

О.Л. Воскресенская, Н.П. Грошева
Е.А. Скочилова

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОУ ВПО «МАРИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

О.Л. Воскресенская, Н.П. Грошева,
Е.А. Скочилова

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

*Допущено Учебно-методическим объединением по классическому университетскому образованию в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальностям:
011600 – Биология и 013500 – Биоэкология*

Йошкар-Ола, 2008

ББК 28.57
УДК 581.1
В 760

Рецензенты:

Е.В. Харитоновили, канд. биол. наук, доц. Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова;
В.Н. Карасев, д-р с.-х. наук, проф. Марийского государственного технического университета

Воскресенская О.Л., Грошева Н.П., Скочилова Е.А.
В 760 **Физиология растений: Учебное пособие.** / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2008. – 148 с.: ил.

ISBN 978-5-94808-403-9

Учебное пособие содержит описание лабораторных работ по курсу «Физиология растений». Для каждой работы дано краткое теоретическое пояснение, приведен перечень материалов и оборудования. В конце каждого раздела приведены контрольные вопросы. Большое внимание уделяется самостоятельной работе студентов, в рамках которой предлагается словарь терминов, тесты, рисунки, схемы и краткие сведения об ученых, внесших вклад в изучение отдельных разделов физиологии растений.

Учебное пособие составлено в соответствии с ГОС специальностей 011600 – Биология и 013500 – Биоэкология по учебной дисциплине ОПД. Ф. 02.01 «Физиология растений».

ББК 28.57
УДК 581.1

ISBN 978-5-94808-403-9

© О.Л.Воскресенская, Н.П.Грошева,
Е.А.Скочилова, 2008
© ГОУВПО «Марийский государственный
университет», 2008

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ФИЗИОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ.....	8
1.1. Явления плазмолиза и деплазмолиза.....	8
1.2. Явление колпачкового плазмолиза.....	10
1.3. Временный и стойкий плазмолиз	11
1.4. Получение искусственной «клеточки Траубе»	12
1.5. Явление тургора	13
1.6. Влияние ионов калия и кальция на вязкость цитоплазмы растительных клеток.....	14
1.7. Определение вязкости протоплазмы методом центрифугирования.....	15
1.8. Прижизненное окрашивание клеток нейтральным красным .	16
1.9. Диагностика повреждения растительной ткани по увеличению ее проницаемости	17
1.10. Определение потенциального осмотического давления клеточного сока методом плазмолиза	19
1.11. Определение сосущей силы клеток по изменению концентрации растворов методом струек (по В.С. Шардакову)...	21
1.12. Определение сосущей силы растительной ткани методом полосок (по Лилиенштерн)	22
2. ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТЕНИЙ.....	25
2.1. Наблюдение за движением устьиц под микроскопом	25
2.2. Определение интенсивности транспирации весовым методом.....	27
2.3. Сравнение транспирации верхней и нижней сторон листа хлоркобальтовым методом (по Шталю).....	29
2.4. Определение разных фракций воды методом Окунцова-Маринчик	30
3. ФОТОСИНТЕЗ.....	33
3.1. Химические свойства пигментов листа	34
3.2. Оптические свойства пигментов.....	39
3.3. Разделение пигментов методом бумажной хроматографии	42
3.4. Определение содержания каротина в корнеплодах моркови	43
3.5. Определение интенсивности фотосинтеза методом ассимиляционной колбы (по Л.А. Иванову и Н.Л. Коссович).....	45

4. ДЫХАНИЕ РАСТЕНИЙ.....	48
4.1. Газометрическое определение каталазы.....	49
4.2. Определение содержания аскорбиновой кислоты в растениях (по И.К. Мурри).....	50
4.3. Определение интенсивности дыхания (по Бойсен-Иенсену).....	51
4.4. Определение дыхательного коэффициента прорастающих семян.....	53
5. МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ.....	57
5.1. Микрохимический анализ золы растений.....	58
5.2. Анализ сока растений (по К.П. Магницкому).....	62
5.3. Определение общей и рабочей адсорбирующей поверхности корневой системы (по И.И. Колосову).....	63
6. РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ.....	67
6.1. Наблюдение за ростом корней при помощи микроскопа.....	68
6.2. Действие гетероауксина на рост корней.....	69
6.3. Определение содержания ростовых веществ в растении.....	70
7. УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ УСЛОВИЯМ СРЕДЫ.....	72
7.1. Определение способности растительных тканей выносить обезвоживание.....	72
7.2. Определение жаростойкости растений.....	73
7.3. Защитное действие сахаров на протоплазму.....	74
7.4. Защитное действие сахара на белки протоплазмы при отрицательных температурах.....	76
8. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ.....	77
8.1. Термины по курсу «Физиология растений».....	77
8.2. Контрольные вопросы, расчетные задания и задачи.....	86
8.3. Тестовые задания.....	93
9. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СТАНОВЛЕНИИ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ОБ УЧЕНЫХ ФИЗИОЛОГАХ.....	109
ЛИТЕРАТУРА.....	121
ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ В СХЕМАХ И ТАБЛИЦАХ.....	124

ВВЕДЕНИЕ

Дальнейший прогресс в развитом обществе требует при подготовке профессионалов в вузах формирования самостоятельно мыслящей личности. Это отражено в программах Государственных образовательных стандартов (ГОС) по специальностям высшего профессионального образования, утвержденных Федеральным агентством по образованию. Исходя из этого, усилия преподавателей в вузе должны быть направлены не только на решение образовательных задач, но и на развитие личностных и интеллектуальных качеств будущего специалиста. Таким образом, средствами курса «Физиология растений» необходимо решать не только задачи, связанные с формированием у студентов системы знаний о жизнедеятельности растений и связанные с ними умения, но и задачи воспитания и развития личности.

Физиология растений относится к основополагающим областям естествознания. Физиология растений – наука о процессах, протекающих в растительном организме. Объектом ее изучения является автотрофный организм, рассматриваемый на разных уровнях организации живого (рис.1). Физиология растений имеет большое как теоретическое, так и практическое значение. Для некоторых наук она является теоретической основой (практическое земледелие, экология, охрана природы, фармакология и др.), другие (ботаника, физика, химия) сами для нее являются базисом.

Учебное пособие по физиологии растений ставит целью научить студентов пониманию процессов жизнедеятельности растительного организма тесно связанного с окружающей средой, возможности регулирования этих процессов с целью повышения его продуктивности.

В пособии особое внимание уделяется влиянию экологических факторов среды: света, температуры, влажности и др., на протекание физиологических процессов у растений.

Поскольку физиология растений – экспериментальная наука, обучение базируется на тесной связи теории с практикой. Поэтому учебное пособие включает лабораторно-практические занятия, охватывающие основные разделы курса «Физиологии растений»: физиологию растительной клетки, водный обмен растений, фотосинтез, дыхание растений, минеральное питание, рост и развитие, устойчивость растений. Достаточное количество работ по всем разделам курса предоставляет широкие возможности их реализации при выполнении лабораторного практикума, а также учебной практики студентов.

В конце лабораторного практикума по каждой теме даны контрольные вопросы для зачетного (семинарского) занятия. Большой банк тестовых заданий позволит провести контрольные работы по каждому

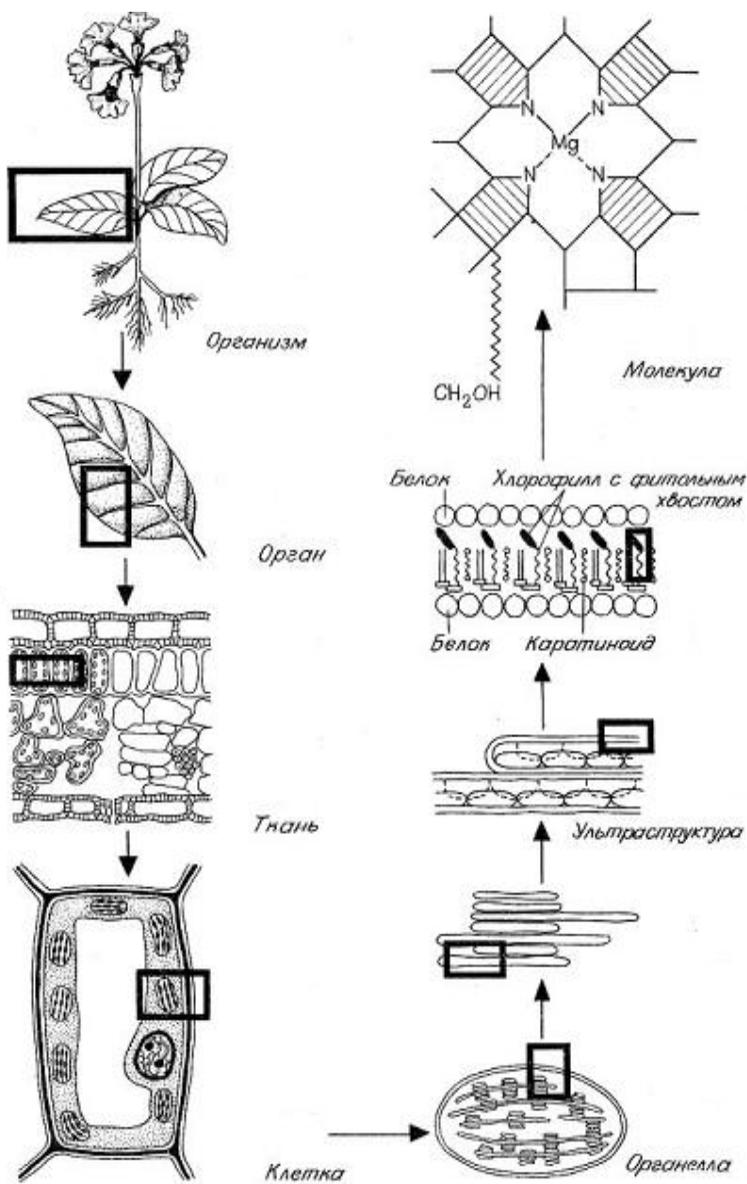


Рис. 1. Уровни организации живой материи

изученному разделу курса и явиться хорошим тренингом для подготовки студентов к Интернет-экзамену, проводимым Росаккредагентством при проверке качества знаний.

Особое внимание в учебном пособии уделяется выполнению самостоятельной работы студентов. Обычно на выполнение самостоятельной работы отводится почти половина часов, определяемых ГОСом. В настоящее время структура учебного процесса изменяется в сторону расширения самостоятельной работы студентов и усиления контроля за ней. Учебное пособие по физиологии растений в разделе «Самостоятельная работа» содержит: словарь терминов по основным разделам курса, тесты, расчетные задания и задачи.

Достаточно интересными являются разделы «Физиология растений в схемах и таблицах» и «Ученые – физиологи растений», которые позволяют расширить теоретическую подготовку студентов.

Список литературы по физиологии растений, предложенный в конце пособия, содержит как теоретические источники, так и источники литературы по лабораторному практикуму.

При подготовке пособия с целью повышения эффективности учебного процессов использовались следующие методические подходы:

а) устранения дублирования материала других курсов; б) согласованность лекционного материала и лабораторно-практических занятий; в) усиления контроля за самостоятельной работой студентов.

В начале каждой главы дано вводное пояснение, что должен знать студент при изучении данного раздела курса «Физиологии растений». При подготовке пособия были использованы также материалы спецкурсов и больших практикумов: «Дыхание растений», «Водный режим», «Рост и развитие», «Физиология растительной клетки», «Минеральное питание растений», «Физиология устойчивости растений».

Авторы надеются, что дополнительная информация и контролируемые элементы, предлагаемые в пособии, позволят более глубоко и основательно изучить курс физиологии растений студентами специальностей «Биоэкология» и «Биология». Кроме того, пособие по физиологии растений можно использовать при подготовке студентов сельскохозяйственных специальностей, изучающих курс физиологии растений.

Пособие может оказаться полезным при проведении научных исследований студентами, аспирантами и специалистами других областей науки. Кроме того, пособием могут воспользоваться учителя биологии и экологии, а также учащиеся старших классов общеобразовательных школ и лицеев.



1. ФИЗИОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ

Клетка – основа жизни, основная функциональная и структурная единица живой материи. Методы изучения клетки. Сравнение растительной и животной клеток.

Клеточная оболочка, вакуоли, строение и функции. Цитоплазма, ее состав, физико-химические свойства. Строение клеточной стенки, ее химический состав и основные функции (защитная, опорная, транспортная, функции в морфогенезе и др.).

Мембранные системы клетки и мембранный принцип ее организации. Структура и функции биологических мембран, их роль в клетке. Модели структурно-функциональной организации мембран. Жидкостно-мозаичная модель мембраны. Механизмы поступления веществ и воды в растительную клетку. Транспорт ионов через плазматическую мембрану. Пассивный перенос. Первичный и вторичный активный транспорт ионов. Движущие силы транспорта ионов и формы потребляемой энергии. Механизмы транспорта ионов через мембраны: АТФ - азы, редокс-цепи, ионные каналы, портерные системы (симпорт, антипорт, унипорт).

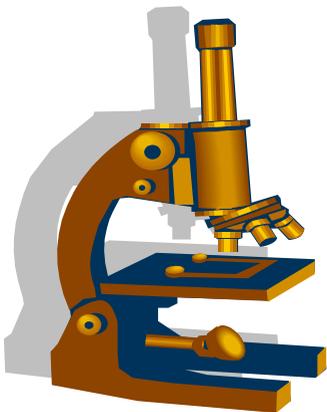
Основные структурные элементы эукариотической клетки. Ядро, его организация и функционирование. Пластиды и митохондрии. Эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи, микротела (пероксисомы, глиоксисомы, лизосомы и др.), их строение и основные функции. Цитоскелет, особенности его строения в связи с биологическими функциями.

Взаимодействие оргanelл растительной клетки.

1.1. Явления плазмолиза и деплазмолиза

Для каждой клетки можно подобрать следующие растворы: 1) *гипотонический*, осмотическое давление которого меньше осмотического давления клеточного сока, например, вода; 2) *изотонический*, имеющий осмотическое давление равное осмотическому давлению клеточного сока; 3) *гипертонический*, осмотическое давление которого больше осмотического давления клеточного сока.

При погружении растительной ткани в гипертонический раствор происходит отсасывание воды из клеток в раствор до тех пор, пока не сравняются концентрации клеточного сока и наружного раствора.



При этом клеточные стенки сокращаются до полной потери тургора, после чего начинается плазмолиз, т.е. отставание цитоплазмы от оболочки клетки. В ходе плазмолиза очертания поверхности цитоплазмы меняются. Сначала цитоплазма отстает от оболочки в уголках (уголковый плазмолиз), затем во многих местах с образованием вогнутых поверхностей (вогнутый плазмолиз) и, наконец, принимает округлую форму (выпуклый плазмолиз). *Плазмолиз* – это явление отхождения цитоплазмы от клеточной стенки под действием раствора большей концентрации,

чем концентрация клеточного сока. Процесс исчезновения плазмолиза называется *деплазмолизом*. Наблюдается в том случае, если плазмолизированную клетку поместить в воду.

В качестве плазмолитиков, т.е. веществ, растворы которых вызывают плазмолиз, используют неядовитые вещества, плохо проникающие через цитоплазму в вакуоль. Например, растворы сахарозы и некоторых солей.

В наступлении различных форм плазмолиза играют большую роль силы сцепления пограничного слоя протоплазмы или ее вязкость. У молодых клеток, вязкость цитоплазмы которых очень велика, обычно наблюдаются все указанные стадии плазмолиза. У клеток же, вязкость цитоплазмы которых менее значительна, чем у молодых клеток, очень скоро наступает выпуклый плазмолиз. Однако описанные выше формы плазмолиза неустойчивы и время его наступления различно.

Цель работы: убедиться на опыте, что цитоплазма живой клетки эластична, полупроницаема и способна плазмолизироваться.

Ход работы: 1. Взять луковицу, клетки эпидермиса которой содержат антоциан. Сделать срез эпидермиса с выпуклой (наиболее окрашенной) поверхности чешуи лука и поместить его на предметное стекло в каплю воды, покрыть покровным стеклом и рассмотреть в микроскоп клетки.

2. Затем заменить воду на 1М раствор сахарозы. Для этого с одной стороны покровного стекла поместить каплю раствора сахарозы, а с противоположной стороны, не сдвигая препарата, начать отсасывать воду кусочком фильтровальной бумаги. Все время следить в микроскоп за тем, что происходит в клетках эпидермиса.

Обнаруживают постепенное отхождение протопласта от стенок клетки сначала в уголках (начальная форма плазмолиза). Уголковый плазмолиз переходит в вогнутый, а затем – в выпуклый. Однако после округления протопласты в отдельных частях могут быть связаны с клеточной оболочкой тонкими плазматическими нитями (судорожный плазмолиз).

3. Через 10-15 мин, когда плазмолиз будет хорошо заметен, ввести под покровное стекло каплю воды, отсасывая раствор сахарозы фильтровальной бумагой. В этом случае плазмолиз прекращается, и протопласт начинает снова заполнять весь объем клетки, т.е. наступает деплазмолиз. *Деплазмолиз* – явление, обратное плазмолизу.

4. Сделать рисунки клеток в воде.

Материалы и оборудование: 1) окрашенный лук (*Allium cepa* L.), в клетках которого содержится антоциан; 2) 1М раствор сахарозы; 3) дистиллированная вода; 4) скальпель; 5) лезвие; 6) кусочки фильтровальной бумаги; 7) предметные и покровные стекла; 8) препаровальные иглы; 9) микроскоп.

1.2. Явление колпачкового плазмолиза

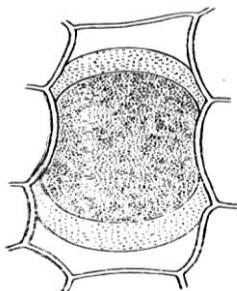


Рис.2. Колпачковый плазмолиз

Цитоплазма обладает избирательной проницаемостью или полупроницаемостью. Даже к одним и тем же катионам разные участки цитоплазмы реагируют по-разному. Примером этого является проникновение в клетку катионов калия, в результате чего образуется колпачковый плазмолиз (рис. 2).

Цель работы: установить, что разные участки цитоплазмы: плазмалемма, мезоплазма и тонопласт обладают разной степенью проницаемости для катионов K^+ .

Ход работы: 1. Срез эпидермиса чешуи лука (*Allium cepa* L.), содержащего антоцианы, поместить в 1М раствор KCNС на предметном стекле. Закрыть покровным стеклом и рассматривать сначала при малом, а затем при большом увеличении микроскопа. В ряде клеток обнаруживают колпачковый плазмолиз.

