

Всероссийская научно-практическая конференция обучающихся,
посвященная 310-летию со дня рождения М.В. Ломоносова «Познаём.
Исследуем. Проектируем»

Секция: химия, экология

Исследование свойств хлорофилла комнатных растений

Выполнил: Булатова Наталья 11 класс

Руководитель: Борисович И.В.,
учитель химии

Казань- 2021

Содержание

1. Введение	3
2. Глава I. Постановка проблемы	5
1.1. Строение хлорофилла и его биологическая роль	5
3. Глава II Анализ имеющейся литературы	7
2.1. Фотохимия хлорофилла	7
2.2. Энергетика фотосинтеза	11
2.3. Молекулярный механизм фотосинтеза	13
2.4. Что происходит с молекулой хлорофилла в процессе фотосинтеза	15
2.5. Хроматография	16
4. Глава III Практическая часть	18
3.1. Исследования содержания хлорофилла в комнатных растениях	18
10. Заключение	24
11. Список использованная литературы	26
12. Приложения	28

Введение

В 1817 году французские химики П. Пеллетье и Ж. Каванту с помощью спирта экстрагировали из листьев растений зелёный пигмент, который назвали хлорофиллом (от греческих слов «хлорос» - «жёлто-зелёный», «филлон» - «лист»). Химический помощник растений — зеленое вещество хлорофилл, которое на самом деле состоит из нескольких веществ разного цвета, различных по свойствам. Громадную роль хлорофилла в возникновении и развитии жизни на земле показал во второй половине 19 века русский ученый-естествоиспытатель К.А. Тимирязев.

Все млекопитающие, кроме *Хомо сапиенс*, во время болезни придерживаются зеленой диеты (5). Целительная сила зеленых растений напрямую зависит от содержания хлорофилла. Научное определение хлорофилла - это зелёный пигмент растений, с помощью которого они улавливают энергию солнечного света и осуществляют фотосинтез. Явление фотосинтеза открыл в 1772 году английский учёный Дж. Пристли. Он показал, что испорченный воздух становится пригодным для дыхания при участии зелёных растений под действием света (3,6,17,18,20).

Ученые обнаружили удивительное сходство в строении молекулы хлорофилла и гемоглобина - основного дыхательного пигмента крови человека. Единственное отличие заключается в том, что в центре хелатного комплекса в хлорофилле находится атом магния, а в гемоглобине - железа. Поэтому хлорофилл способен оказывать на кровь воздействие сходное с действием гемоглобина: повышать уровень кислорода, ускорять азотистый обмен. Хлорофилл укрепляет клеточные мембраны, способствует формированию соединительных тканей, что помогает в заживлении эрозий, язв, открытых ран (приложение 1). Хлорофилл усиливает иммунную функцию организма, ускоряя фагоцитоз. Кроме этих удивительных качеств, хлорофилл способен предотвращать патологические изменения молекул ДНК. В составе хлорофилла имеется витамин К. Хлорофилл выводит из организма токсины, повышает функцию щитовидной и поджелудочных

желез, помогает при анемических состояниях, регулирует кровяное давление, усиливает работу кишечника, снижает нервозность. Хлорофилл применяется как лекарственный и пищевой пигмент, в частности используется при приготовлении препарата для лечения гепатита (приложение 2), а также в косметологии.

Проанализировав литературу, мы пришли к выводу, что тема изучения хлорофилла востребована в научных кругах. Ученые исследуют механизм фотосинтеза, способность растений очищать воздух. Наиболее интересные и актуальные направления – это лечебные и фотохимические свойства хлорофилла. В литературе многие аспекты проблемы освещены широко, тем не менее исследования еще не завершены и возможно открытие новых свойств и области применения хлорофилла. На основании анализа литературы мы выделили область наших исследований: некоторые химические свойства хлорофилла, содержание хлорофилла в различных растениях и роль хлорофилла в биологических процессах.

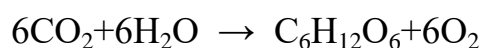
Мы обратили внимание на экологические аспекты. В последнее время промышленные предприятия сильно загрязняют окружающую среду. Мы провели эксперимент и выяснили, как на растения влияют промышленные выбросы, сильная засуха и перегрев.

В нашей работе мы выделили из растений активное вещество-хлорофилл и исследовали содержания хлорофилла в различных видах растения. Мы узнали, как изменяется содержание хлорофилла в растениях в зависимости от их отношения к свету, месторасположения в помещении. Нам удалось определить, в каких растениях содержится больше хлорофилла фракции *a*, а в каких - фракции *b* и установить связь с типом растений. Мы проанализировали различия фракций *a* и *b* по свойствам, строению и активности. Свой эксперимент мы провели на основе комнатных растений, которые находятся в учебных классах нашей школы. На основе эксперимента мы разработали рекомендации по подбору растений для озеленения школы, дома и других помещений.

Глава I. Современные представления о хлорофилле.

1.1. Строение хлорофилла и его биологическая роль

Зелёный цвет растениям придаёт зелёный пигмент хлорофилл. Благодаря хлорофиллу растения улавливают энергию солнечного света и с её помощью образуют для себя пищу из воды, углекислого газа и некоторых минеральных веществ. Этот процесс называется фотосинтезом. Вода, поглощённая корнями, вступает в реакцию с оксидом углерода(IV), взятым из воздуха. Хлорофилл поглощает из солнечного спектра красные и фиолетовые лучи. За счёт использования их энергии (аккумулированной в АТФ) осуществляется синтез органических соединений.



В результате образуется глюкоза (сахар) и выделяется кислород. Растение использует глюкозу как источник энергии в процессе дыхания.

В процессе фотосинтеза растения нашей планеты усваивают ежегодно до $4 \cdot 10^{10}$ тонн углерода. При этом выделяется огромное количество кислорода; так восполняется в атмосфере кислород, расходуемый на процессы дыхания, горения, медленного окисления. Оксид углерода (IV), образующийся в этих процессах вновь ассимилируется растениями. В результате состав атмосферы остается довольно постоянным (8,15,19,20).

Не секрет, что жизнь на Земле основана на фотосинтезе, обеспечивающем организмы пищей и кислородом. Весь кислород в атмосфере - результат фотосинтеза. Энергетические потребности в конце XX века на 95% обеспечивались сжиганием продуктов фотосинтеза (угля, нефти, газа). По прогнозам, и в первой четверти XXI века 80% потребностей в энергии будет удовлетворяться продуктами фотосинтеза. Да и значительная часть сырья для промышленности и стройматериалов — также продукт фотосинтеза. Похоже, полная зависимость человечества от фотосинтеза сохранится

надолго (по крайней мере, до овладения термоядерной энергией, которая, как надеются, удовлетворит его растущие потребности).

В спектре солнечного излучения, достигающего поверхности Земли, коротковолновая граница (300 нм) определяется поглощением коротких волн (ультрафиолета) слоем озона в верхних слоях атмосферы, а на видимую область (до 700 нм), именуемую также фотосинтетически активной радиацией (ФАР), приходится примерно половина энергии этого излучения и столько же — на инфракрасную, непригодную для растений. Бактерии же, содержащие бактериохлорофилл *b*, используют для фотосинтеза излучение с длиной волны до 1 МК (приложение №3).

По химической природе хлорофилл - сложный эфир дикарбоновой кислоты - хлорофиллина двух спиртов - метилового и фитина (4). Хлорофилл относится к числу широко распространённых в живой природе пигментов порфиринов, в основе молекул которых лежит порфин-структура из их колец пиррола. Основу структуры молекулы хлорофилла составляет магниевый комплекс порфиринового цикла и атома азота. Хлорофилл содержится в особых клеточных структурах-хлоропластах. Внутри хлоропласта видны гравированные столбики, сложенные из плоских мешочков-ламелл. Оболочки образующие эти мешочки, и содержат хлорофилл, осуществляющий реакцию фотосинтеза. Хлорофилл играет чрезвычайно важную роль в жизни растений, являясь сенсбилизатором в процессе фотосинтеза. Поглощая солнечный свет, молекула хлорофилла поставляет энергию с нужной длиной волны для реализации в клетке процесса фотосинтеза.

