***А. ГРИЩЕНКО;  
С. В. КОДАЦКАЯ***

**Игра цветов, или Пигменты в нашей жизни**

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 смешает потом (но где?!)  
(Где пробирок, и колб, и спиртовок ряды?),  
И вот из одной и той же черного цвета земли  
Он то красный, то синий,  
то сиреневый, то золотой!

В. Солоухин

**Пигменты. Какие они бывают**

Природа наградила нас необычайным даром – цветовым зрением, а вместе с ним дала возможность восхищаться красотой окружающего растительного мира. Мы с надеждой смотрим на нежную зелень весенней листвы и с грустью любуемся желто-оранжевой гаммой осеннего леса. Кто не восхищался красками цветущего луга, лесной опушки, осенней листвы, даров сада и поля? Цвет волос мы сравниваем с золотистыми колосьями хлеба, а цвет глаз – с синими васильками. Даже сами названия цветов – оранжевый, лиловый, индиго – тоже происходят от названий растений.

Но часто ли вы задавали себе вопросы: отчего зеленые листья осенью желтеют или краснеют? Почему лепестки ромашки белые, а первые весенние листочки тополя красноватые? Почему окружающие растения окрашены именно так, а не иначе, как возникает огромное богатство цветов и оттенков? Почему цветок утром розовый, а к вечеру уже синий? Почему в одном соцветии встречаются венчики цветков с различной окраской – от белой до розовой? Можно ли приготовить краску из цветков розы, василька, ноготков, чтобы холодной зимой радоваться ярким краскам лета? Как человек может применить знания о цвете растений в повседневной жизни? Можно ли цветом лечиться?

Конечно же, если растения окрашены, значит, в них есть красители – пигменты. Растительные пигменты являются предметом исследования многих научных дисциплин. Предмет физической химии – выделение пигментов из растений и определение их химического строения, биохимия исследует процессы, приводящие к образованию окрашенных веществ, физиология изучает их локализацию и миграцию в органах растений, хемотаксономия использует наличие разных пигментов для классификации растений.

Цвет определяется способностью пигмента к поглощению света. Электромагнитные волны с длиной волны 400–700 нм составляют видимую часть солнечного излучения. Волны длиной 400–424 нм – это фиолетовый цвет, 424–491 – синий, 491–550 – зеленый, 550–585 – желтый, 585–647 – оранжевый, 647–740 нм – красный. Излучение с длиной волны меньше 400 нм – ультрафиолетовая, а с длиной волны более 740 нм – инфракрасная область спектра. Максимальное цветоразложение солнечного света приходится на 13–15 часов. Именно в это время луг, поле кажутся нам наиболее ярко и пестро расцвеченными.



Если свет, падающий на какую-нибудь поверхность, полностью от нее отражается, эта поверхность выглядит белой. Если все лучи поглощаются, поверхность воспринимается как черная. Если же поглощаются только лучи определенной длины, то отражение остальных создает ощущение цвета. Например, кожура апельсина поглощает лучи синей части спектра. И мы видим апельсин оранжевым.

Окраска не всегда обусловлена избирательным поглощением света. Так металлический цвет листьев некоторых растений объясняется преломлением света и рассеянием его с поверхности особых «оптических» чешуек или клеток. Но в большинстве случаев ответственными за окраску являются пигменты.

**Растительные пигменты** – это крупные органические молекулы, поглощающие свет определенной длины волны. В большинстве случаев «ответственными» за появление окраски являются определенные участки этих молекул, называемые *хромофорами*. Обычно хромофорный фрагмент состоит из группы атомов, объединенных в цепи или кольца с чередующимися одинарными и двойными связями (–С=С–С=С–). Чем больше таких чередующихся связей, тем глубже окраска. Кроме того, поглощение света усиливается при наличии в молекуле кольцевых структур.

В растительных клетках чаще всего встречаются зеленые пигменты хлорофиллы, красные и синие антоцианы, желтые флавоны и флавонолы, желто-оранжевые каротиноиды и темные меланины. Каждая из этих групп представлена несколькими отличающимися по химическому строению, а следовательно, по поглощению света и окраске пигментами.

А еще цвет пигмента может меняться при изменении кислотности среды, температуры, при взаимодействии с различными веществами. Поэтому важное значение имеет химический состав клеток, особенно вакуолярного сока. Наконец, окраска растения зависит и от строения ткани, в которой содержатся пигменты: ее толщины, количества межклетников, плотности находящегося на поверхности клеток воскового налета…

В растительном мире широко распространен белый цвет: белые цветки, белые стебли, белые пятна на листьях. Белый красящий пигмент называется бетулин. Накапливаясь в клетках коры молодых деревьев, бетулин окрашивает ствол березы в тот прекрасный белый цвет, которым мы все восхищаемся. Но у других растений причиной белой окраски, например венчиков, являются обширные межклетники в сочетании с клетками, лишенными пигментов. Белый цвет  им придает... воздух. В этом можно убедиться несколькими способами (Опыт 1).

А что определяет окраску розовых, сиреневых, синих и фиолетовых цветков? Как это ни удивительно, но эти цвета определяет одна группа пигментов – антоцианы, впервые выделенные из цветков василька синего.