2. Это увеличение объема цитоплазмы обуславливается разжижающим действием катионов K^+ , которые относительно легко проходят через плазмалемму, хуже через мезоплазму, а тонопласт практически непроницаем для катионов K^+ . Таким образом, плазмолиз в клетках

наступает вследствие слабой проницаемости тонопласта, а колпачки цитоплазмы образуются вследствие набухания ее от проникших через плазмалемму катионов K^+ в мезоплазму. Катион калия обладает гидрофильностью.

3. Если провести параллельный опыт с нитратом кальция, то никогда нельзя получить колпачкового плазмолиза, так как ион Ca^{2+} не вызывает набухания протопласта. Двухвалентные катионы в отличие от одновалентных обладают противоположным действием, а именно снижают оводненность и увеличивают вязкость цитоплазмы.

Материалы и оборудование: 1) лук (*Allium cepa* L.), эпидермис которой содержит антоциан; 2) 1М раствор KCNS; 3) 1М раствор $Ca(NO_3)_2$; 4) предметные и покровные стекла; 5) скальпель, бритва; 6) препаровальные иглы; 7) фильтровальная бумага; 8) микроскоп.

1.3. Временный и стойкий плазмолиз

Под *проницаемостью* понимается совокупность физико-химических свойств, которыми определяется соотношение между процессами поступления в клетку веществ из внешней среды, их распределение между отдельными компонентами клетки, накопление этих веществ в клетке и выделение их клеткой во внешнюю среду. Проницаемость цитоплазматических мембран для большинства растворенных веществ очень мала (например, сахароза), но некоторые вещества, в том числе мочевины, проникают через мембраны довольно быстро.

При погружении растительных клеток в гипертонический раствор мочевины и сахарозы наблюдается плазмолиз вследствие отнятия воды от клеток. Однако при длительном пребывании в растворе мочевины молекулы ее проникают в клеточный сок, концентрация которого увеличивается, в результате чего вода вновь поступает в клетки. Происходит самопроизвольный деплазмолиз. В этом случае говорят о временном плазмолизе. Что же касается сахарозы, то при длительном пребывании в растворе сахарозы плазмолиз в клетках кожицы лука усиливается, так как цитоплазма непроницаема для этих молекул и наблюдается стойкий или постоянный плазмолиз.

Цель работы: убедиться на опыте, что цитоплазма клетки обладает избирательной проницаемостью или полупроницаемостью.

Ход работы: 1. Нанести на один конец предметного стекла каплю 1М раствора сахарозы, а на другой конец – каплю 1М раствора мочевины. В эти растворы поместить клетки кожицы лука, накрыть препараты покровными стеклами и сразу начать наблюдение в микроскоп.

2. Зарисовать клетки кожицы лука, находящиеся в растворах сахарозы и мочевины. Продолжать наблюдение еще в течение 15-20 минут.

3. Отметить, в каком из растворов плазмолиз сохранится, а в каком исчезнет.

Сделать вывод о влиянии молекул сахарозы и мочевины на проницаемость для них цитоплазмы.

Материалы и оборудование: 1) окрашенный лук (*Allium cepa* L.); 2) 1М раствор сахарозы в капельнице; 3) 1М раствор мочевины в капельнице; 4) лезвие; 5) скальпель; 6) пинцет; 7) препаровальная игла; 8) микроскоп; 9) предметные и покровные стекла; 10) фильтровальная бумага.

1.4. Получение искусственной «клеточки Траубе»

Свойством полупроницаемости, аналогично растительной мембране – плазмалемме, обладают и некоторые химические соединения. В частности, такое свойство имеет пленка железосинеродистой меди.

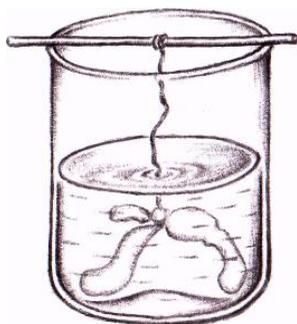
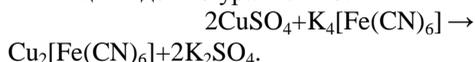


Рис. 3. «Клеточка Траубе»

Цель работы: получить пленку из железосинеродистой меди, обладающей свойствами полупроницаемости.

Ход работы: 1. В стакан наливают 0,5%-го раствора сульфата меди и помещают в него кристаллик желтой кровяной соли, привязанной на нить к стеклянной палочке (рис. 3).

2. Около кристалла желтой кровяной соли в растворе медного купороса быстро образуется полупроницаемая перепонка железо-синеродистой меди. Реакция идет по уравнению:



Перепонка проницаема для воды, но не проницаема для солей. Концентрация раствора медного купороса снаружи перепонки ниже, чем концентрация желтой кровяной соли внутри нее. Вследствии этого вода начинает поступать внутрь образовавшейся «клеточки». Это и будет искусственная «клеточка Траубе». Клеточка будет все время расти, увеличиваться в объеме, давать выросты. Рост «клеточки» будет продолжаться до тех пор, пока концентрация солей по обе стороны полупроницаемой перепонки не сравняется. Цвет раствора CuSO_4 в стаканчике

будет становиться все синее, так как вода из раствора переходит внутрь «клеточки».

Материалы и оборудование: 1) раствор 0,5%-го медного купороса CuSO_4 ; 2) кристаллы желтой кровяной соли $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$; 3) стакан на 50 мл; 4) стеклянная палочка; 5) нить.

1.5. Явление тургора

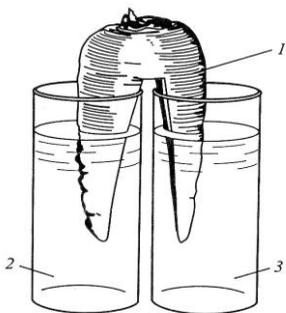


Рис. 4. Явление тургора: 1 – морковь, 2 – вода; 3 – раствор NaCl

Для нормального роста и развития клетки растения должны быть в состоянии напряжения клеточных оболочек, то есть в состоянии тургора, которое наблюдается при нормальном обеспечении клеток водой. Если же в клетках воды недостаточно, напряжение клеточных оболочек ослабевает и внешне это проявляется в том, что листья завядают и ткани становятся вялыми на ощупь и уменьшаются в размерах.

Цель работы: убедиться на опыте, что при потере воды, клетки, а затем и ткани теряют напряженность, т.е. тургор.

Ход работы: 1. Берут морковь, тщательно промывают в воде и с помощью ножа начиная с кончика надрезают корнеплод на две половинки (рис. 4). Далее одну половинку моркови помещают в стакан с водой, а другую – в стакан с насыщенным раствором NaCl .

2. После 1-2-х дневного пребывания половинок в указанных растворах, вынимают морковь, а затем измеряют линейкой длину обеих половинок.

3. Половинка, находившаяся в растворе NaCl , будет вялая и значительно более короткая, чем та, которая находилась в воде – она удлинится и становится очень упругой.

4. Зарисовать и сделать выводы.

Материалы и оборудование: 1) корнеплод моркови; 2) концентрированный раствор NaCl ; 3) дистиллированная вода; 4) линейки; 5) два стакана на 200 мл; 6) нож (ланцет).

1.6. Влияние ионов калия и кальция на вязкость цитоплазмы растительных клеток

Вязкость (или внутреннее трение) является одним из важнейших свойств цитоплазмы и характеризуется силой, необходимой для смещения одного слоя жидкости относительно другого. Она зависит от степени дисперсности и гидратации коллоидов, от содержания воды в клетке. Это свойство цитоплазмы тесно связано с обменом веществ: чем выше вязкость, тем обычно менее интенсивно идут обменные процессы. Высокая вязкость цитоплазмы способствует усилению устойчивости растений к действию на них высоких температур. Вязкость цитоплазмы неодинакова в клетках разного возраста, в клетках растений разных местообитаний.

Ионы минеральных солей способны проникать через плазмалемму в мезоплазму, вызывая изменения ее коллоидных свойств, в том числе вязкости. Ионы одно- и двухвалентных металлов оказывают различное влияние на цитоплазму.

О вязкости цитоплазмы можно судить по времени перехода вогнутой формы плазмолиза в выпуклую, чем быстрее осуществляется переход к выпуклой форме плазмолиза, тем вязкость цитоплазмы ниже.

Цель работы: установить влияние ионов калия и кальция на вязкость цитоплазмы по времени и форме плазмолиза.

Ход работы: 1. Нанести на предметное стекло каплю 1М раствора KNO_3 . Поместить в раствор кусочек эпидермиса лука с окрашенным клеточным соком и закрыть покровным стеклом. Рассмотреть препарат в микроскоп, отметить время наступления плазмолиза.

2. Нанести на предметное стекло каплю 0,7М раствора $Ca(NO_3)_2$. Поместить в раствор кусочек эпидермиса лука с окрашенным клеточным соком и закрыть покровным стеклом. Рассмотреть препарат в микроскоп, отметить время наступления плазмолиза.

3. Проследить за сменой форм плазмолиза и определить длительность плазмолиза в каждой соли. Полученные результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1

Влияние ионов калия и кальция на форму и время плазмолиза

Плазмо- литик	Время погружения ткани в раствор	Время наступления плазмолиза, мин			Время плазмолиза, мин
		уголковый	вогнутый	выпуклый	
KNO_3 $Ca(NO_3)_2$					

4. Сделать рисунки клеток, находившихся в растворах испытуемой соли. Сформулировать выводы о влиянии растворов солей на вязкость цитоплазмы по времени и форме плазмолиза.

Материалы и оборудование: 1) окрашенный лук (*Allium cepa* L.), в клетках которого содержится антоциан; 2) 1М KNO_3 , 3) 0,7М $Ca(NO_3)_2$; 4) скальпель; 5) лезвие; 6) предметные и покровные стекла; 7) препаровальные иглы; 8) фильтровальная бумага; 9) микроскоп.

1.7. Определение вязкости протоплазмы методом центрифугирования



Вязкость протоплазмы можно определить разными способами: путем определения скорости движения в ней искусственно введенных при помощи микроманипулятора кусочков никеля или железа, на которые затем действуют магнитом; путем смещения под воздействием центробежной силы крахмальных зерен, хлоропластов или других каких-либо включений клетки, методом центрифугирования, в основу которого положено уравнение Стокса, по которому скорость падения шарообразной частицы (при постоянном значении радиуса частицы и удельного веса частицы и жидкости) обратно пропорциональна вязкости жидкости. Мерой структурной вязкости протоплазмы может являться минимальная величина центробежного ускорения в единицах «g», при котором центрифугирование в течение 10-15 минут вызывает смещение хлоропластов у 50% клеток.

Центробежное ускорение (C) может быть определено из отношения центробежной силы к силе тяжести:

$$C = \frac{(2\pi N)^2 \times r}{g},$$

где N – число оборотов центрифуги в секунду;

r – радиус центрифуги;

g – ускорение силы тяжести (980 см/сек²).

Для сравнительных опытов определяют относительную вязкость. Мерой относительной вязкости может быть:

а) число оборотов центрифуги, необходимое для одинакового смещения хлоропластов;

б) степень смещения хлоропластов при одинаковой продолжительности центрифугирования.

Цель работы: определить вязкость протоплазмы в клетках листа элодеи канадской методом центрифугирования по степени смещения хлоропластов.

Ход работы: 1. Взять лист водного растения элодеи канадской (*Eloдея canadensis* Michx.) и поместить в каплю воды на предметное стекло, закрыть покровным стеклом и рассмотреть под микроскопом. Наблюдают за расположением хлоропластов в клетках у основания листа и верхушечной части листа.

2. Взять несколько листиков элодеи, положить по одному в центрифужные пробирки, наполненные до краев водопроводной водой. Пробирки уравновесить, вставить в центрифугу и центрифугировать в течение 10 минут при 3000 об/мин.

3. После этого листья элодеи рассмотреть под микроскопом. Под микроскопом видно смещение хлоропластов в клетках в ту сторону, в которую действует центробежная сила. Обнаруживают большее смещение в старых верхушечных клетках листа, в которых вязкость протоплазмы наименьшая. В молодых клетках у основания, смещение происходит медленно, и оно не так ясно выражено вследствие того, что протоплазма в этих клетках обладает большой вязкостью.

4. Затем листья снова положить в центрифужные пробирки с водой с добавлением небольшого количества эфира, листья снова центрифугируют в течение 10 минут при 3000 об/мин, после чего их рассматривают под микроскопом и наблюдают степень смещения хлоропластов в клетках у основания и верхушечной части листа.

5. Зарисовать и сделать выводы.

Материалы и оборудование: 1) листья элодеи канадской (*Eloдея canadensis* Michx.); 2) предметные и покровные стекла; 3) препаровальные иглы; 4) фильтровальная бумага; 5) центрифужные пробирки; 6) центрифуга; 7) микроскоп.

1.8. Прижизненное окрашивание клеток нейтральным красным

Цитоплазма обладает сложной прижизненной структурой, с которой связаны ее свойства и функции. Важнейшее из этих свойств – избирательная проницаемость.

Живая цитоплазма не удерживает в себе витальные красители, которые через нее свободно проходят в вакуоль и окрашивают клеточный сок. Наблюдается явление «сквозной» проницаемости. Отмирание цитоплазмы при этом не происходит, в этом можно убедиться, вызвав плазмолиз окрашенных клеток.

После гибели клетки, красители задерживаются в цитоплазме в результате изменений нативной структуры белков. При использовании красителя нейтрального красного цитоплазма окрашивается в желтый цвет, очень интенсивно окрашиваются ядра.

Нейтральный красный – двухцветный индикатор: в кислой среде он имеет малиновую окраску, а в щелочной – желтую.

Цель работы: установить, что растворенные в воде вещества, проходя через цитоплазму, могут поступать в вакуоль и накапливаться в ней.

Ход работы: 1. Срез эпидермиса чешуи лука (*Allium cepa* L.), поместить в раствор нейтрального красного на 10 мин. Затем перенести срез на предметное стекло в каплю воды, накрыть покровным стеклом и рассмотреть в микроскоп сначала при малом, а затем при большом увеличении.

2. Заменить воду на 1М раствор KNO_3 и рассмотреть в микроскоп, найти плазмолизированные клетки.

3. Чтобы проследить за изменениями в мертвой клетке, применяют сильный яд – аммиак. Для этого под покровным стеклом 1М раствор KNO_3 заменяют каплей 10%-го раствора аммиака. Окраска среза становится желтой, так как в присутствии аммиака кислая реакция клеточного сока изменилась на щелочную.

4. Зарисовать живые клетки, накопившие краситель в вакуолях; плазмолизированные клетки в 1М растворе KNO_3 ; клетки, находившиеся в 10%-ом растворе аммиака. Сделать выводы о проницаемости цитоплазмы для нейтрального красного и о реакции (рН) содержимого исследованных клеток.

Материалы и оборудование: 1) неокрашенный лук (*Allium cepa* L.); 2) 0,02%-ый водный раствор нейтрального красного в капельнице; 3) 1М раствор KNO_3 в капельнице; 4) 10%-ый раствор NH_4OH ; 5) вода в капельнице; 6) предметные и покровные стекла; 7) фильтровальная бумага; 8) лезвие; 9) пинцет; 10) скальпель; 11) микроскоп.

1.9. Диагностика повреждения растительной ткани по увеличению ее проницаемости

Избирательная проницаемость – свойство живой цитоплазмы сохранять постоянство внутриклеточной среды. При повреждении клетки цитоплазма теряет это свойство, и вещества из клеточного сока выходят в наружный раствор. Степень повреждения коррелирует с количеством выделяющихся в водную среду веществ. Таким образом, интенсивность выхода веществ из клетки служит критерием ее повреждения.

Цель работы: убедиться, что избирательная проницаемость характерна только для живой клетки, а в поврежденной клетке цитоплазма становится проницаемой, т.е. свободно пропускает клеточный сок.

Ход работы: 1. Из очищенного корнеплода красной столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.) вырезать брусочки мякоти диаметром 0,6-0,8 см, высотой 4 см. Брусочки тщательно промыть водопроводной водой.

2. Поместить по одному брусочку в 5 пробирок, содержащих по 5 мл различных растворов: кипяченая и некипяченая вода, хлороформ, уксусная кислота, спирт (табл. 2).

3. Вариант опыта с кипячением выполняют следующим образом. В пробирку с водой кладут брусочек и доводят до кипения, кипятят на спиртовке. Затем брусочек вынимают, охлаждают и опускают в пробирку, содержащую 5 мл холодной водопроводной воды.

4. Через 30 мин после начала опыта все пробирки встряхнуть, брусочки свеклы извлечь и сравнить количество вышедшего из клеток пигмента в разных вариантах опыта.

5. При помощи фотоэлектродетектора (ФЭК) при длине волны 430-450 нм определить коэффициент экстинкции. В качестве контроля берут воду.

6. Результаты опыта записывают в таблицу 2. Делают выводы о степени повреждения цитоплазмы.

Таблица 2

Влияние различных факторов на степень повреждения мембран

Условия опыта	5 мл водопроводной воды		5 мл водопроводной воды + 6 капель хлороформа	5 мл 30%-го CH_3COOH	5 мл 50%-го $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
	некипяченая, 20° С	кипяченая, 100° С			
Интенсивность окраски раствора (коэффициент экстинкции)					
Степень повреждения мембран в % от максимума					

Материалы и оборудование: 1) корнеплод столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.); 2) хлороформ; 3) 30%-й раствор уксусной кислоты; 4) 50%-й $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$; 5) штативы с пробирками; 6) скальпель; 7) линейки; 8) пипетки на 10 мл; 9) ФЭК.

1.10. Определение потенциального осмотического давления клеточного сока методом плазмолиза

Под *осмотическим давлением* понимается сила равная той, которую необходимо приложить, чтобы помешать проникновению частиц чистого растворителя (вода) в раствор (раствор сахарозы), разграниченные между собой полупроницаемой мембраной. Осмотическое давление, развиваемое водным раствором какого-либо вещества, отделенным от

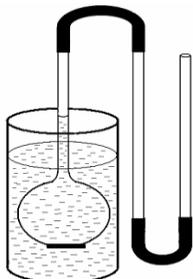


Рис. 5. Осмометр

воды полупроницаемой мембраной, порционально количеству вещества, ержащегося в единице объема растворителя. Следовательно, для того бы получить представления о вели е осмотического потенциала какого о раствора, необходимо определить ем концентрацию растворенного в тва.

Для измерения осмотического да в ия можно использовать осмометр

д. з. 5). Также при определении осмотического давления клеточного сока используют метод плазмолиза, который основывается на присущем цитоплазме свойстве полупроницаемости. Метод основан на подборе такой концентрации наружного раствора, которая вызывает начальный плазмолиз. Осмотическое давление такого наружного раствора примерно равно осмотическому давлению клеточного сока. Раствор с осмотическим давлением, равным осмотическому давлению клеточного сока, называется изотоническим.

Цель работы: определить величину осмотического давления клеточного сока в клетках эпидермиса лука методом плазмолиза.

