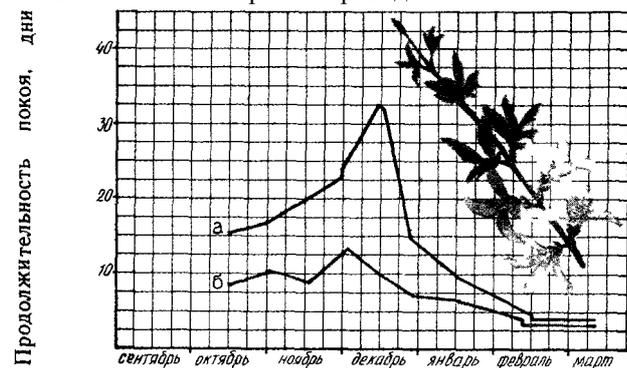
Это период так называемого глубокого покоя. У разных растений продолжительность глубокого покоя не одинакова. Почки липы мелколистной приобретают способность к росту только в январе, тополя черного — в октябре — ноябре, а у сирени обыкновенной период глубокого покоя еще короче. У некоторых видов

191

период глубокого покоя может практически отсутствовать.

Способность к весеннему росту проявляется у почек после прекращения глубокого покоя постепенно. Например, в одном из опытов (рис. 48) при взятии побегов каждые 10 дней в период с 20 ноября по 10 января для распускания листовых почек форзиции пониклой понадобилось соответственно 23, 17, 15, 8 дней. Продолжительность же распускания цветочных почек практически не менялась, имели место лишь колебания в пределах 6—10 дней. Такое поведение почек форзиции обусловлено тем, что она цветет до распускания листьев, поэтому цветочные почки полностью формируются с осени. У вишни разрыв между цветением и распусканием листьев меньше, но все же цветение начинается раньше, поэтому сроки распускания цветочных почек у нее несколько меньше (21, 20, 18, 13 дней), чем листовых (28, 35, 16, 13 дней).

Если такие измерения проводились несколько лет подряд, то по усредненной кривой можно достаточно



точно определить, за сколько дней до нужного срока необходимо срезать побеги для выгонки.

Период глубокого покоя заканчивается (ноябрь — январь) до наступления весеннего тепла. Уже готовые к росту почки не распускаются только потому, что отсутствуют благоприятные для роста условия внешней среды. Этот период покоя получил название вынужденного. Переход растений из состояния глубокого покоя в вынужденный происходит постепенно, что

192

Рис. 48. Продолжительность зимнего покоя листовых

(а) и цветочных (б) почек форзиции пониклой.

обусловлено крайне замедленным протеканием всех процессов жизнедеятельности в зимний период.

Что же происходит в почках растений в период покоя?

Для глубокого покоя почек древесных растений характерна внутренняя, физиологическая неготовность к возобновлению роста в самых благоприятных условиях. Все физиологические процессы (дыхание, синтез веществ, новообразование органелл клетки) в этот период замедлены, но не прекращены. Значение периода глубокого покоя в том, что даже при появлении кратковременных оттепелей почки не трогаются в рост в заведомо неблагоприятные периоды.

Главное условие возобновления роста почек — воздействие температуры от 0 до +5 °С в течение 3—5

193

недель. Оно воспринимается почками и вызывает прежде всего изменение гормонального режима.

Когда древесные растения в сентябре — октябре переходят в состояние глубокого покоя, содержание в почках гормонов (ауксинов, гиббереллинов), стимулирующих рост, уменьшается, а содержание ингибиторов роста (абсцизовой кислоты) нарастает. Под действием перенесенных морозов в клетках точек роста вновь начинается синтез гормонов роста, прежде всего гиббереллина. По мере накопления в почках гормонов — стимуляторов ростовых процессов — способность к росту в благоприятных условиях возобновляется, что свидетельствует об окончании периода глубокого покоя.

Содержание ингибиторов роста после выхода почек из состояния глубокого покоя падает постепенно. По мере снижения их количества уменьшаются сроки, необходимые для распускания почек на побегах.

#### 74. Цветы зимой

Результаты предыдущего опыта показывают, что, даже если период глубокого покоя у растения и окончился, энергия распускания почки весной значительно выше, чем зимой. Существует много способов ускорения выхода растений из состояния покоя: обработка почек эфиром, теплыми ваннами, поранение тканей почки уколами, впрыскивание воды. Действительно, эти методы ускоряют на 2—6 дней распускание почек, особенно листовых.