Ярко-красные розы, голубые васильки, фиолетовые анютины глазки содержат растворенные в клеточном соке антоцианы. Яблоки, вишни, виноград, черника, голубика, сок листьев и стеблей гречихи, краснокочанной капусты, листьев и корнеплодов столовой свеклы, молодая красная кора эвкалипта, красные осенние листья своим цветом тоже обязаны антоцианам. Если орган растения имеет голубой, синий, фиолетовый цвет, то нет никакого сомнения в том, что его окраска обусловлена антоцианами.

Антоцианы – это гликозиды, возникающие при соединении различных сахаров с циклическими соединениями, называемыми антоцианидинами. Содержатся антоцианы в клеточном соке (вакуолях), значительно реже – в клеточных оболочках.

В присутствии щелочи в молекулах антоцианов происходит перегруппировка двойных и ординарных связей между атомами углерода, что приводит к образованию нового хромофора – в щелочной среде антоцианы приобретают синий или сине-зеленый цвет. Поэтому их можно использовать в качестве кислотно-щелочных индикаторов (Опыт 2). При действии минеральных и органических кислот антоцианы образуют соли красного, при действии щелочей – синего цвета. На цвет антоцианов влияет также способность этих пигментов образовывать комплексные соединения с металлами.

Рассмотрим теперь желтые пигменты, которые широко распространены в мире растений, но в некоторых случаях маскируются антоцианами, хлорофиллом и поэтому менее заметны.

Группа пигментов, способных придать клетке желтый или желто-оранжевый цвет, наиболее многочисленна – это каротиноиды, флавоны, флавонолы и некоторые другие. Флавоны и флавонолы – довольно устойчивые соединения, причем некоторые из них хорошо растворимы в горячей воде. Именно поэтому флавоновые пигменты были первыми красителями, которые наши предки использовали для окраски тканей. Близки к флавонам по строению другие красители желтого цвета – халконы и ауроны. В растениях они содержатся в цветках (лепестки, рыльца пестиков), листьях, плодах. Среди известных нам растений эти пигменты можно обнаружить в листьях и цветках кислицы, кореопсиса, львиного зева. Сосредоточены они в вакуолях эпидермальных клеток. Названия этих пигментов обычно происходят от названий растений, из которых они были впервые выделены. Например, кверцетин – пигмент коры и плодов дуба.

У некоторых, немногочисленных по сравнению с «антоциановой» группой, видов растений оранжевая и красно-коричневая окраска цветков (тагетес прямостоячий, настурция большая) или плодов (томаты, шиповник, ландыш майский) обусловлена не растворенными в клеточном соке антоцианами, а находящимися преимущественно в желтых и оранжевых пластидах (хромопластах) пигментами группы каротиноидов. Название этой группе, в честь одного из пигментов, содержащихся в оранжевых корнях моркови, дал биохимик растений М.С. Цвет. Каротиноиды содержатся практически во всех органах растений: в цветках, листьях, плодах и семенах. В листьях и зеленых плодах каротиноиды находятся в хлоропластах, где маскируются хлорофиллом, и в хромопластах.

Каротиноиды нерастворимы в воде, но хорошо извлекаются из пластид органическими растворителями (бензин, спирт). Их цвет, в отличие от антоцианов, не зависит от кислотности среды. У каротиноидов невозможно выделить какой-нибудь один характерный хромофорный фрагмент, потому что их молекулы включают цепочки атомов с чередующимися ординарными и двойными связями разной длины, – цепочке каждого типа соответствует свой индивидуальный хромофор. По мере удлинения цепи окраска пигментов изменяется от желтой к красной и даже красно-фиолетовой. В молекулах оранжевых и оранжево-красных пигментов β-каротина (пигмент моркови и сладкого перца), рубиксантина (пигмент шиповника) и ликопина (пигмент помидоров) имеется 11 двойных связей, чередующихся с ординарными, а в молекулах красного виолоксантина (пигмент некоторых красных фруктов) – 13.

Каротиноиды вместе с флавоновыми пигментами придают желтый цвет листьям и венчикам цветков огурца, тыквы, одуванчика, лютиков, купальницы, калужницы, чистотела, подсолнечника, плодам кукурузы, тыквы, кабачков, баклажанов, паслена, помидора, дыни, а также многих цитрусовых. Рекордсменом по числу каротиноидных пигментов является стручковый красный перец. А вот по концентрации каротиноидов чемпионами являются плоды абрикоса, корнеплоды моркови и листья петрушки.

Обычно в венчиках растений содержатся и антоцианы, и флавоны, и флавонолы. Например, в цветках львиного зева обнаружено два вида антоцианов (пеларгонидин и цианидин), два флавонола, в том числе кверцетин и несколько флавонов, например лютеолин – пигмент анютиных глазок.

А как обстоит дело с черными пигментами? Абсолютно черного пигмента у растений нет. В кожуре красных сортов винограда, лепестках некоторых цветков, черном чае, чаге (березовый гриб) содержатся черно-коричневые пигменты группы меланинов. Но в большинстве случаев, когда речь идет о черных цветках или плодах, мы имеем дело с накоплением темно-синих антоцианов.