Ход работы: 1.) В химических стаканчиках приготовить по 10 мл 0,5М; 0,4М; 0,3М; 0,2М; 0,1М растворов сахарозы путем разбавления 1М раствора сахарозы дистиллированной водой. Растворы тщательно перемешать. В один стакан налить 10 мл воды. Стаканчики закрыть крышками, чтобы предотвратить испарение, и поставить в ряд по убывающей концентрации растворов.

2. Лезвием безопасной бритвы сделать тонкие срезы с выпуклой поверхности чешуи лука размером примерно 25 мм² из среднего, хорошо окрашенного участка чешуи лука.

3. В каждый стаканчик, начиная с высокой концентрации, с интервалом в 3 мин опустить по 2-3 среза.

4. Через 30 мин после погружения срезов в первый стаканчик рассмотреть их в микроскоп. Затем, через каждые 3 мин, рассматривать срезы из последующих стаканчиков. Этим достигается одинаковая продолжительность пребывания срезов в растворах плазмолитиков. Рассматривать срезы следует в капле раствора из того стаканчика, откуда был взят срез.

5. Определяют степень плазмолиза клетки в каждом растворе и находят изотоническую концентрацию как среднее арифметическое между концентрацией, при которой плазмолиз только начинается, и той, которая уже не вызывает плазмолиза.

6. Результаты опыта записать в таблицу 3, сделать выводы.

Величину потенциального осмотического давления (кПа) рассчитывают по формуле:

$$\Pi = R \times T \times c \times i \times 101,3,$$

где 101,3 – множитель для перевода атмосфер в килопаскали;

R – газовая постоянная (0,0821 л × атм/град × моль);

T – абсолютная температура (273°K + комнатная);

c – изотоническая концентрация в молях;

i – изотонический коэффициент Вант-Гоффа.

Таблица 3

Осмотическое давление клеточного сока растений

Концентрация растворов сахарозы, М	На 10 мл раствора		Продолжительность пребывания срезов в растворе		Степень плазмолиза	Изотоническая концентрация, М	Потенциальное осмотическое давление, кПа
	сахарозы, мл	воды, мл	время погружения	время наблюдения			
0,5	5	5					
0,4	4	6					
0,3	3	7					
0,2	2	8					
0,1	1	9					
вода	0	10					

Материалы и оборудование: 1) окрашенный лук (*Allium cepa* L.); 2) 1М раствор сахарозы; 3) химические стаканчики на 50 мл; 4) скальпель; 5) лезвие; 6) препаровальные иглы; 7) градуированные пипетки на 10 мл; 8) предметные и покровные стекла; 9) фильтровальная бумага; 10) микроскоп.

1.11. Определение сосущей силы клеток по изменению концентрации растворов методом струек (по В.С. Шардакову)

Сила, с которой клетка способна насасывать воду, называется *сосущей силой* клетки. Сосущая сила растительной клетки равна разности между осмотическим давлением клеточного сока и тургорным давлением. При погружении клетки в какой-либо раствор водообмен между ними определяется соотношением их сосущих сил: вода передвигается в ту сторону, где больше сосущая сила.

Для определения сосущей силы клеток кусочки ткани погружают в ряд растворов известной концентрации и подбирают такой раствор, сосущая сила которого равна сосущей силе клеток. Наиболее точные методы определения сосущей силы клеток основаны на измерении концентрации окружающих клетки растворов. Если погрузить растительную ткань в раствор, сосущая сила которого больше сосущей силы клеток, то раствор будет отсасывать воду из клеток, вследствие чего его концентрация уменьшится. Наоборот, если сосущая сила клеток больше сосущей силы раствора, то клетки всасывают воду из раствора, который становится при этом более концентрированным. При равенстве сосущих сил клеток и раствора не происходит ни всасывания, ни отнятия воды, в результате чего концентрация раствора остается без изменения.

Изменение концентрации можно установить путем определения показателя плотности растворов (метод струек).

Цель работы: определить величину сосущей силы клеток листьев растений.

Ход работы: 1. Пробирки расставить в штативе в 2 ряда: 5 – внизу и 5 – вверху. В верхних пробирках приготовить по 10 мл 0,5М, 0,4М, 0,3М, 0,2М и 0,1М раствора сахарозы. Данные концентрации готовятся путем разбавления 1М раствора сахарозы дистиллированной водой. В пробирки нижнего ряда перенести по 0,5 мл раствора из верхних пробирок. Все пробирки закрыть пробками.

2. Из листа растения вырезать сверлом 10 дисков. Для этого лист нижней стороной повернуть вверх, подложить под него резиновую пластинку и между крупными жилками выбить диски. Опустить по 2 диска в каждую пробирку нижнего ряда на 40 минут. Через каждые 10 минут встряхивать пробирку с дисками.

3. Затем стеклянной палочкой вывести диски на стенки пробирок. Подкрасить опытные растворы в пробирках нижнего ряда метиленовым синим, взятым в небольшом количестве. Встряхнуть пробирки, добиваясь равномерной окраски раствора.

4. В пипетку на 0,5 мл набрать подкрашенный опытный раствор нижнего ряда. Конец пипетки опустить в соответствующий исходный раствор в пробирке верхнего ряда так, чтобы уровень жидкости в пипетке превышал уровень раствора в пробирке. Медленно выпустить жидкость из пипетки в исходный раствор, отметить направление движения струйки.

Если концентрация и, следовательно, удельный вес окрашенного раствора, увеличились по сравнению с исходным, то струйка пойдет вниз, если концентрация уменьшилась – струйка пойдет вверх. При равенстве концентраций струйка равномерно распределится внутри пробирки с исходным раствором.

5. Величину сосущей силы, которая соответствует неизменившейся концентрации раствора, рассчитывают по формуле: $S=P-T$; $T=0$; $S=P \times i \times R \times c \times T$.

6. Результаты записать в таблицу 4 и сделать выводы.

Таблица 4

Сосущая сила растительной ткани

Концентрация сахарозы, М	На 10 мл раствора		Направление движения струйки	Концентрация внешнего раствора, оставшегося неизменным, М	Сосущая сила ткани, атм. (кПа)
	сахарозы, мл	воды, мл			
0,5	5	5			
0,4	4	6			
0,3	3	7			
0,2	2	8			
0,1	1	9			

Материалы и оборудование: 1) листья растений; 2) 1М раствор сахарозы; 3) раствор метиленовой сини; 4) пипетки на 0,5 и 10 мл; 5) сверло диаметром 0,9 см; 6) пинцет; 7) часы; 8) штатив с пробирками; 9) пробки для пробирок; 10) стеклянные палочки.

1.12. Определение сосущей силы растительной ткани методом полосок (по Лилиенштерн)

Сосущая сила выражает способность растительной ткани поглощать воду в каждый конкретный момент времени. Величина ее быстро меняется и зависит от осмотического и тургорного давления клеточного сока. Определяют сосущую силу для того, чтобы знать, в каких условиях водоснабжения находится растение. С помощью этого показателя правильно выбирают время полива.

Настоящий метод основан на подборе наружного раствора такой концентрации, при погружении в который полоска растительной ткани не меняет длины. Если осмотическое давление наружного раствора больше сосущей силы, то раствор отнимает воду от клеток, объем их и длина полоски уменьшаются. Если осмотическое давление раствора меньше сосущей силы ткани, то клетка поглощает воду из раствора, увеличивается в объеме и длина полоски становится больше. В растворе, где осмотическое давление равно сосущей силе ткани, длина полоски не изменяется.

Цель работы: определить величину сосущей силы клеток клубня картофеля.

Ход работы: 1. Приготовить в пяти пробирках по 10 мл: 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1 М растворов сахарозы, в шестую пробирку приливают 10 мл дистиллированной воды.

2. Из клубня картофеля (*Solanum tuberosum* L.) вырезать 12 брусочков длиной 4-6 см и сечением около 4 мм². Концы брусочков срезать наискось. Работать следует быстро, чтобы исключить подсыхание полосок. Миллиметровой линейкой точно измерить длину брусочков и поместить их по два в каждую пробирку.

3. Через 20 мин брусочки вынуть, обсушить фильтровальной бумагой и снова измерить длину.

4. Для расчета величины сосущей силы берут концентрацию, при которой длина полосок не изменилась. Вычисляют сосущую силу по формуле: $S = P - T$; $T = 0$; $S = P - i \times R \times c \times T$.

Результаты заносят в таблицу 5.

Таблица 5

Сосущая сила клеток

Концентрация раствора сахарозы, М	Длина полоски, мм		Концентрация раствора, при которой длина полоски не изменилась, М	Сосущая сила, атм. (кПа)
	перед погружением в раствор	после пребывания в растворе		
0,5				
0,4				
0,3				
0,2				
0,1				
H ₂ O				

Материалы и оборудование: 1) клубень картофеля (*Solanum tuberosum* L.); 2) 1 М раствор сахарозы; 3) пипетки на 10 мл; 4) пинцет; 5) скальпель; 6) препаровальные иглы; 7) часы; 8) миллиметровая линейка; 9) штатив с пробирками; 10) фильтровальная бумага.

Контрольные вопросы

1. Отличительные особенности растительной клетки от животной клетки.
2. Строение клеточной стенки.
3. Строение биологической мембраны. Модели мембран.
4. Избирательная проницаемость цитоплазмы.
5. Вакуоль, тонопласт и их роль в избирательной проницаемости клетки.
6. Плазмолиз. Формы и время плазмолиза. Деплазмолиз. Способны ли плазмолизироваться мертвые клетки?
7. Понятие вязкости цитоплазмы. Методы определения вязкости.
8. Осмотические свойства клетки. Понятие об осмосе, осмотическом давлении, тургоре и сосущей силе. Методы определения сосущей силы.
9. Графическая взаимосвязь осмотического, тургорного давления и сосущей силы.



2. ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТЕНИЙ

Значение воды в жизнедеятельности растений. Растения и круговорот воды на Земле. Молекулярная структура и физические свойства воды. Взаимодействие молекул воды и биополимеров, гидратация. Свободная и связанная вода. Физиологическое значение различных фракций воды в растениях. Растительная клетка как осмотическая система.

Основные закономерности поглощения воды клеткой. Набухание биокolloидов, осмос – явление, лежащее в основе поступления воды в растение. Термодинамические показатели, определяющие поведение воды: активность воды, химический потенциал, водный потенциал.

Механизм передвижения воды по растению. Пути ближнего и дальнего транспорта. Движущие силы восходящего тока воды в растении. Верхний и нижний концевые двигатели. Корневое давление, механизм его развития и значение в жизни растений. Натяжение воды в сосудах; значение сил молекулярного сцепления.

Выделение воды растением: плач, гуттация, транспирация. Физиологическое значение этих процессов. Количественные показатели транспирации: интенсивность, продуктивность, транспирационный коэффициент. Устьичная и кутикулярная транспирация. Строение устьиц и механизмы их движений, влияние света. Устьичное и внеустьичное регулирование транспирации. Влияние внешних факторов (света, температуры, влажности воздуха и почвы и др.) на интенсивность транспирации. Суточный ход транспирации. Значение транспирации.

Экология водообмена растений. Особенности водообмена у растений разных экологических групп (ксерофитов, мезофитов, гигрофитов, галофитов) и пути адаптации растений к водному дефициту.

Засухоустойчивость растений. Формы воды в почве. Доступная и недоступная вода. Влажность, завядание. Атмосферная и почвенная засуха. Водный дефицит. Влияние недостатка воды на фотосинтез, дыхание и рост растений.

Устойчивость растений к обезвоживанию. Понятие засухоустойчивости и жаростойкости. Борьба с засухой и повышения засухоустойчивости. Физиология поливного растения.

2.1. Наблюдение за движением устьиц под микроскопом

Газообмен между межклетниками листа и атмосферой регулируется устьицами. Устьице состоит из двух специализированных клеток эпи-

дермиса, называемых замыкающими, между которыми находится устьичная щель (рис. 6). В отличие от клеток эпидермиса замыкающие клетки устьичного аппарата имеют бобовидную форму, содержат хлоропласты.

Устьица регулируют газо- и водообмен в растении благодаря тому, что обладают способностью периодически открываться и закрываться.

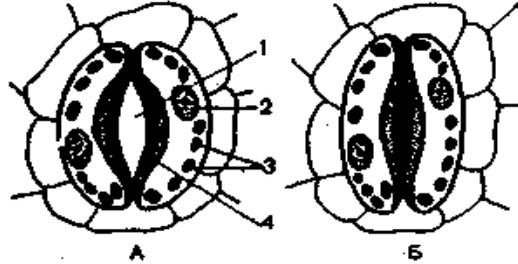


Рис. 6. Строение устьиц у двудольных:

А – открытое устьице; Б – закрытое устьице. 1 – устьичная щель; 2 – ядро; 3 – хлоропласты; 4 – толстая клеточная оболочка

Цель работы: изучить строение устьиц и пронаблюдать за их движением.

Ход работы: *Изучение строения устьиц.* С нижней стороны листа традесканции виргинской (*Tradescantia virginiana* L.) снять эпидермис, поместить его на предметное стекло в каплю воды и накрыть покровным стеклом. При малом и большом увеличении микроскопа рассмотреть строение устьиц. Замыкающие клетки устьица имеют бобовидную форму и содержат цитоплазму, ядро с ядрышком, хлоропласты, небольшие вакуоли. Оболочки замыкающих клеток утолщены неравномерно: оболочка внутренней стороны, обращенная к щели, толще, чем противоположная.

Наблюдение за открыванием и закрыванием устьиц. 1. Приготовить срез эпидермиса с нижней стороны листа традесканции виргинской, поместить его в каплю 5%-го раствора глицерина на предметное стекло, накрыть покровным стеклом и сразу начать наблюдения плазмолиза под микроскопом, как в замыкающих клетках, так и в остальных клетках эпидермиса. Устьичные щели при этом закрываются.

2. Заменить глицерин водой, для этого нанести рядом с покровным стеклом каплю воды, а с другой стороны покровного стекла оттянуть глицерин фильтровальной бумагой. При этом устьица открываются.

3. Зарисовать открытое и закрытое устьице и объяснить причины устьичных движений.

Материалы и оборудование: 1) листья традесканции виргинской (*Tradescantia virginiana* L.); 2) 5%-й раствор глицерина в капельнице; 3) лезвие; 4) пре-паровальные иглы; 5) предметные и покровные стекла; 6) стакан с водой; 7) фильтровальная бумага; 8) микроскоп.

2.2. Определение интенсивности транспирации весовым методом

Транспирация – процесс испарения воды наземными частями растений. Интенсивность транспирации – это количество воды, испарившейся в единицу времени единицей листовой поверхности (г. H_2O / m^2 час). Основные движущие силы водного потока от почвы через растение в атмосферу показаны на рисунке 7.

Цель работы: установить зависимость интенсивности транспирации от условий освещения, влажности и температуры, а также установить способность растений регулировать транспирацию.

Ход работы: 1. С растения пеларгонии зональной (*Pelargonium zonale* L.) срезать лист с черешком. Нижний конец черешка подрезать наискось под водой примерно на 1 см для восстановления водных нитей в проводящих сосудах. Черешок плотно укрепить ватой в отверстии пробки.

2. Вставить пробку с листом в прибор Веска, наполненный водой комнатной температуры так, чтобы черешок листа был погружен в воду. В качестве прибора Веска можно использовать пробирки с загнутыми краями. Пробирка подвешивается при помощи нити к рычагам весов.

3. Готовят 4 прибора Веска, взвешивают их на технических весах. Один прибор помещают в темное место, другой – на прямой свет, третий – во влажную камеру, четвертый – под струю ветра. Ветер создается за счет работы вентилятора. Влажную камеру готовят следующим образом: чашку Петри с теплой водой ставят под стеклянный колпак, за счет чего под колпаком создается высокая влажность.

4. Через час проводят повторное взвешивание. По разнице с первоначальной массой устанавливают количество воды, испарившейся за время опыта.

Для выполнения расчетов, необходимо вычислить площадь листа. Для этого вырезать из бумаги квадрат размером (10×10 см) (с) и взвесить (а). На другой вырезанный квадрат из такой же бумаги наложить опытный лист растения, обвести его контур, вырезать по контуру (S) и взвесить (в). Составить пропорцию и рассчитать площадь листа.

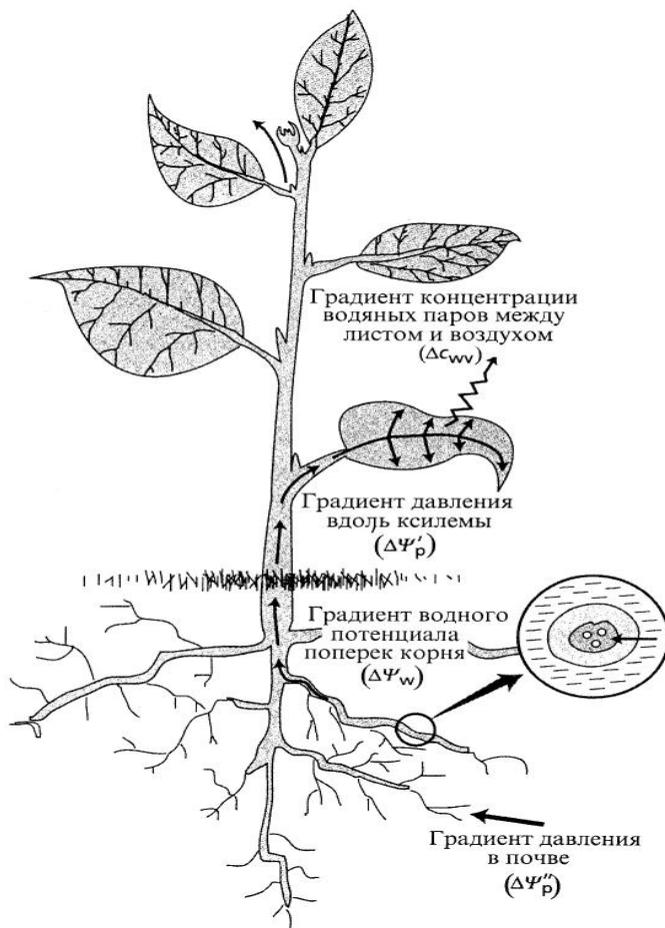


Рис 7. Основные движущие силы водного потока от почвы через растение в атмосферу (Taiz, Zeiger, 1998; Медведев, 2004)

$$S = \frac{c \times b}{a},$$

где S – площадь листа, см^2 ;

c – площадь квадрата (100 см^2);

a – масса квадрата, г;

b – масса бумаги, вырезанный по контуру, г.