Зеленый пигмент растений хлорофилл содержит в частично гидрированном порфириновом цикле комплексно связанный Mg. Один остаток пропионовой кислоты этерифицирован спиртом *фитолом* $C_{20}H_{39}OH$. Из растений выделены хлорофилл *a* (сине-черные кристаллы) и хлорофилл *b* (темно-зеленые кристаллы):

В 1960 году американский химик Р. Вудворд синтезировал обе модификации – *a* и *b*. (Приложение 4)

Глава II Анализ имеющейся литературы

2.1. Фотохимия хлорофилла

Фотохимию хлорофилла и его аналогов изучают уже давно (7,11,12,13,14,). Несколько десятков лет занимались ею и в Институте биохимии им. А.Н. Баха, где были открыты обратимые и необратимые превращения хлорофилла под действием света.

Поглощая квант света, молекула хлорофилла оказывается в возбужденном состоянии, в котором она пребывает около 10^{-9} с, после чего с некоторой потерей энергии переходит в более стабильное состояние. В обоих состояниях возбужденные молекулы хлорофилла (Хл*) обладают повышенной реакционной способностью, с готовностью взаимодействуя с источниками (донорами — на приложение 2 обозначены как Д) или стоками (акцепторами — на приложение 2 обозначены как А) электронов. Первичный фотохимический процесс (приложение 5) сводится к тому, что возбужденная молекула хлорофилла отдает электрон акцептору или получает его от донора. Эти реакции обратимы (с равной вероятностью протекают в противоположных направлениях). Промежуточные состояния хлорофилла способствуют фотохимическому переносу электрона. Возбужденный хлорофилл легче отдает электрон, т. е. под действием света становится донором, а феофитин — заимствует его, превращаясь на свету в акцептор. Именно эта способность возбужденных молекул хлорофилла и его аналогов к обратимому переносу электрона — основа действия пигментов, концентрирующихся в реакционных центрах.

У пурпурных фотосинтезирующих бактерий реакционные центры, как правило, содержат 3 субклеточных белковых комплекса, 4 молекулы хлорофилла, 2 — феофитина, 1—2 атома железа в комплексе с убихиноном.

Время переноса электрона в реакционном центре удалось определить с помощью лазерной и импульсной спектроскопии. Еще в 1970-е годы отечественные исследователи выяснили, что при поглощении света электрон пе-

редается (приложение 6) от одной формы молекулы хлорофилла (димер с максимумом поглощения на длине волны излучения 870 нм) к другой (с максимумом поглощения 800 нм) за 10 пс ($1 \text{ пс} = 10^{-12} \text{ с}$), затем — к феофитину (за 30 пс), а от него — к убихинону (за 250 пс).

Это ведет к пространственному разделению зарядов между димером хлорофилла и убихиноном. В таком состоянии (с разделенными зарядами) реакционный центр может находиться довольно долго (до 0,1 с). Интересно, что перенос электрона в реакционных центрах наблюдался даже при температуре жидкого гелия, так что, похоже, этот процесс протекает на основе туннельного эффекта — одного из основных эффектов квантовой механики. А взаимное расположение молекул хлорофилла и феофитина в реакционных центрах благоприятствует разделению зарядов.

В отличие от бактерий, реакционные центры в зеленых растениях в чистом виде выделить пока не удалось, хотя в культурах, искусственно обогащенных ими, перенос электрона от хлорофилла к феофитину довелось наблюдать еще в середине 1970-х. Похоже, именно система «хлорофилл — феофитин» обеспечивает перенос электрона во всех организмах, способных к фотосинтезу.

Все основные участники этого процесса расположены в хлоропластах и хроматофорах так, что образующиеся в итоге активные окислители и восстановители оказываются по разные стороны мембраны. Возможно, происходит это из-за анизотропного переноса электронов в мембране и ее непроницаемости для ионов водорода. (Механизмы действия мембран и пути трансформации энергии света в электрическую энергию подробно рассмотрены в обзоре В.П. Скулачева «Успехи современной биологии».)

Составив общее представление о механизмах фотосинтеза, можно перейти к рассмотрению перспектив биологического использования солнечной энергии, где уже просматриваются несколько главных направлений. Одно из направлений это очищение воздуха в помещениях.

К сожалению, экологическая обстановка в наших домах и офисах оставляет желать лучшего. По данным немецких ученых, воздух, которым мы дышим, содержит более 1000 вредных веществ, в том числе около 250 высокотоксичных и порядка 15 канцерогенных соединений. Специалисты, проводившие контрольные замеры воздуха закрытых помещений, отмечают, что концентрация вредных веществ повсеместно в 2-5 (а иногда и 100!) раз превышает предельно допустимые нормы.

Древесностружечные плиты, пластмассы, пенопласт и другие современные материалы, присутствующие в наших домах, содержат формальдегид. Этот бесцветный газ очень ядовит. Даже в незначительных концентрациях он вызывает раздражение верхних дыхательных путей, постоянную головную боль и тошноту, нарушает деятельность желудочно-кишечного тракта.

Не меньшую опасность представляет для нашего здоровья окись углерода, выделяющаяся при работе газовых плит и колонок. Эти вещества оказывают неблагоприятное воздействие на легкие и верхние дыхательные пути, увеличивают частоту респираторных заболеваний. Существуют еще бензол, трихлорэтилен и другие, не менее токсичные соединения.

Открытое окно не поможет исправить положение - воздух на улице (по крайней мере, в больших городах) не намного лучше. Кондиционер тоже не сможет исправить ситуацию - даже самые современные технические средства не могут обеспечить здоровую воздушную среду в закрытых помещениях.

Зато это вполне по силам растениям, которые отфильтровывают большую часть вредных веществ, что убедительно доказали исследования, проведенные специалистами NASA.

В начале 90-х годов прошлого века в рамках подготовки пилотируемого полета на Марс группа доктора Волвертона провела следующий эксперимент. В закрытую камеру помещали различные растения, после чего закачивали в нее газ, содержащий химические вещества, типичные для наших домов. Было установлено, что в отношении формальдегида наиболее активны

алоэ (поглощает до 90 %), хлорофитум (86 %). С бензолом наиболее успешно справляются драцена (79 %). Эти же растения способны противостоять трихлорэтилену (23 % поглощает спатифиллум, от 13 до 20%, в зависимости от вида, драцена). Что касается окислов углерода, то в борьбе с ними незаменимы хлорофитум, поглощающий до 96 % этого вредного вещества, и эпипремнум (75 %) (приложение 7). Столь впечатляющий эффект обусловлен особыми физиологическими свойствами растений. Различные химические вещества оседают на листьях и воздушных корнях, часть из них используется самим растением, основная же масса достается бактериям-симбионтам, которые живут на корнях растений и перерабатывают полученный химический коктейль. Таким образом, растение представляет собой уникальный биофильтр, которому, кстати, не требуется дополнительное очищение. Максимальными воздухоочистительными способностями обладают, как правило, растения с большим количеством устьиц (микроскопических щелей на листьях, через которые происходит поглощение газообразных веществ из воздуха) и большим объемом листовой поверхности. Идеален в этом отношении хлорофитум хохлатый (86 %). Это весьма популярное домашнее растение уникально уже тем, что лучше всего чувствует себя в сильно загрязненной воздушной среде. Одно растение хлорофитума хохлатого может полностью нейтрализовать первичную концентрацию толуола и бензола в течение 96 часов. На 10 кв. м. площади, при высоте потолков 2,40-3 м рекомендуется 1 растение. Это значит, что вам понадобится 2-3 растения, чтобы ощутимо очищать воздух, если размер гостиной - 20-25 кв. м.