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

Коричневый цвет 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 и черной окраски, кроме того, могут быть бесцветные вещества из группы катехинов. При окислении особыми ферментами они полимеризуются и дают «пищевые» дубильные вещества, окрашенные в красный и коричневый цвета. Катехины хорошо растворимы в горячей воде, накапливаются в вакуолях и в большом количестве содержатся в листьях многих растений, древесине, плодах, листьях (чай).

Самым главным пигментом растений, который обусловливает их принадлежность к отдельному зеленому царству, является, конечно же, хлорофилл. Он содержится в зеленых частях растений (от 0,6 до 1,2% от массы сухого листа).

В состав молекулы хлорофилла входит ион магния. В отличие от обширных групп антоцианов, каротиноидов, флавонов и флавонолов, в клетках всех высших растений имеется только две формы хлорофилла – зеленый с синеватым оттенком, хлорофилл *а* и зеленый с желтоватым оттенком, хлорофилл *b*. Хлорофилл *a* характерен для всех видов фотосинтезирующих растений. Хлорофилл *b* присутствует в листь-ях высших растений и в большинстве водорослей. Бурые водоросли, кроме того, содержат хлорофилл *с*, а красные – хлорофилл *d*.

Значительно реже встречаются в природе протохлорофиллы и хлорофиллиды. Зеленый цвет всех перечисленных пигментов обусловлен наличием в их молекулах ажурного порфиринового цикла, связанного с ионом магния, в чем можно убедиться, проведя простой опыт (Опыт 3).

Цвет хлорофилла, как и любого окрашенного вещества, обусловлен сочетанием тех лучей, которые пигмент не поглощает. Для растворов хлорофилла максимумы поглощения расположены в сине-фиолетовой (430 нм у хлорофилла *а* и 450 нм у хлорофилла *b*) и красной (660 нм у хлорофилла *а* и 650 нм у хлорофилла *b*) областях спектра. Эти лучи поглощаются хлорофиллом полностью. Голубые, желтые, оранжевые лучи поглощаются в гораздо меньшей степени, и их суммарное поглощение определяется общим количеством хлорофилла. Минимум поглощения лежит в зоне зеленых лучей. Совершенно не поглощается хлорофиллом только небольшая часть красных лучей, которые в спектре расположены на границе с инфракрасной областью. Это так называемые дальние красные лучи.

Избирательное поглощение хлорофиллом лучей разной части спектра можно пронаблюдать на опыте (Опыт 4) – по мере увеличения высоты столба жидкости в пробирке наблюдается изменение окраски раствора от ярко-зеленой до вишнево-красной. Значит, правы те, кто видел в густом лесу красное свечение, исходящее из-под полога леса.

Для листьев различного возраста, различных видов растений характерно многообразие оттенков зеленого цвета. Объясняется это тем, что в формировании окраски листа принимает участие не только хлорофилл, но и другие содержащиеся в листе пигменты: желтые каротиноиды, красные антоцианы. Убедиться в разнообразии окрашивающих лист пигментов можно на опыте (Опыт 5).

**Таблица. Красители из растительного материала**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Цвет окрашивания** | **Растение** | **Используемая часть** |
| Черный | Kлен | Листья |
| Воронец | Ягоды и корни |
| Kоричневый | Дуб | Листья, кора |
| Лук репчатый | Шелуха |
| Ива белая | Kора |
| Фиолетовый | Черника и ежевика | Ягоды |
| Бурый | Береза | Листья |
| Kрасный | Боярышник | Kора, побеги, листья |
| Зверобой | Стебли |
| Kрушина | Свежая кора |
| Подмаренник | Kорни |
| Бузина черная | Ягоды |
| Щавель конский | Kорни |
| Ольха серая | Kора |
| Оранжевый | Чистотел | Листья и стебли |
| Желтый | Щавель конский | Листья и стебли |
| Подмаренник | Цветы |
| Kрапива | Kорни |
| Орешник | Kора |
| Kартофель | Листья и стебли |
| Лимонный | Барбарис | Плоды |
| Зеленый | Kрапива | Листья и цветы |
| Манжетка | Стебли и листья |
| Пырей | Листья |
| Трилистник | Листья |
| Синий | Иван-да-Марья | Цветы |

**Зачем пигменты нужны растениям**

Самая главная функция пигментов – фотосинтез. Ее осуществляет в первую очередь  хлорофилл. Однако важную роль в фотосинтезе играют и некоторые каротиноиды. Они помогают молекулам хлорофилла вернуться в исходное состояние после передачи энергии и предохраняют их от фотоокисления. Используя разнообразные пигменты, растения «умудряются» использовать для фотосинтеза почти весь спектр видимого света, а также часть ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов.



С пигментами связана светочувствительность растений, сезонная регуляция метаболизма, роста и цветения, подготовка и переход к фазе покоя, регуляция процессов прорастания семян.