Интенсивность транспирации I (г. H_2O / m^2 час) вычисляют по формуле:

$$I = \frac{n \times 60 \times 10000}{S \times t},$$

где n – количество воды, испарившейся за время опыта, г;

S – площадь листьев, cm^2 ;

t – продолжительность опыта, мин;

60 – коэффициент перевода минут в часы;

10000 – коэффициент перевода cm^2 в m^2 .

Результаты занести в таблицу 6. Сделать выводы о зависимости интенсивности транспирации от внешних условий.

Таблица 6

Влияние различной освещенности на интенсивность транспирации

Условия опыта	Продолжительность опыта, мин	Масса, г		Убыль в массе, г	Площадь листа, cm^2	Интенсивность транспирации, г. H_2O / m^2 час
		до опыта	после опыта			
1) Свет 2) Ветер 3) Повышенная влажность воздуха 4) Температура						

Материалы и оборудование. 1) листья пеларгонии зональной (*Pelargonium zonale* L.); 2) технические весы; 3) часы; 4) приборы Веска; 5) чашки Петри; 6) ножницы; 7) бумага 10x10; 8) линейки; 9) вата.

2.3. Сравнение транспирации верхней и нижней сторон листа хлоркобальтовым методом (по Шталю)

Метод кобальтовой пробы основан на изменении цвета фильтровальной бумаги, пропитанной хлоридом кобальта, при поглощении ею паров воды, испаряемых поверхностью листа. По времени, необходимому для перехода окраски кобальтовой бумаги из голубой (цвет сухого $CoCl_2$) в розовую (цвет $CoCl_2 \times 6H_2O$), судят об интенсивности транспирации растений.

Цель работы: установить различную интенсивность транспирации верхней и нижней сторон листа.

Ход работы: 1. Хлоркобальтовые бумажки взвешивают на весах и на целлюлозной подложке прикладывают к верхней и нижней сторонам листа растения, укрепляют подложку канцелярской скрепкой.

2. Наблюдают, через сколько минут порозовеет бумажка на верхней и нижней сторонах листа.

3. По скорости порозовения бумажки определяют, с какой стороны листа транспирация идет быстрее.

4. По окончании опыта исследуют под микроскопом эпидермис верхней и нижней сторон листа и подсчитывают количество устьиц в поле зрения. Для этого просматривают по три-пять полей зрения на трех препаратах каждого варианта и вычисляют среднее.

5. Делают выводы о причинах различной интенсивности транспирации сторон листа данного растения и о соотношении между устьичной и кутикулярной транспирацией.

6. Результаты опыта записывают в таблицу 7.

Таблица 7

Транспирация верхней и нижней сторон листа

Вес хлоркобальтовой бумажки, мг	Сторона листа	Время наблюдения		Время порозовения бумажки	Число устьиц в поле зрения микроскопа, шт.
		начало	конец		

Материалы и оборудование: 1) растения пеларгонии зональной (*Pelargonium zonale* L.), традесканции виргинской (*Tradescantia virginiana* L.); 2) хлоркобальтовая бумага на целлюлозной подложке; 3) канцелярские скрепки; 4) часы; 5) стекла предметные и покровные; 6) пинцеты; 7) капельницы с водой; 8) лезвия; 9) препаровальные иглы; 10) микроскопы.

2.4. Определение разных фракций воды методом Окунцова-Маринчик

При погружении живой ткани в крепкий раствор сахарозы часть воды из ткани переходит в раствор, уменьшая его концентрацию. Зная исходный объем раствора, начальную и конечную концентрацию его, определяют количество воды, отнятой раствором из ткани. По разнице содержания общей воды и воды, перешедшей в раствор (свободная вода), рассчитывают содержание связанной воды. Концентрацию сахарозы в растворе определяют на рефрактометре.



Рефрактометр построен на основе определения коэффициента преломления раствора по предельному углу преломления или полного внутреннего отражения луча. Прибор состоит из следующих частей: корпуса, основания, камеры, состоящей из двух призм.

Цель работы: рассчитать количество общей, свободной и связанной воды.

Ход работы: 1. Берут пустой металлический бюкс, взвешивают его и помещают в него 10 высечек. Диски из листьев высечают сверлом (диаметр 6-10 мм), не захватывая крупных жилок. Бюкс с высечками взвешивают и сушат в термостате при

температуре 105°C до постоянного веса.

2. Берут две пробирки с пробками, нумеруют, взвешивают по отдельности на весах. Массу пробирок записывают в тетради. Затем в пробирки наливают по 2 мл 30%-го раствора сахарозы и взвешивают. После чего в них помещают по 10 высечек из листьев растений и снова взвешивают. Пробирки ставят в штатив на 1 час, время от времени встряхивают.

3. При помощи рефрактометра определяют показатель преломления приготовленного раствора сахарозы и точно устанавливают концентрацию раствора.

4. Через 1 час из каждой пробирки берут раствор и определяют его концентрацию на рефрактометре.

Рассчитывают количество общей, свободной и связанной воды:

а) содержание количества общей воды (% на г сырой массы):

$$K_{об.} = \frac{100 \times (\delta - \epsilon)}{(\delta - \alpha)},$$

где α – масса пустого бюкса, г;

δ – масса бюкса с сырой навеской, г;

ϵ – масса бюкса с сухой навеской, г;

б) содержание количества свободной воды (% на г сырой массы):

$$K_{св.} = \frac{100 \times (A - B) \times (\Gamma - B)}{B \times (D - \Gamma)},$$

где A – процент сахарозы в исходном растворе (до опыта);

B – процент сахарозы в опытном растворе (после опыта);

Γ – масса пустой пробирки, г;

Г – масса пробирки с раствором, г;
Д – масса пробирки с раствором и навеской, г;

в) содержание количества связанной воды определяется как разница между количеством общей ($K_{об}$) и свободной ($K_{св}$) воды (% на г сырой массы):

$$K_{связан.} = K_{об.} - K_{св.}$$

Материалы и оборудование: 1) листья растений; 2) 30%-й раствор сахарозы; 3) пробирки с пробками (2 шт.); 4) бюксы; 5) сверло; 6); пипетка на 2 мл; 7) универсальный рефрактометр; 8) термостат; 9) весы с разновесами.

Контрольные вопросы

1. Структура воды. Теории Самойлова, Франка и Вена.
2. Фракционный состав воды и методы его определения.
3. Понятие о работе нижнего концевого двигателя, корневое давление.
4. Теория сцепления и натяжения водных нитей (теория Е.Ф. Вотчала).
5. Понятие о работе верхнего концевого двигателя (транспирация).
6. Кутикулярная и устьичная транспирация. Механизмы работы устьиц. Методы наблюдения за движением устьиц. Суточный ход транспирации.
7. Интенсивность транспирации и методы ее определения.



3. ФОТОСИНТЕЗ

Развитие учения о фотосинтезе. Историческое значение работ К.А. Тимирязева. Вклад отечественных и зарубежных ученых в изучение процесса фотосинтеза.

Сущность и значение фотосинтеза. Общее уравнение фотосинтеза. Фотосинтез как процесс трансформации энергии света в энергию химических связей. Эволюция биосферы и фотосинтез, газовая функция биосферы. Круговорот кислорода в биосфере.

Структурная организация фотосинтетического аппарата и его эволюция. Строение листа как органа фотосинтеза. Хлоропласты. Основные элементы структуры хлоропластов (двойная мембрана, матрикс, тилакоиды, ламеллы, граны). Происхождение хлоропластов.

Пигментные системы фотосинтезирующих организмов. Хлорофиллы: химические и оптические свойства. Отдельные представители группы хлорофиллов. Распространение хлорофиллов среди различных групп организмов. Функции хлорофиллов. Основные этапы биосинтеза молекулы хлорофилла.

Каротиноиды: химическое строение, свойства, спектры поглощения, функции в фотосинтезе, народно-хозяйственное значение.

Фикобилины: распространение, химическое строение, спектральные свойства. Роль в фотосинтезе.

Биосинтез пигментов и его зависимость от экологических факторов: интенсивности и качества света, снабжения CO_2 , O_2 и минеральными элементами. Явление хроматической адаптации. Экологическое значение спектрально-различных форм пигментов у фотосинтезирующих организмов.

Первичные процессы фотосинтеза. Электронно-возбужденные состояния пигментов (синглетное, триплетное). Типы дезактивации возбужденных состояний. Флуоресценция. Механизмы миграции энергии.

Представление о фотосинтетической единице. Антенные комплексы. Реакционные центры, модели их структурной организации. Преобразование энергии в реакционном центре. Окислительно-восстановительные превращения хлорофилла реакционного центра.

Электрон-транспортная цепь фотосинтеза, природа ее основных компонентов. Представление о совместном функционировании двух фотосистем. Эффект Эмерсона. Системы фотоокисления воды и выделения кислорода при фотосинтезе. Участие хинонов, цитохромов, Cu- и Fe-протеидов в реакциях транспорта электронов. Циклический и нециклический транспорт электронов.

Фотофосфорилирование. Характеристика основных типов фотофосфорилирования – циклического, нециклического, псевдоциклического. Механизм сопряжения электронного транспорта и образования АТФ.

Темновая стадия фотосинтеза. Связь фотосинтетической ассимиляции CO_2 с фотохимическими реакциями. Природа первичного акцептора углекислоты. Химизм реакций цикла М. Кальвина, его ключевые ферменты. Первичные продукты фотосинтеза, их превращения. Регенерация акцепторов CO_2 . Первичный синтез углеводов. Фотодыхание. Цикл Хетча-Слэка-Карпилова. Особенности C_3 - и C_4 - растений и САМ-тип метаболизма.

Экология фотосинтеза. Зависимость фотосинтеза от внешних условий и состояния организма. Влияние на фотосинтез температуры, освещения, содержания углекислоты, условий минерального питания, водоснабжения. Суточный ход фотосинтеза. Продукты фотосинтеза.

3.1. Химические свойства пигментов листа

Важнейшими компонентами фотосинтетического аппарата растений являются пигменты. Пигменты делятся на два класса: тетрапиррольные соединения (*хлорофиллы и фикобилины*) и полиизопреноидные (*каротиноиды*). Фикобилины – это пигменты водорослей. У высших растений обнаружены хлорофилл «а», хлорофилл «b» и каротиноиды. Основным функциональным пигментом является хлорофилл «а», который обнаружен у всех фотосинтезирующих организмов (кроме бактерий). Он служит непосредственным донором энергии для фотосинтетических реакций. Остальные пигменты, лишь передают поглощенную энергию хлорофиллу «а».

По химической природе *хлорофиллы «а» и «b»* – сложные эфиры дикарбоновой кислоты хлорофиллина и двух спиртов – метилового спирта и фитола (рис. 8). Хлорофилл «b» отличается от хлорофилла «а» лишь тем, что у третьего углеродного атома во втором пиррольном кольце его молекулы метильная группа ($-\text{CH}_3$) заменена на альдегидную ($-\text{CHO}$).

Функции хлорофилла: 1) поглощает энергию солнечного света; 2) запасаает энергию кванта света в виде энергии электронного возбуждения молекулы; 3) преобразует энергию электронного возбуждения в химическую энергию первичного окислителя и восстановителя.

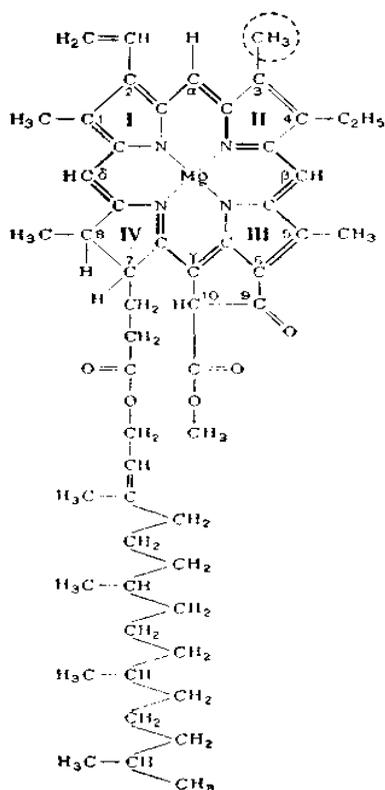


Рис. 8. Структурная формула хлорофилла «а»

К каротиноидам относятся *каротины* и *ксантофиллы* (рис. 9). Каротины – непредельные углеводороды с эмпирической формулой $C_{40}H_{56}$. По своей химической структуре они являются ациклическими, моноциклическими и бициклическими соединениями.

При этом в циклических каротинах шестичленные кольца представлены двумя типами: β -иононовыми и α -иононовыми.

В фотосинтезирующих организмах эта группа желтых пигментов представлена ликопином, α -каротином, β -каротином и γ -каротином. У высших растений основным каротином является β -каротин.

Ксантофиллы – кислородсодержащие производные каротинов, включающие в себя лютеин ($C_{40}H_{56}O_2$), зеаксантин ($C_{40}H_{56}O_4$), виолаксантин ($C_{40}H_{56}O_4$), неоксантин ($C_{40}H_{56}O_4$) (рис. 9). Среди названных ксантофиллов преобладает лютеин, который по химической структуре очень близок

к α -каротину, но в отличие от него является двухатомным спиртом, т.е. в каждом иононовом кольце, один атом водорода замещен на гидроксильную группу.

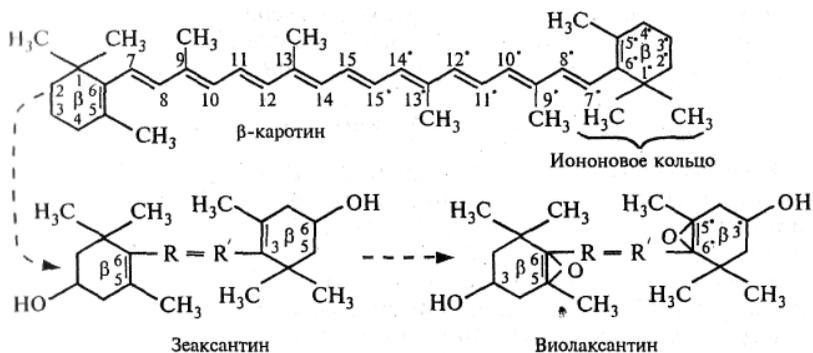


Рис. 9. Структурные формулы каротиноидов и последовательность их превращений

Функции каротиноидов: 1) являются дополнительными пигментами; 2) защищают молекулы хлорофилла от фотоокисления; 3) играют роль в кислородном обмене при фотосинтезе.

Цель работы: познакомиться с химическими свойствами пигментов листа.

Получение спиртового раствора пигментов. Пигменты из растительной ткани извлекают полярными растворителями (этиловый спирт, ацетон), которые разрушают связь хлорофиллов и ксантофиллов с липопротеидами пластид и обеспечивают их полное экстрагирование. Неполярные растворители (петролейный эфир, гексан, бензин и др.) не нарушают связи этих пигментов с белками. Для получения вытяжки пигментов используют как сырой, так и сухой растительный материал. Высушенные листья предварительно обрабатывают горячей водой, чтобы облегчить последующее извлечение пигментов.

Свежие листья растений (1 г) мелко измельчить ножницами, поместить в ступку и растереть с небольшим количеством CaCO_3 . Постепенно в ступку приливать 2-3 мл этилового спирта и тщательно растереть навеску до получения однородной массы. Затем прилить еще 5-8 мл спирта, содержимое перемешать. Носик ступки снизу смазать вазелином и по стеклянной палочке содержимое ступки перенести на бумажный фильтр. Полученный фильтрат поместить в пробирку. Спиртовая вытяжка содержит сумму зеленых и желтых пигментов.

Разделение пигментов по Краусу. Метод основан на различной растворимости пигментов в спирте и бензине. Эти растворители при сливании не смешиваются, а образуют две фазы верхнюю бензиновую и нижнюю спиртовую, благодаря чему и разделяются компоненты смеси пигментов.

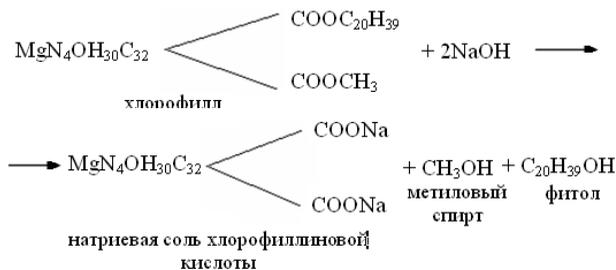
Ход работы: 1. В пробирку налить 2-3 мл спиртового экстракта пигментов и добавить 3-4 мл бензина. Содержимое пробирки сильно встряхнуть, предварительно закрыв ее пробкой или большим пальцем, и оставить отстояться. Для лучшего разделения добавить 1-2 капли воды.

2. По мере расслоения эмульсии верхний бензиновый слой будет окрашиваться в зеленый цвет, из-за лучшей растворимости в нем хлорофиллов. Кроме того, в бензин переходит каротин, но его окраска маскируется хлорофиллом. Ксантофилл остается в нижнем спиртовом слое, придавая ему золотисто-желтую окраску.

3. Если пигменты разделяются недостаточно четко, добавить 1-2 капли воды и снова встряхнуть. При избытке воды возможно помутнение нижнего слоя, тогда следует прилить немного этилового спирта и взболтать содержимое пробирки.

4. Зарисовать распределение пигментов в спирте и бензине, сделать выводы о различной их растворимости.

Омыление хлорофилла щелочью. При обработке хлорофилла щелочью происходит омыление эфирных групп, т.е. отщепление остатков метилового спирта и фитола:



Образуется натриевая соль хлорофиллиновой кислоты, сохраняющая зеленую окраску и оптические свойства хлорофилла, но отличающаяся большей гидрофильностью, по сравнению с неизмененным пигментом.

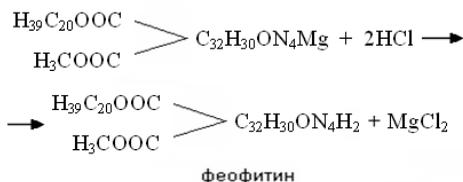
Ход работы: 1. В пробирку с 2-3 мл спиртового раствора пигментов прилить 1 мл 20%-го раствора NaOH и взболтать. После смешивания экстракта со щелочью пробирку поместить в кипящую водяную баню, довести до кипения и охладить.

2. К охлажденному раствору прилить равный объем бензина и несколько капель воды для лучшего разделения смеси. Затем содержимое пробирки резко встряхнуть и дать ему отстояться.

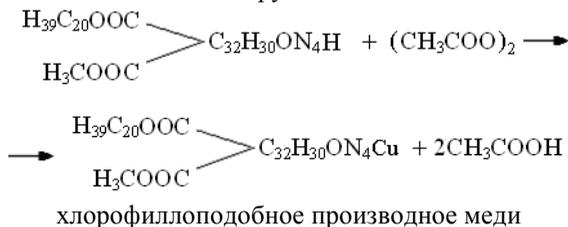
3. В бензиновый слой перейдут каротин и ксантофилл, а в спиртовый – натриевая соль хлорофиллиновой кислоты.