2.2. Энергетика фотосинтеза

Итак, лишь половина падающей на Землю солнечной энергии пригодна для фотосинтеза, поэтому КПД растений при фотосинтезе не выше 15%.

Как же расходуется солнечное излучение на поверхности планеты? Оценки показывают, что в среднем не более 0,1% его энергии идет на фотосинтез растений суши и планктона океана. Но и эта величина в 10 раз превышает все энергетические затраты человечества (см. приложение 8). В пищу же потребляют менее 1 % общей продукции фотосинтеза на суше и еще меньше — в океане (в основном рыба, использование же первичной продукции фотосинтеза ничтожно).

Солнечная энергия протекает с поглощением энергии, запасаемой продуктами реакции ($\Delta E = 120$ ккал на 1 моль, или $6,022 \cdot 10^{23}$ молекул). Иными словами, такую реакцию можно осуществить, лишь подводя энергию извне. Поэтому кислород и сахара в принципе нельзя получить из воды и углекислоты, применяя только катализаторы, тогда как обратный процесс (окисление углеводов кислородом при дыхании в живых организмах) протекает за счет биокатализаторов.

Хлорофилл и другие пигменты служат своеобразной антенной, улавливающей солнечный свет и преобразующей его в химическую энергию продуктов фотосинтеза (4,12,15,16).

Наиболее интенсивно хлорофилл поглощает солнечный свет в красной области спектра (длина волны примерно 680 нм). Энергия 1 Э* здесь около 40 ккал, так что для фотосинтеза надо минимум 3 (120:40) кванта красного света на каждую молекулу углекислоты (морским водорослям из-за низкой интенсивности света требуется от 8 до 12 квантов). Если принять среднюю величину за 10 квантов, то максимальный КПД преобразования солнечной энергии в химическую при фотосинтезе составит 30%. Остальные 70% энергии света в итоге превращаются в тепло, которые в ходе фотосинтеза тра-

тятся на преодоление потенциальных барьеров промежуточных реакций, на обратные реакции активных фотопродуктов и, возможно, на другие внутренние нужды клетки.

Растения используют для фотосинтеза малую часть доступной солнечной энергии: сахарный тростник — в среднем за год не больше 2%, зерновые — 1 %. Более полное использование солнечной энергии растениями — главная задача физиологии растений и агротехники.

Однако, более общая задача — использование солнечной энергии не растениями, а человеком. Для этого должны быть созданы устройства, способные запастись солнечную энергию и отдавать ее в виде, пригодном для непосредственного использования.

2.3. Молекулярный механизм фотосинтеза

Каков молекулярный механизм фотосинтеза? Клетки фототрофов имеют характерные органоиды, улавливающие энергию квантов (хлоропласты у растений и хроматофоры у бактерий). Они защищены особыми мембранами и содержат хлорофилл и другие пигменты, поглощающие свет, а также дополнительные ферменты, обеспечивающие протекание некоторых стадий фотосинтеза в темноте.

Процесс фотосинтеза можно разделить на два основных этапа: перенос электрона и углеродный цикл.

При переносе электрона, который в химической терминологии связывают с окислительно-восстановительными реакциями (реакция восстановления — присоединение электронов, окисление — отдача) образуются особые вещества — аденозинтрифосфат (АТФ) и никотинамидалениндинуклеотид-фосфаты (НАД (Ф)*Н или НАДН), которые запасают солнечную энергию и участвуют затем в углеродном Цикле, проходящем уже без поглощения света. Его механизм раскрыл в 1950-х годах американский химик М. Калвин (нобелевская премия за 1961 г.), используя для этого долгоживущий изотоп углерода С. В этом цикле углекислота окисляет рибулезоди-фосфат (РДФ), образуя фосфор-глицериновую кислоту (ФГК), которая затем восстанавливается при помощи.

НАД (Ф)*Н с образованием продуктов реакции — триозофосфата (ТФ), гексозофосфата (ГФ) и сахаров. Часть промежуточных соединений в дальнейшем повторно используется в реакции для восстановления РДФ.

Преобразуется же энергия света в химическую за счет переноса электрона на первом этапе фотосинтеза, протекающем на свету. В растениях источником водорода служит молекула воды (которая при поглощении растением света разрушается и образует молекулу кислорода и водород), а в бактериях — органические или неорганические источники (молекулы, обладающие донорными свойствами, т. е. способностью под действием возбуждения от-

цеплять положительный ион водорода); поэтому при бактериальном фотосинтезе кислород не выделяется.

Уже во многих лабораториях выявлена последовательность фотохимических и ферментативных реакций первого этапа фотосинтеза. Во время, которых энергия квантов света используется дважды в различных участках цепи для последовательного переноса электрона с одного энергетического уровня на другой. (Приложение 9.1)

Все реакции первого этапа происходят в мембранах хлоропластов. Применяв весьма изощренные методы, ученые выделили в них две разные фотосистемы и исследовали их функции. В каждой из них основная часть хлорофилла служит улавливающей свет антенной, а другая (меньшая) часть сосредоточена в реакционных центрах, непосредственно участвующих в переносе электрона. Энергия света, поглощаемая хлорофиллом, достигая реакционных центров, инициирует первичный фотохимический процесс (Приложение 9.2).

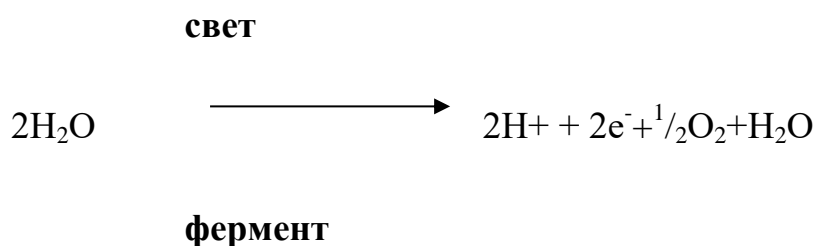
В ряде случаев удастся выделить также сами реакционные центры и изучить происходящие в них процессы при переносе электрона. Наиболее изучены реакционные центры, выделенные из фотосинтезирующих пурпурных бактерий. В этих центрах содержится хлорофилл и его аналог — феофитин (в его молекуле отсутствуют атомы магния), а также источники и стоки электронов, зафиксированные на белково-липидных структурах. Именно перенос электронов в реакционных центрах определяет суть первичного преобразования энергии света.

«Рабочие элементы» реакционных центров — молекулы хлорофилла и феофитина, так что для воссоздания отчетливой картины первого этапа фотосинтеза необходимо прежде всего понять, как на них действует свет.

2.4. Что происходит с молекулой хлорофилла в процессе фотосинтеза

Молекула хлорофилла имеет систему двойных связей, благодаря чему при поглощении кванта света она способна перейти в возбуждённое состояние, т.е. один из её электронов изменяет своё положение, поднимаясь на более высокий энергетический уровень(7, 13,14,16). Это возбуждение передаётся так называемой основной молекуле хлорофилла, которая способна к разделению заряда: отдаёт электрон акцептору, который отправляет его по системе переносчиков в электронно-транспортную цепь, где электрон отдаёт энергию в окислительно-восстановительных реакциях. За счёт этой энергии протоны водорода «перекачиваются» с внешней стороны мембраны тилакоидов на внутреннюю. Образуется разность потенциалов водородных ионов, энергия которой идёт на синтез АТФ.