Поглощая ультрафиолетовые лучи, флавоны и флавонолы предохраняют хлорофилл и цитоплазму клеток от разрушения. Очень важная функция, выполняемая каротиноидами, флавонами и антоцианами, состоит в нейтрализации свободных радикалов, нарушающих протекание биохимических процессов в растениях, т.е. эти пигменты обладают антиоксидантными свойствами.

Флавоновые пигменты иногда «применяются» растениями для самозащиты – в качестве противогрибковых или противомикробных агентов, выполняют функции резерва питательных веществ.

Пигменты, содержащиеся в лепестках, чашелистиках или листьях, окружающих соцветие, придают цветку окраску, привлекающую насекомых-опылителей. Яркая окраска – это «опознавательный знак», показывающий, где насекомые могут найти нектар и пыльцу. Бывает, что у одного и того же растения окраска цветков с возрастом изменяется. Это хорошо заметно у ранневесеннего растения медуницы: розовый цвет ее молодых цветков сменяется по мере старения синим. В этом случае смена окраски служит сигналом для насекомых – не теряйте времени даром!

**Как использует растительные пигменты человек**

Яркие краски растительного мира радуют наш глаз и доставляют эстетическое наслаждение. Но люди находят растительным краскам и утилитарное применение. Индиго, хна, басма, ализари (ализарин, мареновый корень) – названия этих натуральных красителей известны всем. Да и другие краски издревле получали из растительного сырья. Какого – зависело от географии. В средней полосе России, например, для окрашивания волокон и тканей в желтый цвет 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, желтый краситель получается из молодых листьев березы.

Можно и самим получить растительную краску или чернила (Опыт 6).

Растения, богатые пигментами, находили и находят применение в медицине. Пигмент ликопин (изомер бета-каротина, придающий окраску плодам томата, арбуза и др.) обладает выраженной антиоксидантной активностью, понижает уровень холестерина в крови, повышает физическую и умственную работоспособность. Лютеин (им богаты, например, ягоды черники) вместе с образующимся из него зеаксантином — главные пигменты желтого пятна сетчатки глаза; они обладают высокой антиоксидантной и фотосенсибилизирующей активностью – защищают сетчатку глаза от разрушительного действия ультрафиолетовых лучей  и преждевременного старения. Хлорофилл обладает стимулирующим и тонизирующим действием, повышает основной обмен, тонус кишечника, сердечно-сосудистой системы, дыхательного центра, стимулирует грануляцию и эпителизацию тканей, влияет на формулу крови, увеличивая количество лейкоцитов и гемоглобина, оказывает бактериостатическое действие. А еще хлорофилл усиливает иммунную функцию организма, ускоряя фагоцитоз, является предшественником витамина К, что обусловливает его использование для профилактики мочекаменной болезни, так как он сдерживает образование кристаллов оксалата кальция в моче, активизирует действие ферментов, участвующих в синтезе витаминов Е, А и К. Выводит из организма токсины, поддерживает здоровую кишечную флору, улучшает функции щитовидной и поджелудочной желез, а также действует как слабое мочегонное средство, способствует повышению лактации у кормящих матерей.

Меланиновые пигменты являются сильными антиоксидантами. Синтетический меланин в водных растворах ускоряет рост и созревание плодов, редуцирует деятельность камбия, ускоряет прорастание семян. В организме животных и человека меланины поглощают ультрафиолетовые лучи, защищая ткани глубоких слоев кожи от лучевого повреждения. Длительное введение водорастворимого меланина предотвращает язвообразование, снижает число кровоизлияний в слизистую желудка и препятствует снижению общей массы тела в условиях стресса. В процессе пищеварения меланин частично усваивается при участии микрофлоры кишечника, частично исполняет роль энтеросорбента, регулятора перистальтики, нормализует состав кишечной микрофлоры. Является активным антидотом при острых отравлениях, эффективно выводит из пищеварительного тракта токсины на ранней стадии отравления до их всасывания в кровь. Возможно применение меланина при лечении и профилактике онкологических заболеваний.

Хну (краску, получаемую из листьев кустарника лавсония) используют не только для окраски волос, которые становятся более жесткими, густыми и пышными, но и как бактерицидное средство. Препараты хны (мази и растворы красящих веществ) применяются при потении ног, при экземе, для лечения гнойных ран.

Растительные биофлавоноиды, представляющие собой группу биологически активных веществ (рутин, катехины, кверцетин, цитрин, гесперидин, эриодиктиол, цианидин) называют *витамином Р*. Всего известно около 150 биофлавоноидов. Особенно много их в цитрусовых, черной смородине, плодах шиповника, щавеле, зеленом чае, салате. Выделенный, например, из кожуры лимона этот витамин уменьшал ломкость и проницаемость капилляров. Этот витамин не вырабатывается нашим организмом и поэтому должен быть включен в ежедневный рацион питания.

Желтый флавиновый пигмент рибофлавин известен как витамин В2, а каротиноид ретинол – как витамин А.