4. Зарисовать окраску слоев, указав распределение пигментов.

Получение феофитина и обратное замещение водорода атомом металла. Атом магния слабо удерживается в порфириновом ядре хлорофилла и при осторожном воздействии сильных кислот легко замещается двумя протонами, что приводит к образованию феофитина бурого цвета.



Если на феофитин подействовать солями меди, цинка или ртути, то вместо двух протонов в ядро входит соответствующий металл и вновь восстанавливается зеленая окраска. Однако она несколько отличается от окраски хлорофилла. Следовательно, цвет хлорофиллов зависит от металлоорганической связи в их молекуле. Обратное введение магния в феофитин происходит с большим трудом.



Ход работы: 1. В пробирку налить 2-3 мл спиртовой вытяжки пигментов и прибавить 1-2 капли 10%-го раствора соляной кислоты. В ходе реакции зеленый цвет меняется на бурый, при этом хлорофилл превращается в феофитин. Содержимое пробирки разлить в две пробирки.

2. Одну пробирку с феофитином оставить для контроля, а во вторую поместить несколько кристаллов уксуснокислой меди и нагреть раствор на водяной бане до кипения.

3. После нагревания бурый цвет раствора меняется на зеленый в результате образования хлорофиллоподобного производного меди.

4. Зарисовать окраску феофитина и медьпроизводного хлорофилла.

Материалы и оборудование: 1) свежие листья растений; 2) этиловый спирт; 3) бензин; 4) 20% раствор NaOH; 5) 10% соляная кислота в капельнице; 6) уксуснокислая медь; 7) водяная баня; 8) штатив с пробирками; 9) пипетки на 1 мл или мерные пробирки; 10) воронки; 11) фильтровальная бумага; 12) ступка с пестиком; 13) стеклянные палочки; 14) ножницы.

3.2. Оптические свойства пигментов

В процессе фотосинтеза световая энергия перед преобразованием в химическую должна быть поглощена пигментами. Пластиндные пигменты поглощают свет в пределах видимой части спектра (380-720 нм), благодаря чему эта область излучения называется фотосинтетически активной радиацией (ФАР). Пигменты поглощают видимый свет не полностью, а избирательно, т.е. каждый пигмент имеет свой характерный спектр поглощения. В частности, важнейшая особенность спектра поглощения хлорофилла «а» и «b» – наличие у них двух ярко выраженных максимумов: в красной области – соответственно 640 и 660 нм и в сине-фиолетовой – 430 и 450 нм. Минимум поглощения лежит в зоне зеленых лучей. Этим и объясняется зеленая окраска пигментов. В живом листе у хлорофиллов более широкий и выравненный спектр поглощения. Каротины и ксантофиллы поглощают свет только в области сине-фиолетовых лучей.

Оптические свойства пигментов зависят от химической структуры молекулы. В молекуле хлорофилла и каротиноидов система конъюгированных двойных связей определяет поглощение сине-фиолетовых лучей. Для хромофорных свойств хлорофиллов большое значение имеет также гидрирование связи между 7 и 8 атомами углерода четвертого пиррольного кольца. В частности, оно приводит к появлению полосы поглощения в красной части спектра и ослабляет поглощение желто-зеленых лучей. И, наконец, присутствие магния в ядре обуславливает еще большее усиление поглощения в красной области спектра и ослабление – в зеленой.

Для установления спектра поглощения пигментов используют спектроскоп. В него одновременно поступает два световых потока. Один идет непосредственно от источника света и проходит через кювету с пигментом, а потом разлагается призмой на составные части, другой отражается зеркальцем в боковую щель, где он попадает на грань второй призмы. В результате возникают два параллельных спектра, расположенных один над другим. Спектр отраженного от зеркала света слу-

жит контролем. По положению темных полос в опытном спектре определяют какие лучи поглощаются исследуемым пигментом.

Цель работы: познакомиться с оптическими свойствами пигментов.

Определение спектра поглощения хлорофилла. Спектроскоп установить по отношению к свету так, чтобы все области спектра имели одинаковую яркость. В спектрофотометрическую кювету налить спиртовую вытяжку хлорофилла, поместить ее перед щелью спектроскопа и определить положение темных полос, которые соответствуют лучам, поглощаемым хлорофиллом.

Ширина полос зависит от концентрации пигмента или толщины слоя его раствора. Для наблюдения спектров поглощения растворов с разной концентрацией хлорофилла разбавить вытяжку спиртом в отношениях 1:1, 1:3, 1:5 и т.д. и исследовать оптические свойства полученных растворов. Из сравнения спектров поглощения растворов различной концентрации выясняем, что наиболее сильное поглощение происходит в красных лучах (самая концентрированная вытяжка). По окончании опыта сделать заключение о зависимости спектра поглощения хлорофилла от его концентрации и объяснить установленный факт.

Спектр поглощения каротина и ксантофилла. Для получения спектра поглощения каротиноидов пипеткой осторожно взять бензиновый раствор, в который перешли каротин и ксантофилл после омыления хлорофилла, перенести его в кювету и поместить перед щелью спектроскопа. Рассмотреть спектр поглощения и сравнить его со спектром поглощения хлорофилла. Зарисовать оба спектра.

Флуоресценция хлорофилла. Флуоресценция – испускание возбужденной молекулой хлорофилла света. Суть ее состоит в следующем. При комнатной температуре и в темноте молекула хлорофилла находится в основном состоянии, т.е. энергия ее соответствует нижнему синглетному уровню (S_0). Поглощение кванта света сопровождается переходом одного из π -электронов на более высокий энергетический уровень. В результате возникает синглетное электронно-возбужденное состояние молекулы. Синглетным называется такое возбужденное состояние, при котором переход электрона на более высокий энергетический уровень не сопровождается изменением знака спина. В спектрах поглощения ему соответствует одна линия. Если при этом поглощается квант красного света, то электрон переходит на первый синглетный уровень (S_1) с энергией 1,7 эв и временем жизни 10^{-8} – 10^{-9} с. В случае захвата кванта синего света электрон оказывается на втором синглетном уровне (S_2) с энергией 2,9 эв, а время жизни такого состояния уменьшается до 10^{-12} – 10^{-13} с. Однако независимо от того, в какое элек-

тронно-возбужденное состояние молекула была переведена поглощенным квантом, она, в конечном счете, переходит на низший колебательный подуровень первого синглетного возбужденного состояния (S_1). Энергия этого состояния может использоваться на осуществление фотохимических процессов, мигрировать от одной молекулы хлорофилла к другой, растрачиваться в виде тепла или флуоресцентного излучения.

Таким образом, независимо от длины возбуждающего света хлорофилл флуоресцирует только в красной части спектра. Уменьшение энергии кванта, излученного возбужденной молекулой, по сравнению с энергией поглощенного кванта получило название стоксового сдвига. Флуоресцируют только хлорофилл «а» и хлорофилл «б»; каротиноиды не обладают этой способностью. В живом листе основным флуоресцирующим пигментом является хлорофилл «а». При этом в листьях флуоресценция выражена гораздо слабее, чем в растворе, так как часть поглощенной энергии используется на сенсibiliзирова ние фотохимических реакций. Поэтому возрастание интенсивности фотосинтеза, как правило, влечет за собой ослабление флуоресценции. Флуоресценция не только дает ценные сведения об использовании энергии в фотохимических процессах, но и является важной характеристикой взаимодействия молекул различных пигментов в ламеллах тилакоидов хлоропласта, миграции энергии в фотосистемах и т.д.

Ход работы. Для определения флуоресценции спиртовую вытяжку пигментов или раствор хлорофилла в бензине, полученный при разделении пигментов по Краусу, поместить на темную бумагу у

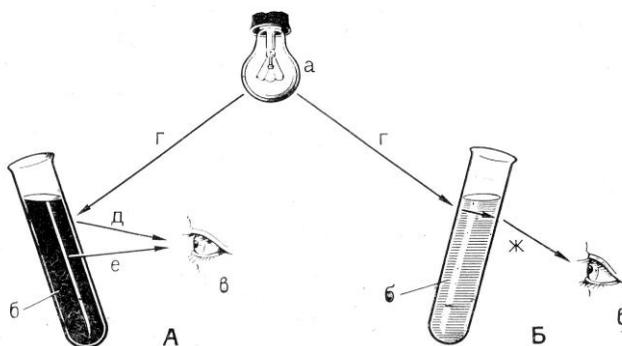


Рис.10. Рассмотрение спиртовой вытяжки хлорофилла:

А – в отраженных лучах; Б – в проходящих лучах; а – источник света; б – пробирка с вытяжкой; в – глаз; г – падающие лучи; д, е – отраженные лучи; ж – лучи, прошедшие через хлорофилл

источника освещения и рассмотреть в отраженном свете (рис. 10). Вытяжка хлорофилла будет темно-красного цвета.

Флуоресценцию можно наблюдать и в живом листе. Для этого берут элодею канадскую (*Elodea canadensis* Michx.), помещают объект на предметный столик микроскопа и освещают синевато-фиолетовыми лучами, под действием которых зеленые пластиды начинают светиться красным светом.

Материалы и оборудование: 1) спиртовая вытяжка пигментов листа; 2) раствор каротина и ксантофилла (бензиновый слой, полученный после омыления хлорофилла); 3) пипетки на 1 мл; 4) кюветы; 5) спектроскопы.

3.3. Разделение пигментов методом бумажной хроматографии

Предлагаемый метод позволяет частично разделить на бумаге пигменты пластид. Полное разделение пигментов можно получить с помощью специальной хроматографической бумаги при использовании нескольких растворителей.

В настоящей работе разделение пигментов основано на различном продвижении их с растворителем, что обусловлено различной адсорбирующей способностью пигментов на бумаге и частично разной растворимостью их в бензине.

Цель работы: провести полное разделение смеси пигментов на отдельные компоненты, применяя двумерную хроматограмму.

Ход работы: 1. Приготовить ацетоновую вытяжку из свежих листьев растений. Навеска растительного материала должна составлять 2-3 г, объем ацетоновой вытяжки пигментов – 25 мл (100%-й ацетон).

2. Из хроматографической бумаги вырезать полоску шириной 1,5-2,0 см и длиной 20 см. Держа бумажную полоску вертикально, кончик ее опустить на несколько секунд в вытяжку пигментов, налитую в бюкс или фарфоровую чашку. При кратковременном погружении вытяжка поднимается по бумаге на 1,0-1,5 см (стартовая линия). Затем бумагу высушивают в токе воздуха и снова погружают в раствор пигментов. Эту операцию проводят 5-7 раз.

3. После этого нижний конец бумажной полоски на несколько секунд опустить в чистый ацетон, чтобы все пигменты поднялись на 1,0-1,5 см. Таким образом, на хроматографической бумаге получают окрашенную зону (в виде зеленой полоски), где сконцентрирована смесь пигментов, которая должна быть разделена.

4. Хорошо высушив полоску бумаги в токе воздуха (до исчезновения запаха ацетона), помещают ее в строго вертикальном положении в цилиндр, на дно которого налит бензин с точкой кипения 80-120⁰С, так чтобы растворитель не касался зоны пигментов. Цилиндр герметически закрывают хорошо подобранной пробкой. Через 15 мин растворитель поднимается на 10-12 см. Смесь пигментов при этом разделяется на отдельные компоненты в виде полос, которые располагаются в следующем порядке: первый снизу хлорофилл «b», над ним хлорофилл «a», затем ксантофилл. Каротин передвигается быстрее других компонентов, и зона его на бумаге располагается выше всех других пигментов (рис. 11). Сделать рисунок.

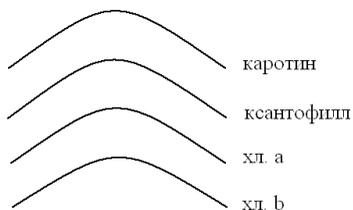


Рис. 11. Распределение пигментов на бумаге

Смесь пигментов при этом разделяется на отдельные компоненты в виде полос, которые располагаются в следующем порядке: первый снизу хлорофилл «b», над ним хлорофилл «a», затем ксантофилл. Каротин передвигается быстрее других компонентов, и зона его на бумаге располагается выше всех других пигментов (рис. 11). Сделать рисунок.

Материалы и оборудование: 1) листья растений; 2) ацетон; 3) бензин; 4) вазелин; 5) бюксы или фарфоровые чашки; 6) фарфоровые ступки с пестиками; 7) воронки; 8) стеклянные палочки; 9) фильтры бумажные; 10) полоски хроматографической бумаги; 11) высокие стаканы или цилиндры; 12) ножницы.

3.4. Определение содержания каротина в корнеплодах моркови



Для выполнения этой работы используют фотометрический метод. Он основан на переведении определяемого компонента в растворе в соединение, поглощающее свет, и измерении светопоглощения полученным соединением.

Если на кювету с окрашенным раствором направить световой поток, то часть его будет поглощена, а другая пройдет через раствор. Поглощение будет зависеть от количества молекул, встретившихся на пути светового потока.

При работе нужно выбрать тот светофильтр, который пропускал бы лучи, поглощаемые раствором: максимум пропускания светофильтра должен совпадать с максимумом поглощения раствора. Светофильтры на ФЭКе установлены с разной длиной волны в области максимума пропускания. Для измерения их подбирают по принципу дополнительного цвета: при работе с желтоокрашенным соединением – синий, с синим соединением – красный и т.д.

Кюветы характеризуются рабочей длиной (расстояние между гранями, которое указывается на стенке, обращенной к проходящему свету): 5, 10, 20, 30, 50 мм. При анализе слабоокрашенных растворов берут кюветы с большей рабочей длиной, сильноокрашенных – с меньшей. Стремятся, чтобы отсчеты получались по шкале оптической плотности не более 0,8.

Цель работы: определить количество каротина в корнеплодах моркови.

Ход работы: 1. Навеску моркови (1 г) мелко нарезать и растереть в ступке с песком и 0,3 г СаО (для отнятия воды) до однородной массы. В ступку добавить небольшими порциями растворитель – ацетон и продолжить растирание. Полученный экстракт слить в мерную колбу на 25 мл. По окончании экстракции колбу долить растворителем до метки. Если раствор каротина получился мутный, его фильтруют.

2. В качестве стандарта используют раствор азобензола (он соответствует 0,00235 г каротина на 1 мл раствора).

3. После получения опытного и стандартного растворов приступить к их колориметрированию. Для этого в одну кювету наливают опытный раствор, в другую – стандартный раствор и колориметрируют на ФЭКе при синем светофильтре. Расчет производят по формуле:

$$X = \frac{(K \times D_1 \times V \times 100)}{D_2},$$

где X – количество каротина в мг на 100 г моркови;

K – количество каротина для стандарта (0,00235 г);

V – объем раствора в мл (25 мл);

D_1 – оптическая плотность для раствора каротина;

D_2 – оптическая плотность для стандарта.

4. Определяют суточную потребность человека в моркови, исходя из нормы 5 мг каротина в сутки.

Материалы и оборудование: 1) корнеплод моркови; 2) ацетон; 3) раствор азобензола; 4) колбы на 25 мл; 5) фарфоровые ступки с пестиками; 6)

фильтры; 7) воронки; 8) фотоэлектроколориметр с кюветами; 9) стеклянные палочки.

3.5. Определение интенсивности фотосинтеза методом ассимиляционной колбы (по Л.А. Иванову и Н.Л. Коссович)

Метод основан на определении количества диоксида углерода, поглощенного листьями при фотосинтезе. Побег или отдельный лист помещают в перевернутую вверх дном стеклянную колбу (рис. 12) и выставляют на свет на 15—20 минут. Часть содержащегося в колбе диоксида углерода потребляется в процессе фотосинтеза. Затем связывают не поглощенную листьями CO_2 , наливая в колбу некоторый избыток раствора щелочи. После чего оставшуюся щелочь титруют соляной или щавелевой кислотой. То же самое проделывают с контрольной колбой (без растения) и сопоставляют результаты титрования.

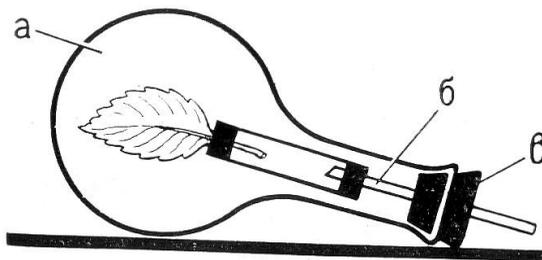
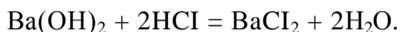
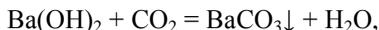


Рис. 12. Прибор Л.А. Иванова и Н.Л. Коссович для определения интенсивности фотосинтеза: а – колба; б – стержень с листом; в – пробка

Если опытная и контрольная колбы имеют равный объем и если в обе колбы налито одинаковое количество раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$, то количество поглощенного растением диоксида углерода будет прямо пропорционально разности результатов титрования содержимого этих колб. Для того чтобы установить, какому количеству CO_2 соответствует 1 мл используемой для титрования кислоты, сопоставим реакции, в которые вступает прилитая в колбу щелочь:



1М HCl соответствует 0,5М CO_2 , т.е. $44 : 2 = 22$ г CO_2 . При концентрации 0,025Н HCl в 1 мл этого раствора содержится 0,000025М HCl , что эквивалентно $22 \times 0,000025 = 0,00055$ г или 0,55 мг CO_2 . Данный метод дает достаточно точные результаты лишь в

том случае, если все операции по открыванию и закрыванию колб проводить, не прикасаясь к стеклу руками (в противном случае воздух, расширяясь при нагревании, будет частично выходить из колб).

Цель работы: определить интенсивность фотосинтеза растений.

Ход работы: 1. Взять две одинаковые колбы и выдержать их в одинаковых условиях открытыми в течение 10-20 минут для заполнения воздухом. Затем одновременно вставить в них пробки с отверстиями, закрытыми стеклянными пробками (№1), не допуская нагревания колб прикосновением рук.

2. Срезать лист или побег растения, обновить срез бритвой под водой и поставить в заполненную водой (воду берут кипяченую, чтобы не было пузырьков воздуха) пробирку, прикрепленную к палочке, вставленной в пробку (№2).

3. Быстрым, но спокойным движением вынуть из колбы пробку №1 и вставить пробку №2 (с растением).

4. Выставить колбу на свет и отметить время начала опыта. Во время опыта следить за температурой внутри колбы и в случае перегрева охлаждать колбу водой. Особенно важно, чтобы в конце опыта температура была такой же, как и вначале, иначе воздух может войти в колбу или выйти из нее. Продолжительность опыта должна быть такой, чтобы листья успели поглотить не более 25% содержащегося в колбе CO_2 . При хорошем освещении для колбы вместимостью 1 л экспозиция не должна превышать 5 минут, для более крупных колб – 15-20 минут.