Молекула хлорофилла, отдавая электрон, окисляется. Возникает так называемая электронная недостаточность. Чтобы процесс фотосинтеза не прерывался, она должна быть возмещена другим электроном. Источник электронов, а также протонов - вода. Под действием солнечного света, а также с участием особого фермента растение фотоокисляет воду:



Полученные таким образом электроны заполняют электронную недостаточность в молекуле хлорофилла, а протоны идут на восстановление НАДФ (активной группе ферментов, транспортирующих водород).

2.5. Хроматография

Различают основные пять методов хроматографического анализа: адсорбционный, распределительный, ионообменный, осадочный, эксклюзионный (1,9,10,21).

Метод, которым мы воспользовались для выделения хлорофилла, называется адсорбционной хроматографией. Его изобрел в 1906 г. русский ботаник Михаил Семенович Цвет. Хроматография основана на различной способности порошкообразных веществ-поглотителей (адсорбентов) удерживать вещества, даже если они отличаются по свойствам совсем немного. В 1903 г русский учёный М. С. Цвет хроматографически разделил две модификации (видоизменения) хлорофилла *a* $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ и *b* $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ (приложение 4), пропуская раствор хлорофилла через трубку с порошком мела (в связи с разной способностью к адсорбированию каждый пигмент концентрируется в строго определённом слое адсорбента). В ходе исследований он выяснил, что хлорофилл, *a* имеет синеватый, а хлорофилл, *b* желтоватый оттенок. Хлорофилла *a* в листьях больше, чем хлорофилла *b* (3:1). Окончательно формула одной из модификаций (*a*) была установлена в 1939г немецким химиком Г. Фишером (см. приложение 10).

В настоящее время разделение пигментов проводят не только в адсорбционной хроматографической колонке (см. приложение 11), но и с помощью хроматографии на бумаге. Этот метод был предложен в 1944 году английскими химиками Р. Консденом, А. Гордоном и А. Мартином. Синтетический хлорофилл получен Вудвардом в Гарвардском университете в 1958—1960гг. Порфириновое ядро хлорофилла содержит сопряженную систему кратных связей, содержащую $26(4n + 2)$ при $n = 6$ обобщенных электронов и, согласно правилу Хюккеля, ароматично (отрицательные заряды, как и в геме, делокализованы по порфириновому кольцу). В хромопластах

клеток растений хлорофилл связан с белком — *пластином*, образуя хромопротеид — *хлорпластин*.

Проанализировав литературу, мы пришли к выводу, что тема изучения хлорофилла востребована в научных кругах. Ученые исследуют механизм фотосинтеза, способность растений очищать воздух. Наиболее интересные и актуальные направления – это лечебные и фотохимические свойства хлорофилла. В литературе многие аспекты проблемы освещены широко, тем не менее исследования еще не завершены и возможно открытие новых свойств и области применения хлорофилла. На основании анализа литературы мы выделили область наших исследований: некоторые химические свойства хлорофилла, содержание хлорофилла в различных растениях и роль хлорофилла в биологических процессах.

Глава III. Практическая часть

3.1. Исследования содержания хлорофилла в комнатных растений

Извлечение хлорофилла из растительного сырья мы проводили методом адсорбционной хроматографии (Необходимое оборудование см. приложение 12 опыт №1). Для этого опыта мы использовали 3 вида растений: светолюбивые, теневыносливые и одинаковые по отношению к свету. Мы растёрли в ступке 10 листьев каждого растения, добавив к ним немного речного песка, чтобы измельчение шло более интенсивно. Для нейтрализации кислоты, которая присутствует в растении, добавили несколько крупинок гидрокарбоната натрия. К полученной после растирания зеленой каше добавили 50 мл ацетона и перенесли смесь в колбу с пришлифованной пробкой. Выдержали смесь в колбе в темном месте около часа, время от времени взбалтывая ее.

Затем мы подготовили колонку с адсорбентом (поглотителем), чтобы провести разделение составных частей хлорофилла. Для этой цели мы использовали стеклянную трубку (колонку), снизу закрытую пробкой с отверстием и выходной трубкой. На пробку поместили кусочек ваты, сверху которой насыпаем слой поглотителя — карбонат кальция CaCO_3 (сухой и растертый в ступке мел); его слой должен быть высотой 4 см. Еще выше поместили слоем высотой 6 см тонко размолотую и высушенную сахарную пудру. По истечении часа, когда ацетон извлек из растительных клеток весь хлорофилл, мы отфильтровали его через воронку с комочком ваты, отделяя растительные волокна и песок, фильтрат (жидкость) в проходящем свете выглядит изумрудно-зеленым, а в отраженном свете приобретает красноватый оттенок. В колонку мы налили несколько миллилитров ацетона, а после того как ацетон прошел через слои поглотителей и увлажнил их, влили в колонку раствор хлорофилла. Мы обнаружили в колонке несколько разноцветных слоев — «зон». Чтобы их различие было еще более явственным, налили в

колонку еще 10 мл ацетона и подождали, пока он весь пройдет через слой поглотителей.

Мы обнаружили в колонке две зоны разного цвета. В соответствии с литературой мы выяснили, что верхняя, желто-зеленая зона, содержит фракцию хлорофилла *б*, а сине-зеленая зона чуть ниже — фракцию хлорофилла *а*. Это две разновидности важного для растений вещества - хлорофилла. Провели количественный анализ фракций *а* и *б* по растительному сырью. Для этого мы взяли навеску зелёной массы сырья и навеску полученного хлорофилла *а* и *б*. После серии взвешивания вычислили массовую долю получили следующий результат: в светолюбивых растениях больше фракции хлорофилла *б*, а в теневыносливых больше фракции хлорофилла *а* (см. приложение 13). Нам стало интересно, какими химическими свойствами они отличаются. Для этого мы извлекли из поглотителей эти фракции и пропустили через слой активированного угля. Наблюдения показали, что фракция хлорофилла *а* адсорбируется полностью, а фракция хлорофилла *б* адсорбируется частично. Добавив в хлорофилл йодную настойку, мы увидели, что раствор с фракцией хлорофилла *а* однороден и прозрачен, осадок не выпал, а раствор с хлорофиллом *б* мутный, выпал осадок. Сверху ярко выражена плёнка зелёно-коричневого цвета (см. приложение 13). В результате этого опыта выяснили, что свойство обеих фракций различно.

Мы сравнили скорость движения хлорофилла *а* и *б* с помощью круговой хроматограммы на бумаге (нужное оборудование см. приложение 12 опыт №2). На лист белой промокательной бумаги капельницей нанесли одну каплю хлорофилловой вытяжки. Потом в центр образовавшегося пятна также капельницей одну за другой добавили несколько капель одеколona, каждую следующую каплю наносили лишь после впитывания предыдущей. Видно расслоение: в центре более тёмный слой, а по краям более светлый. В результате опыта мы узнали, что хлорофилл *а* быстрее продвигается.

Из книжных источников мы выяснили, что растения выделяют кислород только днем, мы решили это проверить (нужное оборудование см. приложе-

ние 12 опыт №3). Для этого мы опустили в стакан с водой зелёные нитчатые водоросли (зелёная «тина»), обернули их прозрачной полиэтиленовой плёнкой, получилось подобие воронки. Опустили на конец такой воронки пробирку, заполненную водой, закрепили её провололочкой в вертикальном положении. Всё это поставили на свет и наблюдали за происходящими при этом изменениями.

Мы решили убедиться в том, что в спиртовой вытяжке наряду с хлорофиллом присутствуют жёлтые пигменты. Мы провели опыт с фильтровальной бумагой (нужное оборудование см. приложение 12 опыт №4). Для этого к измельченным листьям добавили 10мл этилового спирта, на кончике ножа CaCO_3 (мел) для нейтрализации кислот клеточного сока и растерли их в фарфоровой ступке до однородной зеленой массы. Подлили еще этилового спирта и осторожно продолжали растирание, пока спирт не окрасится в интенсивный зеленый цвет. Полученную спиртовую вытяжку отфильтровали в чистую сухую пробирку или колбу. Убедились в том, что спиртовая вытяжка помимо зеленых пигментов содержит еще и желтые.