**Таблица 1. Растительные красители для пищевых продуктов**

|  |  |
| --- | --- |
| **№ кода** | **Названия пищевых добавок** |
| E100 | Curcumins (куркумины) |
| E101 | Riboflavins (рибофлавины) |
| E102 | Tartazine (тартразин) |
| E110 | Sunset Yellow FCF (желтый «солнечный закат») |
| Е122 | Azorubine (азорубин) |
| E124 | Ponceau (понсо 4R, пунцовый 4R) |
| E131 | Patent Blue V (синий патентованный) |
| Е150 | Caramel (сахарный колер) |
| Е160 | Carotines (каротины) |
| E162 | Beet red (красный свекольный) |
| E163 | Anthoceanins (антоцианы) |

Не все пигменты обладают фармакологическим действием. Но все они нетоксичны и отлично подходят для окрашивания продуктов питания. В таком произведении кулинарного искусства, как торт, белковый нежирный крем окрашен в желтый цвет флавоновыми пигментами, вся гамма цветов от красного до синего обеспечивается антоцианами, красивый фиолетовый цвет – это бетацианин из свеклы, а зеленый, конечно же, появляется благодаря хлорофиллам. Жирный крем окрашен в желтый, оранжевый и красный цвета каротиноидами. А вот синих жирорастворимых пигментов у растений нет, поэтому если масляный крем имеет ярко-синий цвет, значит, использовался синтетический краситель.

 Говорить о пользе растительных пигментов и о значении их для нас можно бесконечно. Вот еще интересный пример – на способности растений менять окраску в зависимости от химического состава почвы основан биогеохимический метод поиска месторождений полезных ископаемых… «Ну и что?» – спросит кто-то. Да ничего… Просто, глядя на сочную зелень растений, пестрый ковер цветов, самодовольную красноту помидоров на дачном участке, подумайте о том, что все вокруг нас не случайно, все взаимосвязано, подумайте о том, как прекрасен, гармоничен и изумителен мир, в котором мы все живем.

**Практикум**

**Опыт 1. Почему лепестки цветков белые?**

*Цель:* убедиться в том, что белый цвет лепестков фиалки, ромашки, белой лилии и других цветов обусловлен не наличием красящего вещества, а развитой системой межклетников.

**1.**Рассмотрите под микроскопом лепесток белого цветка фиалки.

**2.**Удалите воздух из межклетников. Это можно сделать несколькими способами.

А. Осторожно сожмите лепесток пальцами. Воздух из межклетников выходит, и лепесток становится бесцветным и прозрачным, как лед.

Б. Погрузите лепестки в воду. Через несколько часов, когда вода через устьица проникнет в межклетники, лепестки станут бесцветными.

В. Лепестки поместите в шприц (без иглы) и заполните его водой. Установив шприц наконечником вверх, задвиньте поршень, чтобы вытеснить воздух. После этого закройте пальцем отверстие наконечника и отведите поршень вниз. В результате создавшегося разрежения из лепестков в воду начнут выделяться пузырьки воздуха. Через 1–2 мин воздух из межклетников выйдет. Вновь вдвиньте поршень в шприц – вода поступит в межклетники, и лепесток станет прозрачным.

**3.** Рассмотрите под микроскопом лепесток цветка фиалки, ставший прозрачным после опыта. Воздушные межклетники исчезли.

Вывод: белый цвет лепестков цветов обусловлен развитой системой межклетников.

**Опыт 2. Изучение индикаторных свойств антоцианов**

Антоцианы – водорастворимые пигменты. Их водную вытяжку можно получить из свеклы, из листьев краснокочанной капусты или из лепестков цветков с цветовой гаммой от розовой до фиолетовой. Для этого 0,5–1 г растительного вещества надо поместить в ступку и измельчить с небольшим количеством хорошо промытого песка, добавить около 5 мл воды и отфильтровать получившийся раствор. В зависимости от вида растения такая вытяжка может быть голубого, синего, фиолетового, розового, малинового цвета.

Антоцианы также содержатся в свекольном соке и соке плодов многих растений: смородины, черноплодной рябины, вишни, малины.

Далее нам понадобятся 1% соляная кислота или столовый уксус, 0,001% раствор гидроксида натрия или порошок питьевой соды, пробирки и индикаторная бумага.

В чистую пробирку налейте 2–3 мл вытяжки пигментов, добавьте 1–2 капли разбавленной кислоты. Если полученная вытяжка антоцианов имела первоначально буроватую окраску, то после добавления капель кислоты она примет красивый розово-красный цвет. Изменения окраски связаны с перестройками в молекуле антоциана.

Определите рН раствора с помощью индикаторной бумаги и добавляйте по каплям разбавленную щелочь или немного, на самом кончике ножа, порошка питьевой соды. Пронаблюдайте за изменением окраски раствора по мере изменения рН. Цикл изменения окраски антоциановых растворов под действием кислот и щелочей можно повторить несколько раз.

Испытайте индикаторные свойства растворов антоцианов, выделенных из разных растений. (Растворы пигментов быстро портятся, поэтому их лучше хранить в холодильнике и готовить непосредственно перед опытом.) *Вывод:* антоцианы изменяют окраску в зависимости от рН среды, их водные растворы можно использовать в качестве кислотно-щелочных индикаторов.