5. По окончании опыта извлечь из колбы растение и быстро закрыть ее пробкой № 1, отметив время. Контрольную колбу также приоткрыть на несколько секунд. Налить в колбы через отверстие в пробке по 25 мл 0,025N раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$ и по 2-3 капли фенолфталеина и немедленно закрыть отверстие пробкой.

Таблица 8

Интенсивность фотосинтеза

Объект	Время		Площадь листьев, дм^2	Объем прилитого $\text{Ba}(\text{OH})_2$, мл	Расход HCl , мл		Интенсивность фотосинтеза, $\text{мгCO}_2/\text{дм}^2\text{час}$
	начало	конец			опыт	контроль	

6. Для увеличения поверхности соприкосновения $\text{Ba}(\text{OH})_2$ с воздухом, осторожно смачивать этим раствором стенки колб и в

течение 3 минут периодически взбалтывать, после чего через отверстие в пробке проводят титрование 0,025N раствором соляной кислоты до исчезновения розового окрашивания.

7. Определить площадь листа методом квадратов. Результаты записать в таблицу 8.

Интенсивность фотосинтеза J_{ϕ} (мл $\text{CO}_2/\text{г} \times \text{час}$) вычисляют по формуле:

$$J_{\phi} = \frac{(A - B) \times K \times 0,55 \times 60}{S \times t},$$

где А – количество HCl , пошедшее на титрование барита в опытной колбе, мл;

В – количество HCl , пошедшее на титрование барита в контрольной колбе, мл;

К – поправка к титру HCl ;

0,55 – число мг CO_2 , соответствующее 1 мл 0,025N HCl ;

S – площадь листьев, дм^2 ;

t – экспозиция, мин;

60 – коэффициент перевода минут в часы.

Материалы и оборудование: 1) листья или побеги растений; 2) 0,025N раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$; 3) 0,025N раствор HCl ; 4) фенолфталеин; 5) конические колбы емкостью 1 л (2 шт.); 6) бумага; 7) резиновые пробки (3 шт.); 8) две пробки с отверстием, закрытым стеклянной пробкой, в третью пробку вставлена стеклянная или металлическая палочка с привязанной к ней маленькой пробиркой и термометром; 9) штатив для установки колбы в перевернутом положении; 10) электрическая лампа 200-300 Вт; 11) ножницы; 12) бумага; 13) весы с разновесами.

Контрольные вопросы

1. Космическая роль зеленых растений. Значение работ К.А. Тимирязева.

2. Пигменты фотосинтезирующих растений. Методы разделения пигментов.

3. Химические и оптические свойства пигментов.

4. Физико-химические свойства молекулы хлорофилла. Флуоресценция хлорофилла.

5. Световая стадия фотосинтеза. Фотосинтетическое фосфорилирование.

6. Темновая стадия фотосинтеза. Цикл Кальвина, цикл Хетча-Слэка, фотосинтез по типу толстянковых.

7. Интенсивность фотосинтеза, фотодыхание.

8. Влияние экологических факторов на интенсивность фотосинтеза.



4. ДЫХАНИЕ РАСТЕНИЙ

История развития учения о дыхании. Теория окисления и восстановления: А.Н. Баха, В.И. Палладина, Г. Виланда, О. Варбурга, С.П. Костычева и др. Классификация ферментных систем дыхания. Строение ферментов. Действие активаторов и ингибиторов. Характеристика дегидрогеназ, оксидоредуктаз, оксидаз. Механизмы действия каталазы, пероксидазы, цитохромоксидазы и полифенолоксидазы.

Физиологическая роль дыхания. Специфика дыхания у растений.

Митохондрии. Их структура и функции.

Пути окисления органических веществ в клетке. Унификация субстратов дыхания. Механизм активации дыхательных субстратов, пути их включения в процессы биологического окисления. Основные пути диссимиляции углеводов. Пентозомонофосфатный путь окисления глюкозы. Гликолитический путь окисления (гликолиз), основные стадии. Цикл Г. Кребса, последовательность протекания реакции. Глиоксилатный цикл.

Электрон-транспортная цепь митохондрий: структурная организация, основные компоненты, их окислительно-восстановительные потенциалы. Комплексы переносчиков электронов. Альтернативность каталитических механизмов биологического окисления (цианид-резистентное дыхание). Внемитохондриальные окислительные системы.

Окислительное фосфорилирование. Энергетика дыхания: фосфаты и тиоэфиры. Единство элементарных энергетических процессов в живой природе. Фосфорилирование на уровне субстрата (субстратное) и фосфорилирование в дыхательной цепи (коферментное). Теории окислительного фосфорилирования: химическая, механо-химическая (теория Бойера), хемиосмотическая (теория Митчела). Основные положения хемиосмотической теории сопряжения Митчела. Мембрана как структурная основа биоэнергетических процессов. Трансформация энергии на сопрягающих мембранах. Электрохимический потенциал – движущая сила фосфорилирования. Регуляция электронного транспорта и фосфорилирования. Разобшение дыхания и фосфорилирования. Влияние на этот процесс факторов среды.

Дыхание как центральное звено обмена веществ. Значение дыхания в конструктивном метаболизме клетки и его связь с другими функциями клетки.

Количественные показатели газообмена (поглощение кислорода, выделение углекислоты, дыхательный коэффициент и др.). Эффект Л. Пастера.

Регуляция дыхания. Экология дыхания. Зависимость дыхания от внешних и внутренних факторов.

4.1. Газометрическое определение каталазы

Многие окислительно-восстановительные процессы в растительных тканях идут с участием ферментов.

Метод определения активности фермента основан на способности каталазы разлагать перекись водорода с выделением газообразного кислорода. Поскольку количество перекиси водорода, подвергнувшейся разложению, зависит от активности фермента, оказывается возможным по количеству кислорода и скорости его выделения судить об активности каталазы.



Цель работы: определение активности фермента каталазы в растительном материале.

Ход работы: 1. Взять навеску листьев или частей растения массой 4 г, добавить 0,2 г мела (для придания щелочной реакции), щепотку песка и тщательно растереть в ступке с небольшим количеством дистиллированной воды. Растертую массу по воронке перенести в мерную колбу на 100 мл и довести дистиллированной водой до метки.

2. Колбу с растительным экстрактом оставить стоять на 15 минут. В это время приготовить все части прибора катализметра (рис. 13) для определения активности каталазы и проверить его герметичность.

3. По истечении 15 минут, из колбы с помощью мерной пипетки взять 10 мл экстракта вместе со взвесью и перенести в одно отделение реакционного сосуда (катализника). В другое отделение сосуда поместить 5 мл перекиси водорода. Реакционный сосуд

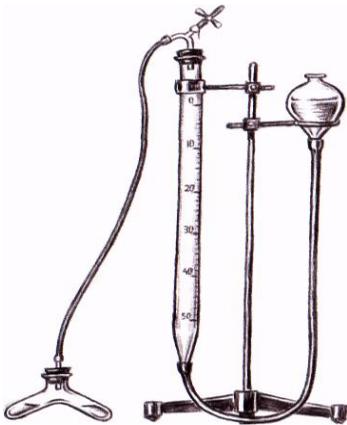


Рис. 13. Катализметр

подсоединить к остальной части прибора катализметра.

4. Жидкость в измерительной бюретке установить на ноль. Движением реакционного сосуда смешать находящиеся там жидкости.

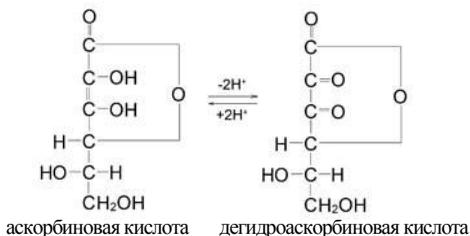
5. Отметить количество вытесненной жидкости, соответствующей объему выделившегося кислорода через следующие интервалы времени: 1 мин, 2 мин, 3 мин, 4 мин, 5 минут.

6. Опыт проводят в трехкратной повторности и по средним значениям строят график активности фермента каталазы в зависимости от времени. По оси ординат откладывают количество выделившегося кислорода, а по оси абсцисс – время в минутах.

Материалы и оборудование: 1) растительный материал; 2) дистиллированная вода; 3) 5%-я перекись водорода; 4) прибор для определения активности каталазы (каталазиметр); 5) реакционный сосуд; 6) мерная колба на 100 мл; 7) мерный цилиндр на 10 мл; 8) пипетка на 5 мл; 9) песочные часы; 10) весы; 11) мел; 12) песок; 13) ступка с пестиком; 14) стеклянные палочки.

4.2. Определение содержания аскорбиновой кислоты в растениях (по И.К. Мурри)

Метод основан на переводе аскорбиновой кислоты в раствор и на способности ее восстанавливать в кислой среде индикатор синего цвета – 2,6-дихлорфенолиндофенолят натрия – до лейкоформы, при этом аскорбиновая кислота окисляется в дегидроаскорбиновую кислоту. Реакция идет за счет фермента аскорбатоксидазы. Следует отметить, что чем выше содержание аскорбиновой кислоты, тем выше активность фермента аскорбатоксидазы.



Цель работы: определить содержание аскорбиновой кислоты в растениях.

Ход работы: 1. Берут навеску растительного материала (лук, капуста, яблоки) 5 г и растирают в ступке с 20 мл 1%-го раствора соляной кислоты. Растирание следует вести не более 10 минут.

2. Полученную массу переносят по воронке в мерную колбу на 100 мл с 1%-м раствором щавелевой кислоты. Доводят раствор в колбе до

метки щавелевой кислотой. Колбу несколько раз сильно встряхивают и оставляют стоять на 15 минут для осаждения белков.

3. Содержимое колбы отфильтровывают, из фильтра берут по 10 мл раствора в три стакана, содержимое в стаканах оттитровывают из микробюретки 0,001N раствором 2,6-дихлорфенолиндофенолятом натрия (краска Тильманса) до розовой окраски, которая не исчезает в течение 1 минуты.

4. Результаты титрования всех трех стаканов записывают и вычисляют среднее.

5. Расчет содержания аскорбиновой кислоты производят по формуле:

$$X = \frac{100 \times a \times T \times V}{e \times c},$$

где X – содержание аскорбиновой кислоты в мг на 100 г вещества;

a – число краски, ушедшей на титрование, мл;

T – титр краски Тильманса (0,14);

V – объем мерной колбы с экстрактом;

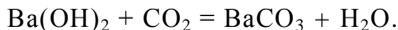
e – число экстракта, взятого для титрования, мл;

c – навеска исследуемого материала, г.

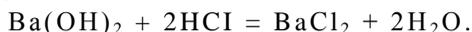
Материалы и оборудование: 1) растительный материал (лук, капуста, яблоки); 2) 1%-й раствор соляной кислоты; 3) 1%-й раствор щавелевой кислоты; 4) 0,001N раствор краски Тильманса – 2,6-дихлорфенолиндофенолят натрия; 5) фарфоровая ступка с пестиком; 6) мерная колба на 100 мл; 7) 3 стакана; 8) воронка; 9) бюретка; 10) весы с разновесами; 11) скальпель; 12) стеклянные палочки.

4.3. Определение интенсивности дыхания (по Бойсен-Иенсену)

Интенсивность дыхания определяют по количеству выделенного диоксида углерода в замкнутом сосуде, в который помещена навеска исследуемого материала и определенное количество щелочи (рис. 14). Выделяемый в процессе дыхания диоксид углерода реагирует со щелочью:



Через некоторое время оставшуюся в сосуде щелочь титруют соляной кислотой:



Продолжительность экспозиции зависит от размера навески и от интенсивности дыхания исследуемого объекта. При очень короткой экспозиции разность между результатами титрования контрольной и опытной колб будет недостоверной. Наоборот,

если в колбе останется слишком мало барита, может произойти неполное поглощение CO_2 .

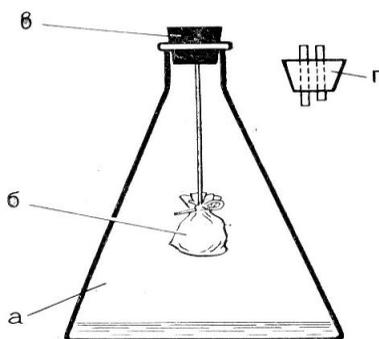


Рис. 14. Прибор для определения интенсивности дыхания: а – колба со щелочью; б – марлевый мешочек с набухшими семенами; в – пробка с крючком; г – пробка со стеклянными трубками (используется при титровании)

Желательно подобрать такую экспозицию, чтобы на связывание CO_2 было израсходовано 20-50% щелочи (если, например, на титрование барита в контрольной колбе пошло 10 мл HCl , то на титрование в опытной колбе должно пойти не более 8 и не менее 5 мл).

Цель работы: определить интенсивность дыхания набухших семян.

Ход работы: 1. Навеску исследуемого материала (проростки семян 5-10 г) поместить в марлевый мешочек и прикрепить его к пробке при помощи крючка (рис. 14). В колбу внести 10 мл раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$ и 2-3 капли фенолфталеина и быстро опустить в колбу мешочек с семенами. Записать время начала экспозиции.

2. В контрольную (пустую) колбу также влить 10 мл барита и 2-3 капли фенолфталеина, плотно закрыть пробкой.

3. Время от времени колбы осторожно покачивают, чтобы разрушить пленку BaCO_3 , препятствующую полноте поглощения CO_2 , не допуская попадания ни одной капли раствора на мешочек с семенами.

4. Через 30 мин вынуть растительный материал, быстро закрыть колбу пробкой со стеклянными трубками и отметить время окончания опыта. Оттитровать оставшуюся щелочь, приливая че-

рез отверстие в пробке 0,025Н НСІ до исчезновения розового оттенка.

5. Контрольную колбу титруют через 20 минут после того, как был налит раствор барита (все это время колбу необходимо периодически взбалтывать).

Результаты опыта записывают в таблицу 9.

Таблица 9

Интенсивность дыхания

Объ- ект	Наве- ска, г	Объем Ва(ОН) ₂ , мл	Время опыта			Расход НСІ, мл		Интен- сив- ность дыха- ния млСО ₂ /г час
			нача- ло	конец	экс- пози- ция, ч	кон- троль	опыт	

Интенсивность дыхания J (мл СО₂/г× час) вычисляют по формуле:

$$J = \frac{(a - в) \times k \times 0,55}{P \times t},$$

где a – результат титрования содержимого контрольной колбы, мл;

$в$ – результат титрования содержимого опытной колбы, мл;

k – поправка к титру НСІ;

0,55 – количество СО₂, эквивалентное 1 мл 0,025Н НСІ, мг;

P – навеска, г;

t – экспозиция, ч.

Материалы и оборудование: 1) проросшие семена; 2) 0,025Н раствор Ва(ОН)₂ в бутылки, соединенной с бюреткой (бутыль и бюретка закрыты пробками, в которые вставлены трубки с натронной известью); 3) 0,025Н раствор НСІ в бюретке с приспособлением для титрования; 4) фенолфталеин в капельнице; 5) конические колбы на 250-300 мл с резиновыми пробками, в которые вставлены металлические крючки; 6) марля размером 10×10 см; 7) технические весы с разновесами; 8) нитка.

4.4. Определение дыхательного коэффициента прорастающих семян

Дыхательным коэффициентом (ДК) называется отношение объема выделенного при дыхании диоксида углерода к объему поглощенного кислорода. Величина его зависит, прежде всего, от того, какие

вещества используются при дыхании. При окислении сахаров отношение $\text{CO}_2:\text{O}_2$ (ДК) равно 1. Если дыхательным материалом служат вещества более окисленные, чем углеводы (например, щавелевая кислота), то величина дыхательного коэффициента будет больше 1. Если используются соединения менее окисленные, чем углеводы (жиры, белки), дыхательный коэффициент будет меньше 1.

Для определения дыхательного коэффициента исследуемый материал помещают в пробирку, соединенную с градуированной трубкой, в которую введена капля окрашенной жидкости. Если объемы обмениваемых при дыхании газов равны, то капля в трубке передвигаться не будет. Если же величина дыхательного коэффициента меньше или больше единицы, то будет наблюдаться перемещение жидкости в трубке, соответствующее разности между объемами поглощенного O_2 и выделенного CO_2 .

Затем с тем же материалом проводят второй опыт, вводя в пробирку крепкий раствор щелочи для поглощения выделяемого при дыхании CO_2 . Наблюдающееся при этом передвижение капли в трубке соответствует объему поглощенного материалом кислорода.

Цель работы: определить дыхательный коэффициент прорастающих семян.

Ход работы: 1. Насыпать в пробирку наклюнувшиеся семена пшеницы или гороха до половины пробирки (рис. 15). Собрать установку для наблюдения за газообменом, поставить ее в стакан с ватой и ввести в трубку каплю подкрашенной воды. Когда капля оторвется от края трубки, отметить положение внутреннего мениска капли, перевернуть песочные часы и после 5 мин экспозиции сделать второй отсчет, а еще через 5 мин – третий.

2. Вычислить среднее расстояние, пройденное каплей за 5 минут (А), которое соответствует разности между объемами поглощенного кислорода и выделенного диоксида углерода.

3. Вынуть пробку из пробирки с семенами, проветрить пробирку и вложить пинцетом в верхнюю часть пробирки свернутую в кольцо полоску фильтровальной бумаги или вату, смоченную 20%-м раствором щелочи (полоску смачивают умеренно, держа ее над фарфоровой чашкой, чтобы во время опыта щелочь с полоски не попала на семена). Закрывать пробирку пробкой и вновь ввести в трубку каплю подкрашенной жидкости.

4. Отметить положение мениска капли, определить передвижение капли за три пятиминутных интервала и вычислить среднюю величину (В).

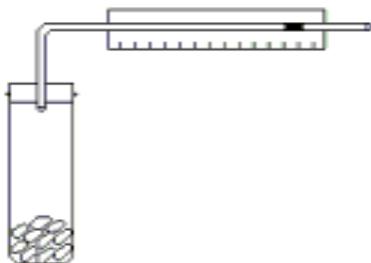


Рис. 15. Установка для определения дыхательного коэффициента

Дыхательный коэффициент вычисляется по формуле:

$$ДК = \frac{(CO_2)}{(O_2)} = \frac{(B - A)}{B}$$

Делают вывод о зависимости величины дыхательного коэффициента от характера окисляемых веществ. Результаты записывают в таблицу 10.