Надо иметь в виду, что легче всего поддаются выгонке растения, которые цветут до распускания листьев.

194

Период глубокого покоя у них очень короткий и никакой специальной обработки, если знать примерное время, необходимое для распускания почек в ноябре — апреле, не требуется. Чтобы получить цветущие ветки к Новому году, срежьте в ноябре — начале декабря побеги одного из перечисленных видов растений: форзиции пониклой, айвы японской, магонии падуболистной, вишни, черешни, алычи, абрикоса — и поставьте в воду.

В феврале — марте побеги срежьте за 6—12 дней до праздника. Более точные рекомендации можно получить, проведя в течение 2—3 лет последовательное изучение продолжительности глубокого покоя и скорости выхода из него почек каждого вида растений, которые мы собираемся использовать для выгонки.

Уход за побегами состоит в еженедельной смене воды, подрезании стеблей, ежедневном опрыскивании водой (набухание почек весной происходит в основном путем поглощения ими воды или влажного воздуха).

Весьма заманчиво получить к Новому году цветущие побеги сирени, чубушника. В отличие от вишни, форзиции, сирени и чубушника принадлежат к группе растений, у которых цветки появляются позже листьев. Для полного развития цветков требуется приток питательных веществ из листьев. Поэтому окрашенные соцветия сирени легче получить в декабре, когда в стеблях еще велик запас питательных веществ. Если осень была благоприятна для фотосинтеза и в стеблях накоплен запас углеводов, если понижение температуры было

195

достаточным для завершения гормональной перестройки тканей цветочных почек, то срезанные в начале декабря побеги сирени дают соцветия без дополнительных обработок.

Более надежен другой способ. В начале ноября срежьте несколько побегов сирени с хорошо развитыми цветочными почками, удалите низкорасположенные почки. Для защиты от высыхания упакуйте в полиэтиленовую пленку и выдержите 4—5 недель в холодильнике при температуре от +4 °С и ниже (побеги сирени выдерживают понижение температуры до —20 °С). В начале декабря достаньте побеги из холодильника и поставьте в сосуд с водой комнатной температуры. Ежедневно побеги опрыскивайте водой, а стебли периодически отмывайте от слизи и подрезайте. Для улучшения питания растений в воду добавьте сахарозу или глюкозу из расчета 8—10 г на 100 мл воды. Рекомендуются и более сложные рецепты, включающие, например, 15 г сахара, 0,8 г алюмокалиевых квасцов, 0,3 г хлорида калия и 0,2 г поваренной соли на 1 л воды. В растворах Сахаров создаются благоприятные условия для развития гнилостных бактерий, в целях борьбы с ними можно бросить в сосуд с побегами несколько кусочков древесного угля или чайную ложку поваренной соли на 1 л воды. Окраска соцветий сирени будет ярче, если побеги получат дополнительное освещение.

Ускорить выход растений из состояния глубокого покоя можно, используя также искусственные приемы воздействия на покоящиеся почки. Познакомимся с некоторыми из них.

196

#### 75. Теплые ванны для растения

Ускорить выход растений из состояния глубокого покоя можно также с помощью теплых (35—40 °С) ванн.

Для опыта нужны побеги растений, находящиеся в глубоком покое, термос.

Опыт проводите в октябре — ноябре. Срезанные побеги разделите на 2 группы. Контрольную полностью погрузите в воду комнатной температуры (15—20 °С), опытную — в термос с теплой (35—40 °С) водой. Через

9—15 ч достаньте побеги, поставьте в сосуды с водой. Уход за побегами состоит в опрыскивании почек и обрезке концов стеблей. Теплая вода стимулирует распускание почек (через 3—5 недель), тогда как почки побегов, получивших холодные ванны, остаются в состоянии покоя.

В начале декабря срежьте ветки сирени и полностью погрузите в теплую воду (30 °С) на 12 ч. После этого обновите срезы веток и при комнатной температуре поставьте в сосуд с раствором, содержащим 30 г сахара, 0,8 г алюмокалиевых квасцов, 0,3 г хлорида калия на 1 л кипяченой воды.