**Таблица 2. Изменения окраски водной вытяжки антоцианов различных растений в кислой и щелочной среде**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Растение** | **Цвет раствора исходный** | **Цвет раствора в кислой среде** | **Цвет раствора в щелочной среде** |
| Фиалка узамбарская | светло-синий | бледно-розовый | ярко-желтый |
| Земляника садовая (плоды) | ярко-розовый с красным | оранжевый | желтый |
| Львиный зев (красный) | красно-коричневый | бледно-розовый | желтый |
| Львиный зев (желтый) | синий | бледно-розовый | желтый |
| Базилик (фиолетовый) | темно-желтый | бледно-зеленый | желто-коричневый |
| Цикорий | светло-голубой | бледно-розовый | бледно-желтый |
| Смородина черная (сок плодов) | фиолетово-синий | темно-красный | темно-желтый |
| Смородина красная (сок плодов) | красный | ярко-красный | ярко-желтый |
| Малина (сок плодов) | ярко-розовый с малиновым | ярко-розовый | ярко-зеленый, затем желтый |
| Свекла (сок корнеплодов) | свекольный | ярко-красный | ярко-сине-зеленый, затем темно-желтый |
| Вишня обыкновенная (сок плодов) | вишневый | красный | ярко-зеленый, затем ярко-желтый |
| Черноплодная рябина (сок плодов) | коричнево-красный | грязно-красный | грязно-желтый |
| Зигокактус (декабрист) | светло-малиновый | бледно-розовый | желтый |
| Краснокочанная капуста | малиновый с сиреневым | ярко-розовый | синий, затем зеленый, затем желтый |

**Опыт 3. Доказательство влияния магния на цвет хлорофилла**

Характерное для хлорофилла поглощение света определяется химической структурой его молекулы. Система сопряженных двойных связей играет большую роль в поглощении сине-фиолетовых лучей. Присутствие магния в ядре молекулы обусловливает 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 работы понадобятся свежие листья злаков или комнатных растений, 95% этиловый спирт, фарфоровая ступка с пестиком, воронка и фильтровальная бумага, 10% раствор соляной кислоты, уксуснокислый цинк, спиртовка, пипетка, 4 пробирки.

Осторожно! Не забывайте о правилах работы с концентрированными кислотами!

Сначала надо получить спиртовую вытяжку пигментов листа. Для этого к измельченным листьям (для опыта достаточно 1–2 листьев пеларгонии) добавьте 5–10 мл этилового спирта, на кончике ножа порошок СаСО3 (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.

Рассмотрите полученный раствор хлорофилла в проходящем свете (он имеет зеленый цвет) и в отраженном свете (вишнево-красный – явление флуоресценции). Если добавить к вытяжке (в отдельной пробирке) несколько капель воды и встряхнуть, то прозрачный раствор хлорофилла мутнеет (явление флуоресценции исчезает).

Перенесите по 2–3 мл спиртовой вытяжки пигментов в три чистые пробирки. Одна из пробирок контрольная, в две другие добавьте по 2–3 капли раствора соляной кислоты. Цвет раствора меняется на бурый: в результате взаимодействия с кислотой магний в молекуле хлорофилла 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. Атом цинка замещает атомы водорода (заместившие ранее магний) в молекуле хлорофилла и бурый цвет раствора вновь меняется на зеленый.

*Вывод:* цвет хлорофилла зависит от наличия металлоорганической связи в его молекуле.

**Опыт 4. Изучение зависимости цвета вытяжки пигментов листа от количества хлорофилла**

В этом опыте свет должен проходить через раствор хлорофилла снизу вверх – нам понадобится источник света, который можно разместить под пробиркой. Это может быть положенная горизонтально настольная лампа без абажура, осветитель для аквариума, мощный фонарь и т.п. Кроме того, нужно приготовить темно-зеленую спиртовую вытяжку пигментов листа, как указано в опыте 3.

Высокую пробирку оберните черной бумагой, чтобы свет не попадал на раствор сбоку, и поместите ее над источником света. Смотрите в пробирку сверху и добавляйте в нее небольшими порциями раствор хлорофилла.

Пока вытяжки в пробирке немного, ее цвет изумрудно-зеленый – за счет поглощения в первую очередь лучей сине-фиолетовой и красной областей спектра. Голубые, желтые и оранжевые лучи поглощаются в очень небольшой степени. Однако по мере увеличения количества вытяжки в пробирке суммарное количество поглощенного света в этих областях (сначала в голубой и желтой областях спектра, а затем и зеленых лучей) возрастает. На определенном этапе остаются непоглощенными только дальние красные лучи, и раствор в пробирке приобретает вишнево-красный цвет.

*Вывод:* хлорофилл поглощает лучи большей части видимого спектра, но интенсивность поглощения разных лучей неодинакова. Суммарное поглощение зависит от общего количества хлорофилла.

**Опыт 5. Разделение смеси спирторастворимых пигментов**

Приготовим спиртовую вытяжку пигментов листа (Опыт 3). Вытяжка имеет зеленый цвет, но на самом деле в ней, помимо хлорофиллов, содержатся и желтые пигменты группы каротиноидов – каротин и ксантофилл. Убедиться в этом можно несколькими способами.