Таблица 10

Дыхательный коэффициент прорастающих семян

Объект	Положение мениска						Расстояние, пройденное каплей за 5 мин, мм						CO ₂ /O ₂			
	без щелочи			со щелочью			без щелочи (А)			со щелочью (В)						
	1	2	3	1	2	3	1	2	среднее	1	2	среднее				

Материалы и оборудование: 1) наклонившиеся семена пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.), гороха посевного (*Pisum sativum* L.) и др.; 2) 20%-й раствор KOH; 3) вода, подкрашенная метиленовой синей; 4) фарфоровая чашка; 5) пинцет; 6) песочные часы на 5 мин; 7) пипетка с оттянутым концом; 8) полоски фильтровальной бумаги размером 2×6 см.

Установка для определения дыхательного коэффициента: в пробирку с хорошо пригнанной резиновой пробкой вставлена изогнутая под прямым углом тонкая стеклянная трубка. Горизонтальное колено трубки градуируют, прикрепляя к ней при помощи резиновых колечек полоску миллиметровой бумаги, пробирку устанавливают в высокий (по длине пробирки) стакан с ватой.

Контрольные вопросы

1. Классификация ферментативных систем дыхания. Механизмы действия.
2. Пути превращения дыхательного субстрата. Гликолиз. Пентозофосфатный цикл.
3. Цикл Кребса.
4. Электрон-транспортная цепь дыхания. Цианидрезистентный путь дыхания.
5. Окислительное фосфорилирование в митохондриях растений.
6. Понятие о дыхательном коэффициенте. Методы определения дыхательного коэффициента.
7. Экология дыхания. Зависимость дыхания от эндогенных и экзогенных факторов.



5. МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ

Роль растений в круговороте минеральных элементов в биосфере. Потребность растений в элементах минерального питания. Содержание и соотношение минеральных элементов в почве, в растениях и факторы, их определяющие. Классификации элементов, необходимых для растений.

Корень как орган поглощения минеральных элементов и воды. Ближний транспорт ионов в тканях корня. Симпластический и апопластический пути. Дальний транспорт. Восходящее передвижение веществ по растению: пути и механизмы.

Механизм поглощения ионов. Роль процессов диффузии и адсорбции, их характеристика.

Физиологическая и биохимическая роль основных элементов питания.

Азот и его значение в жизни растений. Круговорот азота в природе. Источники азота для растений. Симбиотическая фиксация молекулярного азота. Структурная и функциональные характеристики нитрогеназы. Минеральные формы азота, используемые растением. Ферментные системы, участвующие в усвоении нитратов, регуляция их синтеза и активности. Биохимические пути ассимиляции аммиака в растении. Синтез аминокислот, амидов, реакции переаминирования. Запасные и транспортные формы минерального и органического азота, накопление нитратов в тканях. Макроэлементы.

Сера. Основные соединения серы в растении, их роль в структурной организации клетки, участие в окислительно-восстановительных реакциях. Источники серы для растения. Механизм восстановления сульфатов, отдельные этапы процесса, ферментные системы. Круговорот серы в биосфере.

Фосфор. Поступление фосфора в клетку, пути его включения в обмен веществ. Значение фосфорсодержащих соединений в клетке. Участие соединений, содержащих фосфор, в образовании клеточных структур, ферментных систем. Макроэргические соединения фосфора, их роль в энергетическом обмене. Круговорот фосфора в биосфере.

Калий, его значение в обмене веществ в растительном организме. Влияние калия на физические свойства протоплазмы, на ферменты углеводного обмена, синтез белков и др. Роль калия в поддержании ионного баланса в тканях, в процессах осморегуляции.

Кальций. Структурообразовательная роль кальция. Участие в образовании клеточной стенки, поддержании структурной целостности мембран и регуляции их проницаемости.

Магний. Формы участия магния в метаболизме. Магний в составе хлорофилла. Участие в реакциях переноса фосфатных групп, в формировании функционально-активных клеточных структур.

Микроэлементы. Представления о роли микроэлементов в метаболизме растений. Металлы как компоненты простетических групп и как активаторы ферментных систем. Особенности поступления микроэлементов в растения. Физиологическая роль железа, меди, марганца, молибдена, цинка, бора и других микроэлементов. Участие микроэлементов в формировании и функционировании электрон-транспортных цепей фотосинтеза и дыхания, в азотном и углеводном обмене, в ростовых процессах и других реакциях метаболизма.

Значение работ Д.Н. Прянишникова, Д.А. Сабина в создании теории минерального питания.

Экология минерального питания.

5.1. Микрохимический анализ золы растений

При сжигании растительных тканей всегда остается несгораемая часть, называемая золой. Химический состав золы очень сложен и весьма разнообразен, что зависит от особенностей самого растения и от состава почвы, на которой растет исследуемое растение. Среднее количество золы в растении составляет приблизительно 5%. Однако, отдельные органы растений сильно отличаются по содержанию золы. Ее больше в тех органах, которые состоят преимущественно из живых клеток. Так, в среднем в древесине содержится около 1% золы, в семенах – около 3, в стеблях и корнях – 5, а в листьях – 15%.

В основе микрохимического анализа золы лежит способность некоторых солей давать характерной формы кристаллы, по которым можно судить о наличии в составе золы того или иного элемента. Удобство этого метода состоит в том, что он требует небольших количеств золы.

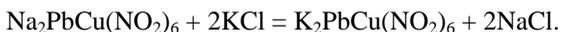
Цель работы: обнаружить в золе растений основные элементы минерального питания.

Ход работы. Материалом для работы может служить обыкновенная печная зола, табачный пепел или озоленная часть растения, лучше зола листьев.

Все реакции производят на предметном стекле. Тонкими стеклянными палочками нанести на стекло маленькие капельки испытуемого раствора и реактива на расстоянии 2-3 мм друг от друга. Затем чистой стеклянной

палочкой капельки соединяют тонким дугообразным каналцем. В месте соединения произойдет реакция, а по краям каналца – быстрая кристаллизация продуктов реакции. Кристаллический осадок рассмотреть под микроскопом. Следует избегать полного перемешивания капель, так как это вызовет быструю кристаллизацию (выпадут мелкие кристаллы). При медленной кристаллизации образуются крупные, правильно оформленные кристаллы.

1. Обнаружение калия. Калий можно обнаружить, применяя водный раствор комплексной соли $\text{Na}_2\text{PbCu}(\text{NO}_2)_6$. Реакция пойдет с образованием свинцово-медного азотистокислового калия по следующему уравнению:



1. Для обнаружения калия каплю водной вытяжки золы (приготовление см. в конце работы) на предметном стекле высушивают на спиртовке, затем после остывания стекла на высушенный остаток наносят каплю реактива.

2. Через несколько минут препарат рассматривают под микроскопом. При наличии калия обнаруживаются свинцово-черные и темно-коричневые кристаллы (рис. 16).

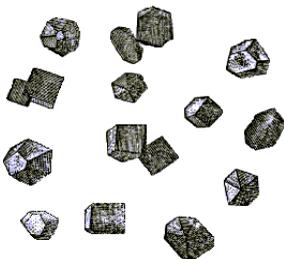
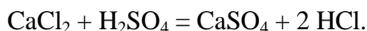


Рис. 16. Кристаллы свинцово-медного азотистокислового калия

2. Обнаружение кальция. Для обнаружения кальция берут каплю золы, растворенную в соляной кислоте, добавляют 1%-й раствор серной кислоты:



В результате реакции выпадают пучки игольчатых кристаллов гипса (рис. 17).

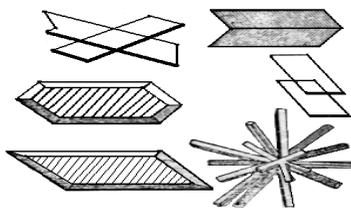
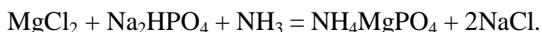


Рис. 17. Кристаллы сернокислого кальция под микроскопом

3. Обнаружение магния. Чтобы открыть магний, капельку испытуемого раствора сначала нейтрализуют аммиаком, а затем уже соединяют с капелькой реактива, которым служит 1%-й раствор фосфорнокислого натрия:



Кристаллы фосфорно-аммиачно-магнезиальной соли имеют вид ящичков, крышек, звезд или крыльев (рис. 18).

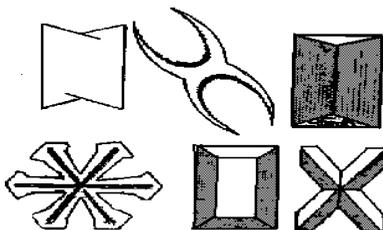
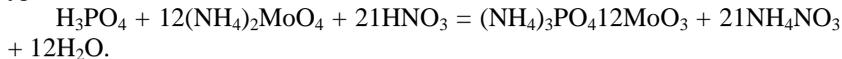


Рис. 18. Кристаллы фосфорно-аммиачно-магнезиальной соли под микроскопом

4. Обнаружение фосфора. Для открытия фосфора капельку раствора соединяют с 1%-м раствором молибденовокислого аммония в 1%-й азотной кислоте. Получается красивый зеленовато-желтый скрытокристаллический осадок фосфорно-молибденового аммиака, принимающий все более и более интенсивную окраску (рис. 19). Реакция идет по уравнению:



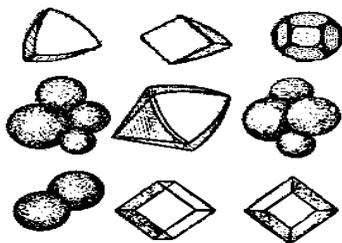
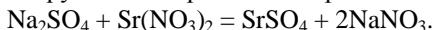
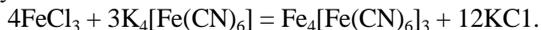


Рис.19. Кристаллы фосфорно-молибденового аммиака под микроскопом

5. Обнаружение серы. Присутствие серы обнаруживают прибавлением к исследуемому раствору 1%-й раствор азотнокислого стронция. Образуются мелкие закругленные кристаллы серонокислого стронция.



6. Обнаружение железа. Для открытия железа пользуются обычной цветной реакцией с железистосинеродистым калием (1%-й раствор желтой кровяной соли). Происходит образование берлинской лазури по формуле:



Реакцию на железо следует проводить без микроскопа на фарфоровой пластинке или на предметном стекле, подложив под него лист белой бумаги.

Материалы и оборудование: 1) зола печная или табачный пепел; 2) дистиллированная вода; 3) аммиак; 4) 10%-я соляная кислота; 5) 1%-й раствор серной кислоты; 6) 1%-й раствор фосфорнокислого натрия; 7) 1%-й раствор молибденово-кислого аммония в 1%-м растворе азотной кислоты; 8) 1%-й раствор азотнокислого стронция; 9) 1%-й раствор желтой кровяной соли ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$); 10) стеклянные палочки; 11) фильтровальная бумага; 12) предметные стекла; 13) тонкие стеклянные капилляры; 14) пробирки; 15) лакмусовая бумага; 16) воронки; 17) микроскоп.

Приготовление реактивов: приготовить в пробирках два раствора золы: а) в воде; б) в 10%-й соляной кислоте (на 2 мл растворителя $\frac{1}{4}$ см³ золы). Полученные растворы отфильтровывают через фильтры. Для обнаружения ионов хлора и калия используют водный раствор золы, а для определения остальных элементов используют золу, растворенную в соляной кислоте.

5.2. Анализ сока растений (по К.П. Магницкому)

Анализ сока дает возможность контролировать условия питания растений в полевых условиях и ориентировочно устанавливать необходимые подкормки теми или иными удобрениями.

При помощи полевой лаборатории Магницкого, можно быстро и довольно точно определить содержание в клеточном соке главных элементов почвенного питания – азота, фосфора, калия и магния. Принцип метода основан на том, что к каплям сока, отжатого из черешков или стеблей растений, добавляют соответствующие реактивы. Окраску полученных растворов сравнивают с цветной шкалой, имеющейся в приборе Магницкого, и выражают результаты анализа в миллиграммах элемента на 1 л сока или в баллах.

Цель работы: обнаружение в соке растений основных элементов минерального питания.

Ход работы. Для получения сока обычно используют утолщенные участки листовых жилок, черешки, стебли. Отобранные образцы каждой пробы обтирают ватой или чистой тряпочкой. Крупные и толстые черешки (у капусты, свеклы) разрезают вдоль и для получения сока этих растений используют половину или четвертую часть черешка. Если черешки длинные, то используют нижнюю часть. Затем черешок обрезают с краев так, чтобы остались кусочки длиной 2-4 см, и укладывают в пресс. Сдавливанием рычагов выжимают сок, который стекает в углубление пресса. Выжатый сок сливают в маленькие пробирки.

Сок можно получить и другим образом, если поместить измельченные на терке части растения в марлевый мешочек и отжать их, сливая сок в пробирку.

Из некоторых растений выжать сок трудно или он получается сильно окрашенным, что затрудняет проведение цветных реакций. В этих случаях готовят водную вытяжку: берут навеску 2 г, измельчают, добавляют 0,2-0,5 г активированного угля (для поглощения красящих веществ), 6 мл воды и тщательно растирают в маленькой ступке. Растертую массу завертывают в тонкую плотную ткань и отжимают.

Для определения **азота** насыпать в углубление фарфоровой пластинки *сухой реактив* на нитратный азот в объеме, примерно равном зерну ржи, прилить три капли *буферного раствора*, а затем добавить одну каплю исследуемого сока. Тщательно размешать смесь стеклянной палочкой и через 1 мин сравнить полученную окраску с цветной шкалой прибора Магницкого.

При определении **фосфора** внести в углубление фарфоровой пластинки каплю сока растения, добавить три капли воды и две капли *ре-*

актива на фосфор. Содержимое лунки помешать *оловянной палочкой* (олово также является реактивом), пока окраска не станет устойчивой. Сравнить окраску полученного раствора с цветной шкалой.

Калий определяют следующим образом: в углубление фарфоровой пластинки внести каплю сока, добавить каплю *реактива на калий* и одну каплю *соляной кислоты*, перемешать стеклянной палочкой и сравнить окраску получившегося осадка с цветной шкалой прибора.

Для определения **магния** поместить в углубление пластинки каплю сока растения, три капли воды и каплю раствора *титанового желтого*, перемешать стеклянной палочкой и добавить каплю раствора *NaOH*. Если окраска изменяется нечетко, повторить анализ, добавив перед внесением *NaOH* каплю свежеприготовленного 1%-го раствора *крахмала*. Полученную окраску сравнить с цветной шкалой лаборатории Магницкого.

Материалы и оборудование: 1) растения; 2) пресс; 3) пробирки; 4) предметные стекла; 5) ножницы; 6) фильтровальная бумага; 7) стеклянные палочки; 8) реактив на азот, 9) реактив на фосфор, 10) реактив на калий, 11) реактив на магний; 12) индикаторная бумага на хлор; 13) буферный раствор; 14) соляная кислота; 15) едкий натрий; 16) шкала окрасок; 17) прибор «Полевая лаборатория Магницкого».

Приготовление реактивов: а) сухой реактив на нитратный азот состоит из смеси сульфата бария (100 г), сульфата марганца (10 г), цинковой пыли (2 г), лимонной кислоты (4 г) и α -нафтиламина (2 г);

б) реактивом на фосфор служит раствор молибденовокислого аммония (1 г указанной соли растворяют в 20 мл горячей воды, добавляют 20 мл концентрированной соляной кислоты и 160 мл воды). Вторым реактивом служит оловянная палочка.

в) реактив на калий – дипикриламид магния, который готовят путем растворения 3 г дипикриламина и 1,3 г окиси магния в 100 мл воды (этот раствор оставляют на 15-20 ч и фильтруют). Вторым реактивом служит разбавленная соляная кислота (к одной части концентрированной кислоты добавляют 5 частей воды);

г) реактивы на магний – раствор титанового желтого (10 г реактива растворяют в 5 мл воды и 15 мл этилового спирта) и 10%-й раствор *NaOH*.

5.3. Определение общей и рабочей адсорбирующей поверхности корневой системы (по И.И. Колосову)

Важным и наиболее убедительным показателем для характеристики развития корневой системы является ее величина и поглощающая поверхность.

Общая адсорбирующая поверхность корней складывается из величины деятельной (рабочей), поглощающей и недейтельной поверхностей. Под *рабочей* поверхностью корней понимается та часть ее поверхности, которая адсорбирует вещества из окружающей среды, а затем десорбирует их внутрь клеток корня.

Нерабочей поверхностью считается та часть поверхности корня, которая поглощает вещества, но не передает их внутрь. Эта поверхность адсорбирует вещества, которые распределяется мономерным слоем на поверхности корня, в результате очень быстро наступает предел поглощения веществ из раствора. В качестве адсорбирующих веществ следует брать такие вещества, которые легко адсорбируются на поверхности корня и являются безвредными для жизни растений.

Метод основан на применении в качестве адсорбирующего вещества метиленовой синей. Количество поглощенной корнем краски определяют по изменению ее концентрации в опытном растворе. Площадь, занимаемая 1 мг метиленовой синей равна $1,1 \text{ м}^2$.

Цель работы: определение общей и рабочей адсорбирующей поверхности корневой системы.

Ход работы: 1. Определяют объем корневой системы. Для этого берут корневую систему исследуемого растения и помещают в мерный цилиндр с известным количеством воды. После погружения корня объем воды в цилиндре увеличится. Увеличение количества воды и будет составлять объем корня (в мл).

2. Затем наливают в 3 стакана раствор метиленовой синей, объем которой должен быть в 10 раз больше объема корней.

3. Корни высушивают фильтровальной бумагой и погружают последовательно в 3 стакана с метиленовой синей, выдерживая по 2 минуты в каждом стакане.

4. Далее колориметрически устанавливают концентрацию метиленовой синей во всех стаканах при красном светофильтре при длине волны 680 нм.

5. В качестве стандартного раствора берут исходный раствор метиленовой синей. Концентрация стандартного раствора составляет 0,064 мг метиленовой синей в 1 мл раствора.

6. Установлено, что при поглощении метиленовой синей из первого и второго стаканов происходит адсорбционное насыщение всей поверхности корней. Из третьего стакана краска поглощается только рабочей адсорбирующей поверхностью. Следовательно, умножая $1,1 \text{ м}^2$ на число миллиграммов метиленовой синей, поглощенной из первого и второго стаканов вместе, получают величину общей адсорбирующей поверхности корня. Величину *рабочей адсорбирующей* поверхности находят,

умножая $1,1 \text{ м}^2$ на количество миллиграммов краски, поглощенной из третьего стакана.

Разница между величинами *общей и рабочей адсорбирующей* поверхности дает представление о величине *недействительной* поверхности корневой системы. Частные от деления величин общей и рабочей адсорбирующих поверхностей на объем корней характеризуют удельную общую и рабочую адсорбирующие поверхности корня.

7. Окрашенные корни после извлечения их из третьего стакана промывают водой и помещают в стакан с раствором CaCl_2 . Наблюдается выделение метиленовой синей в обмен на адсорбированные катионы кальция. Это доказывает наличие обменной адсорбции поглощающей поверхностью корней.