С началом распускания почек перенесите букет в более прохладное место (15—17 °С). Через неделю раствор замените свежим, но уже без сахара. Стебли обмойте, концы немного обрежьте.

Улучшает распускание постоянное опрыскивание веток, которое прекращайте, когда цветки начнут распускаться (через 15—18 дней после срезки).

197

С началом зацветания ветки перенесите в раствор лимонной кислоты (2—3 г/л). Букет сирени сохранится около 7 дней.

**Задание.** Проверьте, происходит ли передача по растению воспринятого частью побега теплового воздействия. Для этого срежьте ветку с двумя побегами. Один побег выдержите 9—15 ч в теплой ванне, второй оставьте без обработки. Поставьте ветку в теплое светлое место и проследите за скоростью распускания почек на обоих побегах.

Стимулирующее действие теплых ванн на выход растений из состояния покоя во многом обусловлено вымыванием из почек ингибиторов роста. Накопление ингибиторов роста всегда сопутствует переходу почек, семян, видоизмененных зимующих органов в состояние покоя, а возобновление роста связано с уменьшением их количества. Набор ингибиторов роста достаточно обширен: это может быть уже знакомая вам абсцизовая кислота или вещества негормональной природы (бензойная, коричная, салициловая кислоты, алкалоиды, дубильные вещества и др.). Поскольку это хорошо растворимые вещества, их можно извлечь из покоящихся почек и изучить влияние на рост.

#### 76. Почки осенние и весенние

В осенних почках ивы обнаружен ингибитор роста негормональной природы — изосалипурпозид. По химическому строению он близок к салициловой кислоте, впервые полученной из коры ивы.

Для опыта нужны почки ивы (любого вида), собранные с растений осенью, б пробирок, ступка с пестиком, свежесрезанные побеги ивы.

198

Опыт проводится в 2 этапа. Первый этап — сентябрь, октябрь. В этот период почки большинства растений содержат много ингибиторов. Основная задача осеннего этапа — собрать около 10 г почек с побегов любого вида ивы и сохранить их до весны в сухом месте при комнатной температуре.

Второй этап можно провести в феврале — мае, когда распускание почек происходит легко и дружно.

Ингибитор роста, содержащийся в почках ивы, хорошо растворим в воде. Заготовленные осенью почки разотрите в ступке, залейте небольшим (около 30 мл) объемом теплой воды, перемешайте. Экстракт отфильтруйте и разлейте в 3 пробирки (опытный вариант). Можно приготовить растворы различного разбавления. Оставшиеся пробирки заполните тем же объемом воды (контрольный вариант). Свежесрезанные побеги ивы, находящиеся в вынужденном покое, поместите по одному в пробирки с экстрактом почек и чистой водой. Штатив с пробирками поставьте в теплое и светлое место. Сравните сроки распускания почек в опытном и контрольном вариантах.

Результаты одного из опытов изображены на рис. 49. Поставленные в воду побеги контрольного варианта начинали рост уже через неделю, тогда как почки побегов опытного варианта оставались в состоянии покоя.

Можно сделать вывод, что осенью почки ивы действительно содержат ингибиторы роста. Извлеченные из осенних почек, они по сосудам стебля поступают в готовые к росту почки весенних побегов и, накапливаясь в них, тормозят распускание.

199

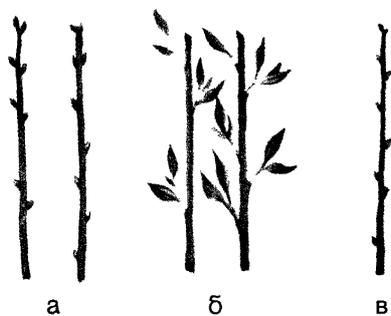


Рис. 49. Распускание почек ивы осенью (а) и весной (б), черенок обработан ингибитором, выделенным из почек осеннего черенка (в).

**Задание.** Выясните, какое влияние окажут ингибиторы, выделенные из осенних почек ивы, на прорастание семян, например огурцов. Для этого семена прорастите в двух чашках Петри: в одной на фильтровальной бумаге, смоченной водой, в другой — вытяжкой из почек.