1 способ: На фильтровальную бумагу нанесли стеклянной палочкой каплю спиртовой вытяжки пигментов листа. Через 5 мин на бумаге образовались цветные концентрические круги: в центре зеленый (хлорофилл), снаружи - желтый (каротиноиды).

2 способ: Полоску фильтровальной бумаги шириной в 1 см и длиной 20 см опустили одним концом в пробирку с вытяжкой. Через пару минут на бумаге появилась зеленая полоска хлорофилла, а выше нее, желтые полосы каротиноидов (каротина и ксантофилла).

Мы выяснили, что 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, чем хлорофилл, адсорбируются на бумаге, больше растворимы в спирте, поэтому передвигаются по фильтровальной бумаге дальше хлорофилла. Таким образом, в создании цвета листа участ-

вуют две группы пигментов - зеленые и желтые. Содержание хлорофилла в сформировавшихся листьях примерно в 3 раза выше, чем каротиноидов, поэтому желтый цвет каротиноидов маскируется зеленым цветом хлорофилла. Количественное соотношение хлорофилла и каротиноидов не постоянно, оно зависит от возраста листа, физиологического состояния растения. Если содержание хлорофилла уменьшается, листья приобретают желто-зеленый или желтый цвет. 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 цвета.

Мы выяснили, как освещение влияет на пожелтение листьев и сравнили устойчивость хлорофилла в листьях различных видов растений, в молодых и старых листьях (нужное оборудование см. приложение 12 опыт №5). Половину листовой пластинки закрыли с двух сторон черной бумагой. Лист поместили в стакан с водой и поставили в хорошо освещенное место. Спустя 5 дней сняли бумагу и сравнили цвет половинок листа. Хорошо заметны различия в окраске: освещенная часть зеленая, а затемненная - желтая. 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 не одновременности развития осенней окраски.

Газообразные выделения промышленных предприятий часто содержат сернистый ангидрид SO_2 , который, проникая через устьица в листья, растворяется в цитоплазме клеток и образует сернистую кислоту H_2SO_3 . Накопление ее в больших количествах в цитоплазме вызывает разнообразные нарушения обмена веществ в клетках, в том числе и разрушение хлорофилла. Мы провели эксперимент, чтобы выяснить, как промышленные выделения влияют на растения (нужное оборудование см. приложение 12 опыт №6). Заостренный конец палочки смочили в соляной кислоте и нанесли на лист нужный текст. На зеленом фоне листа постепенно появляется надпись бу-

рого цвета. Скорость изменения цвета в месте нанесения кислоты зависит от плотности покровов листа. Эксперимент показал, что внешне такие повреждения могут выражаться в появлении на листьях бурых пятен. Появление бурой окраски обусловлено проникновением кислоты внутрь клеток и образованием в них феофитина.

Образование феофитина в листьях многих растений может происходить также и при нагревании листа выше 70 - 80 С. Мы проверили это в своем эксперименте (нужное оборудование см. приложение 12 опыт №7). Прикоснулись к листу концом сильно нагретой стеклянной палочки. Возникли своеобразные изменения окраски листа: зеленые круги с неровными бурыми кольцами. Наиболее наглядные результаты дают растения с кислой реакцией клеточного сока.

Желтые, коричневые пятна отмирания появляются на листьях и в природных условиях под влиянием сильного перегрева, засухи. Из книжных источников мы выяснили, что 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.

Учеными было доказано, что основу структуры молекулы хлорофилла составляет магниевый комплекс. Наличие магния можно легко обнаружить. Для этого надо подействовать на спиртовую вытяжку хлорофилла слабым раствором соляной кислоты (нужное оборудование см. приложение 12 опыт №9).

В пробирку со спиртовой вытяжкой хлорофилла добавили разбавленный раствор соляной кислоты (1:20) до изменения цвета спиртовой вытяжки (бурый оттенок). Образовался феофитин. (Спиртовая вытяжка – 5 мл, соляная кислота – 25 капель). Пробирку постоянно встряхивали. После этого к раствору феофитина, полученному в первом опыте добавили кристалличе-

ский ацетат цинка 0,1 г (избыток) и нагревали на водяной бане в течение 5 минут. Раствор приобрел опять зелёное окрашивание. Образовался хлорофилл. При этом произойдёт изменение окраски – вытяжка приобретает жёлто-бурый оттенок. Хлорофилл без магния получил название феофитина. В молекуле феофитина сравнительно легко ввести обратно какой-нибудь металл и восстановить металлоорганическую связь. Для этого к раствору феофитина прибавляют ацетат меди или ацетат цинка и нагревают. Цинк или медь входят в молекулу хлорофилла, и вытяжка становится опять зелёного цвета.

Опыт адсорбционной хроматографии мы проводили с растениями различными по отношению к свету. Мы выяснили, что количество хлорофилла в каждом растении различно (см. приложение 14). В теневыносливых растениях количество хлорофилла больше, чем в растениях светолюбивых. На основании этого можно сделать вывод, что теневыносливые растения более активны в процессе фотосинтеза. Комнатные растения способны очищать воздух, особенно это необходимо в помещениях, где собирается много людей, например школьные кабинеты. На основе наших исследований мы рекомендуем использовать теневыносливые растения для очистки воздуха в больших помещениях. Нам стало интересно, соблюдается ли это правило в нашей школе? Мы обследовали школьные кабинеты и выяснили, сколько всего растений в каждом классе и разделили все растения на 3 группы: светолюбивые, теневыносливые и одинаково приспособленные к условиям света растения. Узнали, что теневыносливых 49%, а светолюбивых 36%, растений одинаково приспособленных к условиям света 15% растений от общего количества (приложение 15,16). В некоторых кабинетах теневыносливые растения отсутствуют или же растения отсутствуют совсем. Но в целом, свойства растений использованы правильно.

Заключение

Учёные долгие годы изучали хлорофилл и выяснили, что именно он играет важнейшую роль в процессе фотосинтеза. Также хлорофилл обладает лечебными свойствами, поэтому он используется в современной косметологии и фармакологии.

Мы выяснили, что выделения предприятий, сильный перегрев и недостаток влажности изменяют химическую структуру листьев. Это ведет к нарушению основной функции растений - процесса фотосинтеза.

Изучили свойство скорости движения хлорофилла с помощью круговой хроматограммы на бумаге. В результате опыта мы узнали, что хлорофилл *a* более активный, поэтому он быстрее продвигается.

В своей работе мы выяснили, какие пигменты содержатся в зеленом листе помимо хлорофилла. Содержание хлорофилла в сформировавшихся листьях примерно в 3 раза выше, чем каротиноидов, поэтому желтый цвет каротиноидов маскируется зеленым цветом хлорофилла.

В ходе своей работы мы установили, что в теневыносливых растениях хлорофилла больше, чем в светолюбивых. Также мы выяснили, что 2 вида хлорофилла, которые есть в растениях, отличаются по своим свойствам. Содержание хлорофилла *b* в растениях, которые по отношению к свету являются теневыносливыми, больше, а светолюбивые содержат больше хлорофилла *a*.

Изучив ассортимент растений, которые находятся в школьных кабинетах, мы выяснили, что теневыносливых 49%, а светолюбивых 36%, растений одинаково приспособленных к условиям света 15% от общего количества растений (приложение 16). На основе наших исследований мы рекомендуем выращивать теневыносливые растения, так как в них находится более активный хлорофилл. К примеру: Аспидистру, Хлорофитум, Сциндапус, Аг-

лаонему. Аспарагус, Брунфельсию, Калатею, Фикус. Или растения, которые одинаково приспособлены к условиям темноты и света, т.е. нуждаются в затемнении. К таким растениям относятся Мирт, Бегония, Аукуба, Нефролепис, Диффенбахия и другие.