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).

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). В зеленой зоне можно различить две полосы: зеленую (хлорофилл а) и зелено-желтую (хлорофилл b).

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 фильтровальной бумаге, передвигаются по ней дальше хлорофилла.

На различной растворимости пигментов в разных растворителях основан еще один способ их разделения. Для этой работы нам понадобится чистый (для заправки зажигалок) бензин.

*Осторожно!*Не забывайте о правилах работы с огнеопасными жидкостями!

В пробирку налейте 2–3 мл спиртовой вытяжки пигментов листа, добавьте столько же бензина и 1–2 капли воды. Закройте пробирку пробкой (можно и большим пальцем), энергично взболтайте в течение 2–3 мин и дайте отстояться.

Жидкость в пробирке разделится на два слоя: более легкий бензин наверху, спирт – внизу. Спирт будет окрашен в желтый цвет пигментом ксантофиллом, который в бензине не растворяется. Бензиновый слой будет зеленым за счет растворенного в нем хлорофилла. На самом деле там же, в бензиновом слое, содержится и каротин, но его цвет маскируется интенсивно зеленым цветом хлорофилла.

Чтобы убедиться в том, что в бензиновом слое действительно присутствует пигмент каротин, нам понадобится 20% раствор гидроксида натрия или гидроксида калия.

*Осторожно!*Не забывайте о правилах работы с концентрированной щелочью!

По химическому строению хлорофилл представляет собой сложный эфир дикарбоновой кислоты хлорофиллина и двух спиртов: метилового и фитола. При взаимодействии сложных эфиров со щелочами происходит реакция омыления – разрыв сложноэфирных связей с образованием соли данной кислоты и спиртов. В результате реакции омыления хлорофилла образуется натриевая или калиевая соль хлорофиллина, метиловый спирт и фитол.

Налейте в пробирку 2–3 мл спиртовой вытяжки пигментов, добавьте 4–5 капель 20% раствора щелочи, закройте пробирку пробкой (в данном случае именно пробкой, не пальцем!), взболтайте. Происходит реакция взаимодействия хлорофилла со щелочью. Цвет раствора не меняется, так как хлорофиллины натрия и калия имеют зеленую окраску.

Добавьте в пробирку бензин в таком количестве, чтобы общий объем жидкости в пробирке увеличился в два раза, взболтайте и дайте отстояться. Жидкость в пробирке разделится на два слоя – внизу спирт, наверху – более легкий бензин.

Нижний спиртовой слой окрасится в зеленый цвет благодаря присутствию в нем соли – хлорофиллина натрия, которая, в отличие от хлорофилла, в бензине нерастворима. Здесь же, в спиртовом слое, находится пигмент ксантофилл, но его окраска маскируется интенсивно зеленым цветом натриевой соли хлорофиллина. Верхний слой бензина будет окрашен в желтый цвет пигментом каротином.

*Вывод:*спиртовая вытяжка листа содержит хлорофилл и два желтых пигмента – каротин и ксантофилл. Цвет листа растения в первую очередь зависит от количественного соотношения этих пигментов, а также от возможного присутствия пигментов группы антоцианов.

В продолжение работы интересно взять для анализа экстракты листьев разного цвета – разных видов растений и разного возраста. Взрослые сформировавшиеся листья содержат больше хлорофилла, чем молодые. Старые листья содержат больше желтых пигментов. Поэтому окраска листа изменяется с возрастом: от желто-зеленой у молодых до интенсивно зеленой у взрослых и желтой у опадающих осенних листьев.

**Опыт 6. Получение растительных красителей**

**I. Получение красителя из луковой шелухи**

Экстракт шелухи лука широко применяется для окрашивания пищевых продуктов и тканей в желто-коричневый цвет.

Для работы понадобятся  железо-аммонийные квасцы [(NH4)2SO4 × Fe2(SO4)3 × 24 H2O] и  сульфат железа (II).

**1.** 100 г луковой шелухи залейте на 30–35 мин 1 л теплой воды, добавьте 1 чайную ложку питьевой соды и прокипятите 1,5 ч на слабом огне, слегка помешивая.

**2.** Экстракт слейте, а шелуху лука еще раз залейте небольшим количеством 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.

Для получения стойкого окрашивания нужно использовать протравитель (4 г квасцов или 1 г сульфата железа на 2 л воды). Окраску можно проводить тремя способами:

а) с предварительным протравливанием: окрашиваемый  материал  прокипятите 15–20 мин в растворе протравителя, затем переложите в холодный раствор красителя и прокипятите 45–60 мин;

б) с одновременным протравливанием: раствор протравителя добавьте к раствору красителя, опустите туда окрашиваемый материал и, все время его переворачивая, доведите до кипения;

 в) с последующим протравливанием: материал прокипятите около 1 ч в отваре красителя, затем добавьте в раствор протравитель и кипятите еще 40 мин.

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

При кипячении в экстракте из луковой шелухи материал постепенно окрасится в темно-коричневый цвет. При одновременном использовании квасцов или сульфата железа (II) материал окрасится в черный цвет.