Можно выделить ингибиторы прорастания из семян, например караганы древовидной, и изучить их влияние на прорастание семян ржи, пшеницы.

#### 77. Покой семян

Переход в состояние покоя — широко распространенный у растений способ переживания неблагоприятных условий. В покоящееся со-

200

стояние переходят не только зимующие почки, но и семена большинства растений. Покоящиеся семена имеют

много общего с покоящимися почками: большие запасы питательных веществ (3/4 всех семенных растений накапливают в семенах в качестве запасного питательного вещества жиры), уменьшение содержания воды, снижение обмена веществ. При переходе в состояние покоя семена обезвоживаются значительно сильнее, чем почки, что повышает их устойчивость в неблагоприятных для жизни условиях. У семян, как и у почек, есть периоды глубокого и вынужденного покоя. Благодаря резкому снижению интенсивности обмена веществ, семена могут сохранять жизнеспособность (всхожесть) довольно длительное время. Например, семена ржи, кукурузы, капусты, томатов сохраняют всхожесть около 5 лет; пшеницы, овса, ячменя, тыквенных — около 10 лет. У многих растений, относящихся к семейству бобовых, — 50 — 100 лет. Возраст сохранивших жизнеспособность семян люпина арктического, добытого из отложений торфа, определили в 10 000 лет.

В чем же секрет долголетия семян мелкосемянных бобовых растений?

Для опыта нужны семена любого вида бобовых растений с мелкими семенами (клевера, люцерны, донника, вики), 2 чашки Петри, фильтровальная бумага, немного песка для обработки семян. Продолжительность опыта 15—16 дней.

Отсчитайте 100 семян, уложите их в чашку Петри на увлажненную фильтровальную бумагу для проращивания. Уже через 2 суток видно, что не все семена, находящиеся в чашке

201

Петри, способны к набуханию и росту. В зависимости от вида растения, способа сбора количество проросших семян может колебаться от 3 до 50. Семена, способные прорасти сразу же, как только попадут в благоприятные условия, называют мягкими, имея в виду, что их оболочка легко пропускает воду. Семена, которые спустя 10 дней остаются ненабухшими и непроросшими, относят к твердым. Они светло-желтые или коричневые, лежат на влажной фильтровальной бумаге, как камешки (поэтому их еще называют твердокаменными семенами). В любой партии посевного материала могут быть просто невсхожие семена. Их легко отличить: они черные, набухают, но не дают проростков, к концу опыта ослизняются.

На 10—12-й день проращивания подсчитайте количество проросших семян (это будет фракция мягких семян), невсхожих, сгнивших и ненабухших (твердых) семян. Полученные результаты занесите в таблицу.

Для следующего этапа работы нужны только твердые семена. Поэтому проросшие семена удалите, полученную фракцию твердых семян разделите на 2 части. Одну часть уложите в чашку Петри на увлажненную фильтровальную бумагу для проращивания без дополнительной обработки. Это контрольная группа семян. Другую часть поместите в ступку, добавьте немного песка и осторожно перетрите с песком, примерно в течение 1 мин. Песчинки повреждают оболочку, на ней появляются трещины. Из-за небольшого размера семян и песчинок эти царапины незаметны, поэтому очень важно не растереть сами семена. Можно заменить

202

перетирание энергичным встряхиванием с песком в течение получаса. Обработанные семена отделите от песка и уложите во вторую чашку Петри на увлажненную фильтровальную бумагу.

Результаты опыта станут очевидны уже через 3—4 дня: обработанные песком семена энергично прорастают, контрольные — остаются в набухшем состоянии.

Следовательно, в твердых семенах клевера, люцерны зародыш сформирован и семя не прорастает потому, что покрыто плотной, водонепроницаемой оболочкой.

Разрушение целостности семенной оболочки твердых семян называется скарификацией. Этот прием широко используется в сельском хозяйстве, поскольку количество твердых семян в посевном материале может колебаться от 50 до 97 %.

В природе растрескивание оболочки происходит под влиянием многократного высыхания, замораживания, она разрушается бактериями. Поэтому сохраниться непроросшими в течение сотен лет твердые семена могут только при постоянном воздействии неблагоприятных условий — под слоем торфа и льда.

Задание. Сравните способность к образованию твердых семян у дикорастущей и культурной люцерны.