Для получения лекарственного сырья, мы так же рекомендуем использовать теневыносливые растения, содержащие более активный хлорофилл.

В дальнейшем мы планируем более подробно изучить лекарственные свойства хлорофилла. Эта тема очень обширна и интересна. Возможно мы попытаемся создать свое лекарственное средство на основе хлорофилловой вытяжки. Наши исследования будут продолжаться.

Список использованной литературы.

1. Батурицкая Н.В., Фенчук Т.Д. Удивительные опыты с растениями, - Минск, «Народная асвета», 1991, с. 54 – 61.
2. Биология. Первое сентября. № 44, 45, 46, 1999.
3. Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л. История атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985.
4. Годнев Т. Н., Строение хлорофилла и возможные пути его образования в растении, М. – Л., 1947
5. Гроздов Б.В., "Тайны зеленого мира"; "Учпедгиз", М., 1960.
6. Клейтон Р. Фотосинтез. Физические механизмы и химические модели. М.: Мир, 1984.
7. Красновский А. А., Преобразование энергии света при фотосинтезе. Молекулярные механизмы, М., 1974
8. Любименко В. Н., Фотосинтез и хемосинтез в растительном мире, М. – Л., 1935; Тимирязев К. А., Солнце, жизнь и хлорофилл, М., 1937 (Соч., т. 1–2);
9. Нифантьев Э.Е., Верзилина М.К., Котлярова О.С. Внеклассная работа по химии с использованием хроматографии, - Москва, «Просвещение», 1983, с.7 – 8.
10. Скотт. М., Природа: "РОСМЭН", М.: 1998.
11. Скулачев В.П. Аккумуляция энергии в клетке. М.: Наука, 1969.
12. Скулачев В.П. Мембранные преобразователи энергии. М.: Высш. шк., 1989.
13. Скулачев В.П. Кислород в живой клетке: добро и зло // Соросовский Образовательный Журнал. 1996. № 3. С. 4-16
14. Скулачев В.П. Законы биоэнергетики // Там же. 1997. № 1. С. 9-14.
15. Тихонов А.Н. Регуляция световых и темновых стадий фотосинтеза // Там же. 1999. N 11. С. 8-15.
16. Уайт А., Хендьер Ф., Смит Р. и др. Основы биохимии. М.: Мир, 1981..

17. Фотосинтез / Под ред. Говинжи. М.: Мир. Т. 1 и 2. 1987.
18. Холя Д., Рао К. Фотосинтез. М.: Мир, 1983.
19. Шестаков С.В. Молекулярная генетика фотосинтеза // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. N 9. С. 22-27.
20. Шувалов В.А. Первичное преобразование световой энергии при фотосинтезе. М.: Наука, 1990.
21. Энциклопедия для детей. Биология; "Аванта +", М., 1993.

Приложения

Приложение 1 Лекарства на основе хлорофилла

Хлорофиллипт (Chlorophyllum) смесь хлорофиллов эвкалипта в 95% эталоне. Исходный 1% раствор препарата разводят либо в воде (1:40), либо в 0,25% растворе новокаина (1:5) в зависимости от характера заболевания. Назначают местно, внутривенно, внутривенно и в клизме. Внутрь хлорофиллипт применяют при лечении пневмонии, ожогов при ношении стафилококков в кишечнике и для профилактики послеоперационных осложнений. Внутривенно (медленно) введение назначают при септических состояниях ожоговой болезни, пневмонии. Водные растворы применяют для спринцевания влагалища при воспалительных процессах, раствора с новокаином - при лечении ожогов и язв. Можно готовить 2% масляные растворы хлорофиллипта для смазываний шейки матки при эрозиях. Для санации кишечника 5 мл 1% спиртового раствора разводят в 30 мл воды и принимают внутрь за 40 минут до приёма пищи 3 раза в день из побочных эффектов возможна индивидуальная непереносимость.

Chlorophyll capsuls. Хлорофилл в капсулах.

- Поддерживает и стимулирует кроветворную систему
- Способствует обновлению тканей и быстрому заживлению ран
- Участвует в профилактике мочекаменной болезни
- Поддерживает иммунную систему организма.

Состав — 1 капсула:

Хлорофиллин..... 50мг

Соевое масло

ПРИМЕНЕНИЕ: принимать по 1 капсуле 2 раза в день во время еды.

Chlorophyll liquid Хлорофилл ликвид (Жидкий хлорофилл)

- Поддерживает и стимулирует кроветворную систему
- Способствует обновлению тканей и быстрому заживлению ран
- Стимулирует иммунную систему организма

Состав — 1 чайная ложка (5 мл):

Жидкий хлорофиллин..... 15 мг

Раствор ароматизирован ментоловым маслом.

ПРИМЕНЕНИЕ: принимать по 1 чайной ложке, разведенной в стакане воды, два раза в день.

Приложение 2. Краткое описание действия хлорофилла:

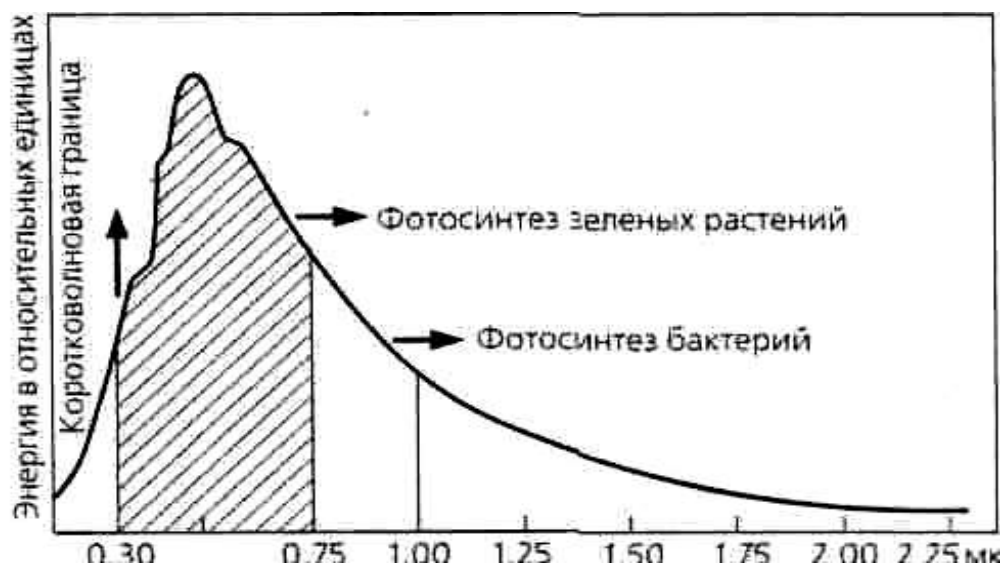
- Останавливает рост бактерий и грибков.
- Уничтожает неприятный запах изо рта и уменьшает запах тела.
- Выводит излишки лекарственных препаратов, борется с токсинами, дезактивирует многие канцерогены.
- Останавливает кариес и воспаление десен (при **использовании** в качестве аппликаций).
- Противодействует следующим заболеваниям: простуда, ангина, тонзиллит, гингивит, язва желудка и кишечника, различные кожные воспаления, артрит и т.д.
- Участвует в синтезе клеток крови.
- Способствует восстановлению тканей.
- Противодействует радиационному поражению.
- Поддерживает здоровую кишечную флору.
- Активирует действие ферментов, участвующих в синтезе витамина К.
- Усиливает выработку молока у кормящих матерей.