Другие варианты окрашивания с помощью растительных материалов приведены в таблице 3.

**Таблица 3. Окраска растительными красителями с протравой**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **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 |

**II. Получение чернил из растительного материала**

Некоторые виды растительного сырья, богатого дубильными веществами, могут быть использованы в качестве чернил. Для работы понадобится сульфат железа (II).

**1.**Приготовьте  20% водный раствор сульфата железа (II).

**2.** Залейте 2 г сухого чайного листа 50 мл горячей воды и нагревайте 30–40 мин на кипящей водяной бане.

**3.**Раствор отфильтруйте, к осадку добавьте еще 20–25 мл воды, прокипятите и снова отфильтруйте. Фильтраты объедините и упарьте до объема 8–10 мл.

**4.** К 2 мл теплого фильтрата добавьте 0,5–1 мл 20% раствора сульфата железа (II) до появления черного цвета. Чтобы загустить чернила, добавьте 1–2 г сахарного песка.

Вместо чая можно использовать другое сырье, богатое дубильными веществами: дубовую кору, корни лапчатки прямостоячей или щавеля курчавого, плоды конского каштана обыкновенного или бузины черной. Такого материала для работы понадобится 50–100 г.

**Опыт 7. Изготовление самодельной индикаторной бумаги**

Лучшими индикаторными свойствами обладает вытяжка из листьев краснокочанной капусты. Исходно она имеет малиново-сиреневый цвет. В сильнокислой среде (рН 2–3) приобретает красный, а при рН 4–5 – розовый цвет. Далее по мере нейтрализации розово-красный цвет изменяется сначала на сиреневый, затем на светло-синий (рН 6–7). При переходе значений рН в щелочную область цвет раствора  становится зеленым (рН 8), желто-зеленым (рН 9–10) и в сильно щелочной среде (рН выше 10) – желтым.

Пропитав этой вытяжкой полоски фильтровальной бумаги и высушив их, можно получить хорошую индикаторную бумагу для достаточно точного определения рН растворов в кислой области. Чтобы приготовить индикатор на щелочь (красную индикаторную бумагу) вытяжку краснокочанной капусты перед пропитыванием фильтровальной бумаги нужно предварительно подкислить 1–2 каплями уксуса до появления розовой окраски.

Индикаторные свойства красителя из краснокачанной капусты сходны с лакмусом: область перехода окраски лежит в интервале рН 3–12. Для более точного определения рН раствора  нужно составить цветную шкалу изменений окраски этого индикатора.

Полученную индикаторную бумагу можно использовать для определения рН различных веществ и кислотности почвы (табл. 4).

**Таблица 4. Изменение окраски индикатора из краснокочанной капусты в растворах бытовых веществ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Вещество** | **Цвет индикатора** | **рН среды** |
| Зубная паста «Colgate» | Светло-синий | рН 8-9 |
| Зубная паста «Aquarelle» | Светло-голубой | рН 7-8 |
| Чистящий порошок «Дени», «Миф» | Тёмно-синий | рН 9-10 |
| Чистящий порошок «Dosia» | Синий | рН 8-9 |
| Чистящий порошок «Тайд» | Светло-синий | рН 8 |
| Чистящее средство «Lock» | Не изменился | рН 7 |
| Чистящее средство «Oven cleaner», фирма «Amwei» | Насыщенно тёмно-синий цвет, практически чёрный | рН 11 |
| Мыло «Детское», «Тик-так» | Светло-синий | рН 8-9 |
| Мыло «Dove» | Не изменился | рН 7 |
| Яблочный сок (самодельный) | Ярко-розовый | рН 5 |
| Аспирин | Красный | РН 4,5 |
| Альбуцид (глазные капли) | Ярко-синий | рН 8-9 |
| Почва для фиалок | Слабый светло-голубой, более тёмный по краям | рН 7-8 |
| Почва универсальная овощная | Слабый светло-голубой | рН 7-8 |
| Почва универсальная для цветов | Не изменился | рН 7 |
| Снег около лесных посадок | Не изменился | рН 7 |
| Снег вблизи проезжей части | Светло-розовый | рН 6-7 |

**Литература**

Артамонов В.И. Занимательная физиология растений. – М.: Агропромиздат, 1991.  
Бердоносов С.С., Бердоносов П.С. Справочник по общей химии. – М.: АСТ Астрель, 2002.   
Головко Т.К. Дыхание растений (физиологические аспекты). – СПб: Наука, 1999.   
Детская энциклопедия. – М.: Академия педагогических наук РСФСР, 1959.  
Заленский О.В. Эколого-физиологические аспекты изучения фотосинтеза / Тимирязевские чтения. – Л.: Наука, 1977. Вып. 37. 57 с.   
Лебедева Т.С., Сытник К.М. Пигменты растительного мира. – Киев: Наукова думка, 1986.   
Ольгин О. Опыты без взрыва. – М.: Химия, 1986.  
Пчелов А.М. Природа и ее жизнь. – Л.: Жизнь, 1990.  
Эткинс П. Молекулы. – М.: Мир, 1991.

**Фото М. и О.Бариновых**