Из-за наличия магния лекарства на основе хлорофилла рекомендуются:

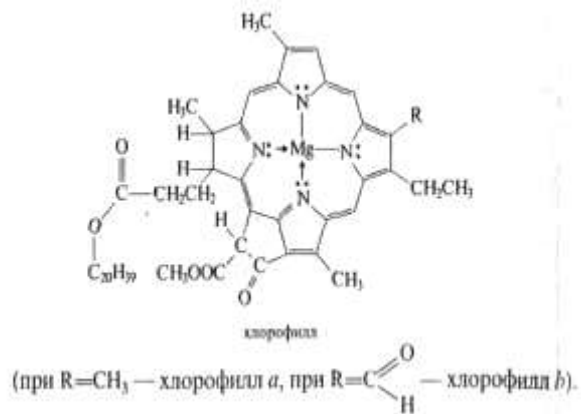
-при хронической и физической утомляемости;

- при болезнях сердца, нарушениях сердечного типа;
- при заболеваниях центральной нервной системы;
- во время беременности и периода кормления;
- при остеохондрозе позвоночника;
- для повышения сопротивляемости организма болезням;
- при сахарном диабете;
- во время употребления мочегонных препаратов;

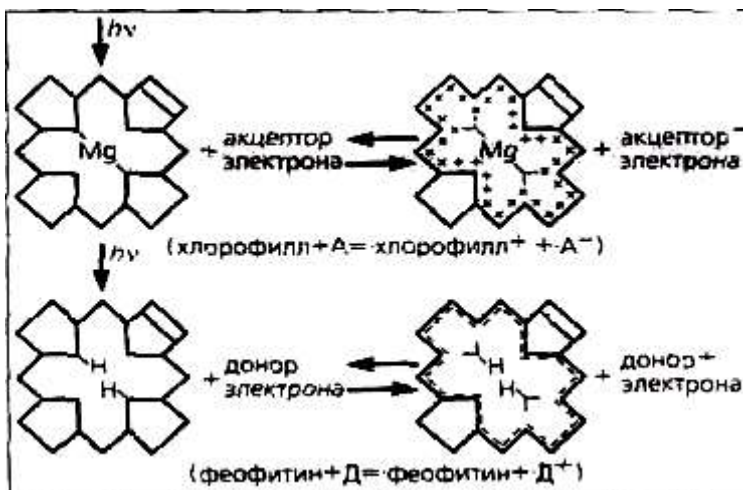
Приложение 3. Распределение энергии в солнечном спектре (отмечены области, которые «предпочитают» для фотосинтеза растения и бактерии).



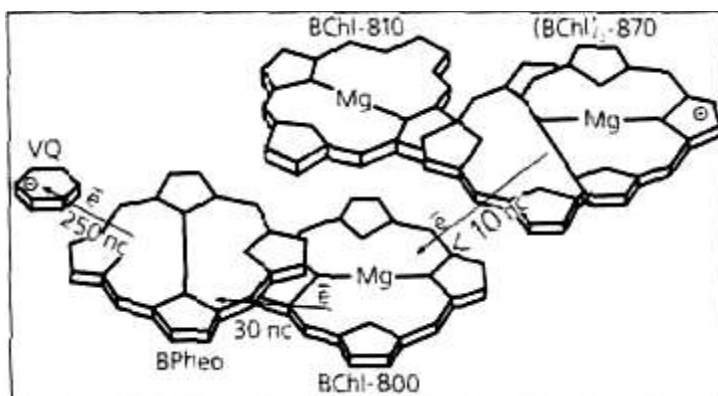
Приложение 4. Две модификации хлорофилла *a* и *b*



Приложение 5. Перенос электрона под действием света в хлорофилле и феофитине (квант света обозначен $h\nu$).



Приложение 6. Перенос электрона в реакционных центрах фотосинтезирующих бактерий.



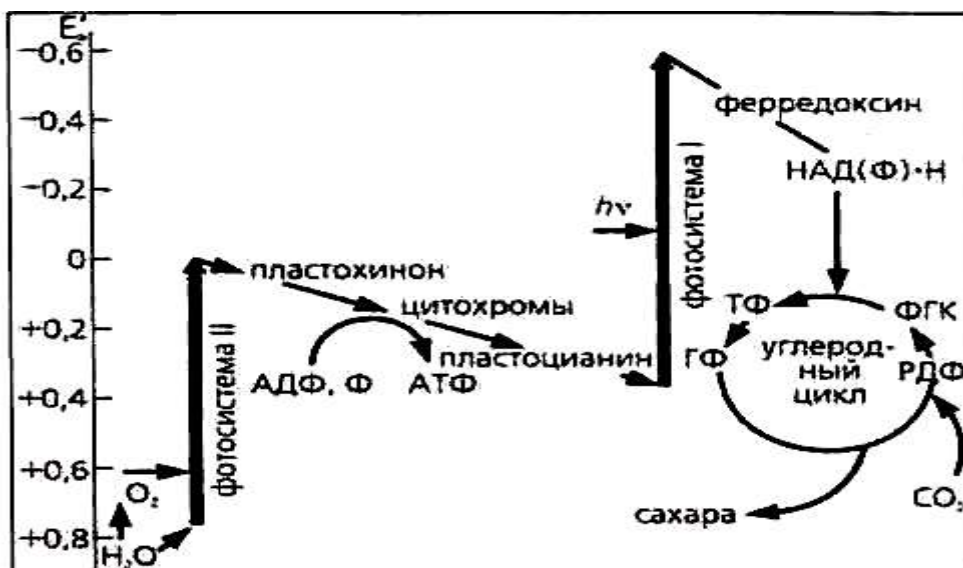
Приложение 7. Воздействие растений на химический состав воздуха

Ботаническое название	Русское название	Особое воздействие
Abutilon (гибриды)	Абутилон, комнатный клен	Повышает влажность воздуха
Aglaonema	Аглаонема	Уменьшает содержание бензола
Aloe barbadensis	Алоэ барбаденский	Уменьшает содержание формальдегида
Chamaedorea	Хамедорея	Уменьшает содержание формальдегида и ТХЭ
Chlorophytum elatum	Хлорофитум капский	Уменьшает содержание бензола и формальдегида
Chrysanthemum morifolium	Хризантема шелковицелистная (крупноцветковая)	Уменьшает содержание формальдегида, бензола и ТХЭ
Dracaena	Драцена	Уменьшает содержание формальдегида, бензола и ТХЭ
Fatsia japonica	Фатсия японская	Повышает влажность воздуха
Ficus benjamina	Фикус Бенджамина	Уменьшает содержание ТХЭ
Gerbera jamesonii	Гербера Джемсона	Уменьшает содержание формальдегида, бензола и ТХЭ
Hedera helix	Плющ обыкновенный	Уменьшает содержание бензола и ТХЭ
Nephrolepis exaltata	Нефролепис возвышенный	Повышает влажность воздуха
Sansevieria trifasciata	Сансевиерия трехполосная	Уменьшает содержание бензола и ТХЭ
Spathiphyllum	Спатифиллум	Уменьшает содержание бензола и ТХЭ

Приложение 8. Использование солнечной энергии

Доля энергии	Значение Дж/год
Поступающая на поверхность Земли	$3 \cdot 10^{24}$ (100)
Запасаемая при фотосинтезе	$3 \cdot 10^{21}$ (0,1)
Используемая в виде пищи	$1,5 \cdot 10^{19}$ (0,0005)
Энергетические затраты человечества (конец XX в.)	$3 \cdot 10^{20}$ (0,01)

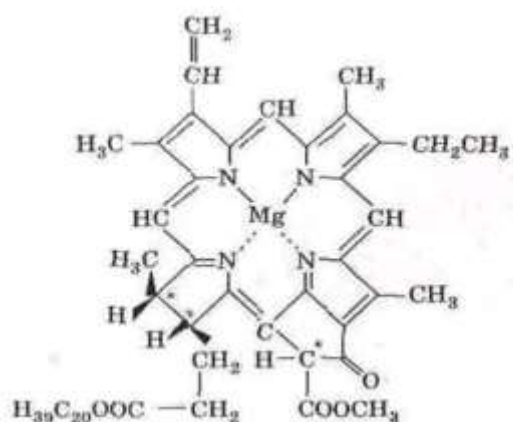
Приложение 9.1. Механизмы фотосинтеза растений



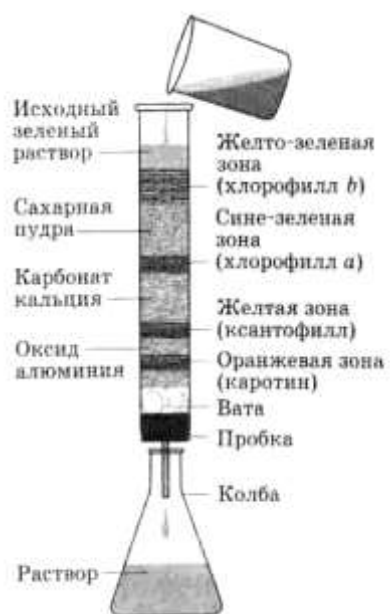
Приложение 9.2. Первичный фотохимический процесс

Фазы фотосинтеза	Процессы, происходящие в этой фазе	Результаты процессов
Световая фаза	<p>I. хлорофилл – (свет) → хлорофилл* + электрон</p> <p>электрон + белки-переносчики → на наружную поверхность мембраны тилакоида</p> <p>$\text{НАДФ}^+ + 2\text{H}^+ + 4 \text{ электрон} \rightarrow \text{НАДФ} \cdot \text{H}^2$</p>	Образование НАДФ·Н2
	<p>II. Фотолиз воды</p> <p>$\text{H}_2\text{O} - (\text{свет}) \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$</p> <p>$\text{H}^+ \rightarrow$ в протонный резервуар тилакоида</p> <p>$\text{OH}^- \rightarrow \text{OH}^- - \text{e} \rightarrow \text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ и O_2?</p> <p>электрон + хлорофилл* → хлорофилл</p>	O_2 – в атмосферу
	<p>III. H^+ протонного резервуара – источник энергии, необходимой АТФ фазе для синтеза АТФ из АДФ + Ф^{H}</p>	Образование АТФ
Темновая фаза	Связывание CO_2 с пятиуглеродным сахаром рибулёзодифосфатом при использовании АТФ и НАДФ·Н2	Образование

Приложение 10. Модификация хлорофилла *a*



Приложение 11. Хроматографическая колонка



Приложение 12. Оборудование для опытов

Опыт 1.

Оборудование: Растительное сырье: Фатсия, Азалия, Алоэ, Бальзамин, Гортензия, Олеандр, Зигокактус, Глоксиния, Эпифиллиум которые являются светолюбивыми растениями; Сансевиера, Аспидистра, Хлорофитум, Сциндапус, Аглаонема, Аспарагус, Брунфельсия, Калатея, Фикус которые являются теневыносливыми растениями: Аукуба, Бегония, Нефролепис, Мирт, Диффенбахия, которые одинаково приспособлены к условиям темноты и света, т.е. нуждаются в затемнении.

10 листьев какого-нибудь растения, ацетон, речной песок, гидрокарбонат натрия, колба с пришлифованной пробкой, стеклянную трубку (колонку), закрытая пробка с отверстием и выходной трубкой, воронка, вата, кальций CaCO_3 (сухой и растертый в ступке мел), сахарная пудра.

+ Опыт 2.

ОБОРУДОВАНИЕ: Лист промокающей бумаги, капельница, хлорофилловая вытяжка, одеколор.

Дополнительные опыты

+ Опыт 3. Выделение кислорода водяными растениями на свету.

ОБОРУДОВАНИЕ: стакан с водой, зелёные нитчатые водоросли (зелёная «тина»), полиэтиленовая плёнка, пробирка, проволочка.

+ Опыт 4. Какие пигменты содержатся в зеленом листе.

ОБОРУДОВАНИЕ: свежие листья комнатных растений, 95% этиловый спирт, бензин, ступка фарфоровая, пробирка, воронка, ножницы, фильтровальная бумага. Прежде всего получим вытяжку пигментов. Лучше, если вытяжка будет концентрированной, темно-зеленой. Можно использовать листья любых травянистых растений, а лучше всего

теневыносливых комнатных растений - они мяче, легче растираются, содержат больше хлорофилла. Хорошим объектом являются листья аспидистры. Менее пригодны для получения вытяжек листья бегонии, содержащие в вакуолях много органических кислот, которые при растирании листьев могут частично разрушить хлорофилл.

+Опыт 5. Влияние условий освещения на пожелтение листьев.

ОБОРУДОВАНИЕ: для опыта нужны листья нижних ярусов любого растения, которые уже закончили рост, но еще не имеют внешних признаков старения, стакан, черный лист бумаги.

+Опыт 6. Письмо на зеленом листе.

ОБОРУДОВАНИЕ: Для опыта нужны "чернила" - 10%-ая соляная кислота, листья фикуса, палочка.

+Опыт 7. Образование колец отмирания на листьях.

ОБОРУДОВАНИЕ: зеленые листья различных растений, спиртовка, стеклянная палочка.

+Опыт 9. Химические свойства хлорофилла

ОБОРУДОВАНИЕ: Пробирка, спиртовая вытяжка хлорофилла, соляная кислота, кристаллический ацетат цинка,

Приложение 13. Исследования свойств двух фракций хлорофилла

Хлорофитум	Зигокактус	Сансевиьера	Растение	Поглощение активированным углем	
				Фракция а	Фракция б
Светлолюбивое	Одинокого приспособлен к условиям темноты и света 1:7	Теневыносливое 1:2	Отношение к свету	а	б
отсутствует	1,5%	3,3%			
40%	10,8%	1,6%			
	Хлорофилл фильтруется полностью	Хлорофилл фильтруется полностью			
Хлорофилл фильтруется не полностью	Хлорофилл фильтруется не полностью	Хлорофилл фильтруется не полностью			
	Осадок не выпал, жидкость однородна и прозрачна	Осадок не выпал, жидкость однородна и прозрачна			
Раствор мутный, выпал осадок	Раствор мутный, выпал осадок	Раствор мутный, выпал осадок		С йодом а	С йодом б

Приложение 14. Количество хлорофилла в каждом растении

Растение	С, % на сырую массу
Сциндапус	0,051
Диффенбахия	0,040
Олеандр	0,037
Хлорофитум	0,030
Бегония	0,029
Сансевиера	0,026
Эпифиллум	0,005

Приложение 15. Исследование разнообразия растений в учебных кабинетах

название светолюбивого растения	кол-во растений	название теневыносливого растения	кол-во растений	название растения одинокого приспособлен к условиям темноты и света	кол-во растений
Алоэ	13	Аспидистра	19	Мирт	3
Азалия	9	Хлорофитум	23	Бегония	6
Эпифиллиум	12	Сциндапус	16	Аукуба	4
Гортензия	5	Аглаонема	19	Нефролепис	3
Олеандр	7	Аспарагус	11	Диффенбахия	12
Бальзамин	1	Брунфельсия	8		5
Зигокактус	17	Калатея	4		
Глоксиния	7	Фикус	9		
Фатсия	11		3		
Всего	82		112		33

Приложение 16. Процентное содержание растений в нашей школе