Результаты опыта записывают в таблицы 11, 12.

Таблица 11

Определение объема корней и концентрации метиленовой синей

Вариант	Объем раствора метиленовой синей в стакане, мл	Начальное содержание метиленовой синей в стакане, мг	Осталось метиленовой синей в растворе после погружения корней, мг		
			стаканы		
			1	2	3

Таблица 12

Определение адсорбирующей поверхности корней

Вариант	Поглощение корнями, мг				Поверхность корней, м^2			Удельная поверхность, м^2	
	стаканы				общая	рабочая	не рабочая	общая	рабочая
	1	2	1+2	3					

Концентрацию метиленовой синей в стаканах определяют по формуле:

$$C_x = \frac{C_1 \times D_1}{D_x},$$

где C_x – концентрация метиленовой синей, соответственно в 1, 2, 3-м стаканах;

C_1 – концентрация метиленовой синей в стандартном растворе;

D_1 – оптическая плотность стандартного раствора;

D_x – оптическая плотность исследуемого раствора соответственно 1, 2, 3-го стаканов.

Материалы и оборудование: 1) растения с корневой системой; 2) 0,0002Н раствор метиленовой синей (64 мг в 1 л дистиллированной воды); 3) дистиллированная вода; 4) фильтровальная бумага; 5) стаканы – 4 штуки; 6) 0,2Н раствор CaCl_2 ; 7) мерный цилиндр; 8) карандаш по стеклу; 9) ФЭК.

Контрольные вопросы

1. Физиологическая роль макроэлементов.
2. Физиологическая роль микроэлементов.
3. Понятие водные культуры (гидропоника). Постановка водных культур.
4. Назовите основные источники азотного питания высших растений. Какие ферменты участвуют в восстановлении нитратов?
5. Первичный и вторичный синтез белка по Д.Н. Прянишникову.
6. Сущность процесса аммонификации, нитрификации, денитрификации.
7. Особенности азотного питания бобовых растений.
8. В чем сущность общей адсорбции при поглощении веществ корнями растений? В чем отличие рабочей поглощающей и общей адсорбирующей поверхностей корневых систем?



6. РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

Определение понятий «рост» и «развитие» растений. Воздействие на этот процесс внутренних и внешних факторов.

Общие закономерности роста, типы роста у растений. Организация меристем корня и стебля. Рост и деятельность меристем. Кинетика ростовых процессов и их свойства. Ритмика, биологические часы. Корреляция. Полярность. Регенерация.

Рост растений и среда. Влияние температуры, света, воды, газового состава атмосферы, элементов минерального питания на ростовые процессы. Клеточные основы роста. Фазы роста клеток и их характеристика.

Системы регуляции функций целого растения: трофическая, гормональная, электрическая. Доминирующие центры и физиологические градиенты.

Механизм регуляции ростовых процессов. Фитогормоны (ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизовая кислота, этилен, брассиностероиды), их строение, биосинтез, транспорт, физиологическое действие. Молекулярные основы действия гормонов и ингибиторов роста растений. Взаимодействие между различными гормонами. Синтетические регуляторы и ингибиторы роста (гербициды, ретарданты, морфактины), их практическое применение.

Ростовые и тургорные движения растений. Таксисы. Тропизмы (фото-, гео-, хемо-, электро-, термотропизмы). Гормональная природа тропизмов. Настии.

Онтогенез высших растений. Основные этапы онтогенеза (эмбриональный, ювенильный, репродуктивный, зрелости, старения), их морфологические, физиологические и метаболические особенности. Состояние покоя у растений. Типы покоя и их значение для жизнедеятельности растений. Покой семян, покой почек. Старение растений. Типы старения.

Внутренние и внешние факторы, определяющие переход растений от вегетативного развития к генеративному. Индукция цветения. Ярвизация. Фотопериодизм. Роль фитохромной системы в фотопериодических реакциях. Типы фотопериодических реакций.

6.1. Наблюдение за ростом корней при помощи микроскопа

Корень и стебель растут в длину за счет деятельности верхушечной меристемы. Метод основан на учете смещения нарастающего кончика корня в делениях окуляр-микрометра через определенные промежутки времени.

Винтовой окулярный микрометр предназначается для измерения величины изображения объектов, рассматриваемых в микроскоп. В плоскости окуляра расположены неподвижная шкала с делениями от 0 до 8 мм (цена деления шкалы 1 мм) и подвижное перекрестие и индекс в виде биштриха (рис. 20).

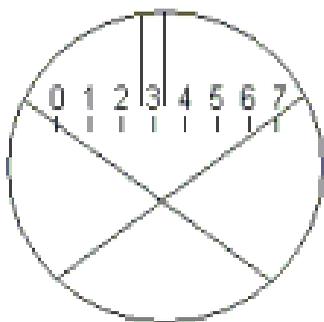


Рис. 20. Вид поля зрения в окуляр-микрометре

При вращении микрометрического винта перекрестие и биштрих перемещаются в поле зрения окуляра относительно неподвижной шкалы. Шаг винта равен 1 мм, то есть при повороте барабана винта на один полный оборот биштрих и перекрестие в поле зрения окуляра переместятся на одно деление шкалы. Барабан по окружности разделен на 100 частей; поворот барабана на одно деление соответствует перемещению перекрестия на 0,01 мм.

Таким образом, шкала барабана служит для отсчета сотых долей

миллиметра. Полный отсчет по шкалам окулярного микрометра складывается из отсчета по неподвижной шкале и отсчета по барабану винта.

Отсчет по неподвижной шкале в поле зрения определяется положением биштриха, т.е. числом полных делений шкалы, на которое переместился биштрих, считая от нулевого деления. По барабану микрометрического винта определяется, какое деление шкалы барабана находится против индекса, нанесенного на неподвижном цилиндре.

Пример. Биштрих в поле зрения расположен между делениями «5» и «6» неподвижной шкалы, а индекс приходится против деления «35» шкалы барабана. В поле зрения по шкале окуляра отсчитывают целые миллиметры – биштрих не дошел до деления «6», следовательно, отсчет будет равен 5 мм. Так как цена деления шкалы барабана равна 0,01 мм, то отсчет по барабану будет $0,01 \times 35 = 0,35$ мм. Полный отсчет по шкалам равен $5 + 0,35 = 5,35$ мм.

Цель работы: наблюдение за ростом корней.

Ход работы: 1. Берут проросток льна обыкновенного (*Linum usitatissimum* L.), выращенный на влажной фильтровальной бумаге, и помещают на предметное стекло в каплю воды. Для лучшей фиксации корешка проросток накрывают кусочком влажной фильтровальной бумаги или ваты так, чтобы кончик корня был свободен.

2. Предметное стекло с проростком помещают на столик микроскопа, на тубус которого надет окуляр-микрометр. В поле зрения микроскопа находят кончик корня и совмещают его с соответствующим делением шкалы окуляр-микрометра. Отмечают время начала опыта.

3. Через 15 мин отмечают, на сколько делений шкалы увеличилась длина корешка. Одно деление равно 100 мкм. Для этого, вращая барабан по часовой стрелке, подвести центр перекрестия до совмещения биштриха с кончиком корешка.

4. Затем снова засекают время (15 мин) и фиксируют положение подрастающего кончика корня. Взяв среднюю длину прироста корня из 3-х определений за 15 минут, рассчитывают величину прироста корня за 1 час в миллиметрах.

Материалы и оборудование: 1) проростки льна обыкновенного (*Linum usitatissimum* L.); 2) предметное стекло; 3) кусочек фильтровальной бумаги или ваты; 4) микроскоп, 5) окуляр-микрометр; 6) объект-микрометр.

6.2. Действие гетероауксина на рост корней

Метод заключается в проращивании семян на растворах различных концентраций гетероауксина и учете длины корешков.

Цель работы: выявить влияние различных концентраций гетероауксина на рост корней растений.

Ход работы: 1. 5 чашек Петри выстилают фильтровальной бумагой, увлажненной 9 мл дистиллированной воды или раствора гетероауксина: 0,01; 0,001; 0,0001; 0,00001 %-й концентрации.

2. Для получения указанных концентраций 1 мл исходного 0,01%-го раствора гетероауксина наливают в мерный цилиндр на 10 мл и доливают водой до черты, тщательно перемешивают.

3. Затем 9 мл помещают в чашку Петри, а оставшийся 1 мл разбавляют водой до 10 мл.

4. На увлажненную фильтровальную бумагу раскладывают по 10 зерен кукурузы или пшеницы, закрывают чашки Петри крышкой и помещают их в темное место при температуре 20-25°C.

5. Через неделю измеряют длину корешков и делают вывод о задержке и стимулировании роста корней в зависимости от концентрации гетероауксина. Результаты измерений записывают в таблицу 13.

Таблица 13

Влияние гетероауксина на рост корней

Вариант опыта	Длина корешков, см	Средняя длина корешков на одно растение, см	Длина корешков, % к контролю
Вода (контроль)			
Раствор гетероауксина 0,01%			
Раствор гетероауксина 0,001%			
Раствор гетероауксина 0,0001%			
Раствор гетероауксина 0,00001%			

Материалы и оборудование: 1) семена кукурузы (*Zea mays* L.) или пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.); 2) 0,01%-й раствор гетероауксина; 3) чашки Петри; 4) пипетки на 1 мл; 5) мерные цилиндры на 10 мл; 6) фильтровальная бумага.

6.3. Определение содержания ростовых веществ в растении

Определение ростовых веществ индольного характера в растении проводится на основе их способности давать цветное окрашивание с азотной кислотой.

Цель работы: определение содержания ростовых веществ в растении.

Ход работы: 1. Навеску растительного материала (колеоптели злаков) 2,5 г измельчают скальпелем.

2. Навеску помещают в коническую колбу с 50 мл кипящей дистиллированной воды и кипятят 15 минут.

3. Отфильтровывают, фильтрат используют для определения ростовых веществ. Для этого в сухой химический стакан наливают 5 мл концентрированной азотной кислоты. Работу проводят осторожно и под тягой.

4. В другой стакан берут 10 мл фильтрата, добавляют к нему 1 мл 0,5%-го раствора NaNO_2 и взбалтывают.

5. Из получившейся смеси берут 5 мл раствора и по каплям вливают в приготовленный стакан с азотной кислотой. Осторожно взбалтывают. Проявляется желтоватая окраска, указывающая на присутствие ростовых веществ. Полученный окрашенный раствор используют для колориметрирования.

6. Для приготовления стандартного раствора поступают следующим образом. В сухой химический стакан вливают 2,5 мл концентрированной азотной кислоты. В другом стакане готовят смесь из 10 мл спиртового раствора β – индолилуксусной кислоты и 1 мл 0,5%-го раствора NaNO_2 . Взбалтывают и добавляют по каплям в стакан с азотной кислотой. Развивается окраска.

7. Опытный и стандартный растворы колориметрируют на ФЭКе при синем светофильтре. Содержание ростовых веществ рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{(C \times D_1)}{D_2},$$

где X – содержание ростовых веществ в 100 г массы сырого вещества, г;

C – концентрация ростовых веществ в стандарте (0,016 г);

D_1 – оптическая плотность исследуемого раствора;

D_2 – оптическая плотность стандартного раствора.

Материалы и оборудование: 1) колеоптели злаков; 2) концентрированная азотная кислота; 3) 0,5%-й раствор NaNO_2 ; 4) β -индолилуксусная кислота; 5) четыре химических стакана; 6) коническая колба емкостью 100 мл; 7) воронка; 8) скальпель; 9) фильтровальная бумага; 10) электрическая плитка; 11) ФЭК с кюветами.

Контрольные вопросы

1. Понятие роста и развития растений, их взаимосвязь. Критерии роста и развития.

2. Гормоны растений (фитогормоны) как основные регуляторы роста и развития растений (ауксины, гиббереллины, цитокинины).

3. Природные ингибиторы роста: абсцизовая кислота и др. Синтетические регуляторы роста.

4. Три фазы роста клеток: эмбриональная, растяжение и внутренней дифференциации.

5. Движения растений: тропизмы, настии.

6. Развитие как развертывание генетической программы. Явление фотопериодизма и яровизации.



7. УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ УСЛОВИЯМ СРЕДЫ

Устойчивость как приспособление растений к условиям существования. Ответные реакции растений на действие неблагоприятных факторов. Общие принципы адаптивных реакций растений на экологический стресс. Биохимическая адаптация. Пути повышения устойчивости растений.

Норма реакции растений на изменение условий среды. Устойчивость растений к низкой отрицательной температуре. Морозоустойчивость. Работы Н.А. Максимова и И.И. Туманова. Фазы закаливания растений. Методы определения морозоустойчивости. Зимостойкость растений. Причины гибели растений от неблагоприятных зимних условий. Концепция Л.И. Сергеева о морфофизиологической периодичности и зимостойкости древесных растений. Холодоустойчивость. Гибель теплолюбивых растений при пониженной положительной температуре.

Солеустойчивость растений. Галофиты, их типы. Повышение солеустойчивости растений.

Физиологические и биохимические основы устойчивости высших растений к патогенным микроорганизмам и другим биотическим факторам. Конституционные и индуцированные защитные свойства. Приобретенный (индуцированный) иммунитет.

7.1. Определение способности растительных тканей выносить обезвоживание

Способность растений разных видов и сортов выносить обезвоживание можно определить, используя эксикаторный метод, предложенный П.А. Генкелем. Исследуемые листья помещают в эксикатор над серной кислотой (1:1) для обезвоживания, а затем вызывают плазмолиз у клеток исследуемых листьев растений, чем больше остается живых клеток, тем более устойчиво растение к обезвоживанию.

Цель работы: определить способность растительных тканей выносить обезвоживание.

Ход работы: 1. Вырезают пробочным сверлом из листьев исследуемых растений кусочки размером 3-4 см² и кладут их в эксикатор над серной кислотой (разбавление 1:1).

2. После 2-3 часового выдерживания в эксикаторе их вынимают, изготавливают срезы, которые помещают в плазмолитик (раствор сахарозы 20%).

3. Препараты помещают на столик микроскопа и делают многократные подсчеты в поле зрения микроскопа живых плазмолизированных клеток. Из подсчетов выводят среднее число плазмолизированных клеток, приходящихся на одно поле зрения микроскопа.

В случае необходимости, срезы предварительно окрашивают нейтральным красным, чтобы стало возможным более четко обнаружить плазмолиз.

Высушивая кусочки листьев, можно определить количество воды, чтобы выяснить, при каком ее содержании происходит та или иная степень повреждения при обезвоживании. Для этого следует брать не менее 20 кусочков листьев растений и выводить среднюю арифметическую содержания воды.

Материалы и оборудование: 1) растения картофеля (*Solanum tuberosum* L.), гороха посевного (*Pisum sativum* L.), кукурузы (*Zea mays* L.), пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.); 2) 20%-й раствор сахарозы; 3) раствор серной кислоты (1:1); 4) раствор нейтрального красного (1:10000); 5) эксикатор; 6) пробочное сверло большого диаметра; 7) предметные и покровные стекла; 8) пинцет; 10) препаровальные иглы; 11) бюксы; 12) фильтровальная бумага; 13) стеклянные палочки; 14) сушильный шкаф; 15) аналитические весы с разновесами; 16) микроскоп.

7.2. Определение жаростойкости растений

При повышении температуры выше оптимальной в растениях нарушается обмен веществ и как следствие этого накапливаются ядовитые вещества. При более высоких температурах резко повышается проницаемость цитоплазматических мембран, а затем наступает коагуляция белков и отмирание клеток.

Если подвергнуть лист действию высокой температуры, а затем погрузить в слабый раствор соляной кислоты, то поврежденные и мертвые клетки побуреют вследствие свободного проникновения в них кислоты, которая вызовет превращение хлорофилла в феофитин, тогда как неповрежденные клетки останутся зелеными. У растений, имеющих кислый клеточный сок, феофитинизация может произойти и без обработки соляной кислотой, так как при нарушении полупроницаемости тонопласта органические кислоты проникают из клеточного сока в цитоплазму и вытесняют магний из молекулы хлорофилла.

Цель работы: выявить влияние температуры на степень повреждения листьев растений.

Ход работы: 1. Нагревают водяную баню до 40°C, погружают в нее по пять листьев исследуемых растений и выдерживают листья в воде в течение 20 минут, поддерживая температуру на уровне 40°C.

2. Затем берут первую пробу: вынимают по одному листу каждого вида растений и помещают их в чашку Петри с холодной водой.

3. Поднимают температуру в водяной бане до 50°C и через 10 минут после этого извлекают из бани еще по одному листу и переносят их в новую чашку с холодной водой.

4. Так постепенно доводят температуру до 80°C, беря пробы через каждые 10 мин при повышении температуры на 10°C.

5. Заменяют холодную воду в чашках 0,2Н соляной кислотой и через 10 минут учитывают степень повреждения листа по количеству появившихся бурых пятен. Результаты записывают в таблицу 14, обозначив отсутствие побурения знаком «-», слабое побурение – «+», побурение более 50 % площади листа – «++» и сплошное побурение – «+++».

Таблица 14

Влияние температуры на степень повреждения листьев

Объект	Степень повреждения листьев при температуре				
	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C

Делают выводы о степени жаростойкости исследованных растений.

Материалы и оборудование: 1) свежие листья растений; 2) 0,2Н раствор соляной кислоты; 3) водяная баня; 4) термометр; 5) пинцет; 6) чашки Петри (5 шт.); 7) стакан с водой; 8) карандаш по стеклу.

7.3. Защитное действие сахаров на протоплазму

При воздействии отрицательных температур на растительные ткани в межклетниках образуется лед, который, оттягивая воду из клеток, обезвоживает протоплазму. При определении индивидуальной степени обезвоживания, для каждого растительного организма, протоплазма коагулирует. Кристаллы льда, образующиеся непосредственно в клетках, оказывают механическое воздействие, в результате чего нарушается внутренняя структура протоплазмы, резко повышается ее проницаемость, а при длительной экспозиции на морозе наступает отмирание. Скорость отмирания протоплазмы клеток зависит как от температуры и

времени экспозиции, так и от водоудерживающей способности самой клетки. Увеличение количества растворимых сахаров в зимующих органах растений повышает водоудерживающую способность тканей.

Цель работы: убедиться в защитном действии сахаров на протоплазму.

Ход работы: 1. Из поперечного среза красной столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.) толщиной 0,5 см при помощи пробочного сверла диаметром 5-8 мм делают высечки. Высечки тщательно промывают для того, чтобы вымыть краситель из поврежденных клеток и помещают по одной высечке в три пробирки.

2. В первую пробирку наливают 5 мл дистиллированной воды, во вторую – 5 мл 0,5М раствора сахарозы, в третью – 5 мл 1М раствора сахарозы.

3. Пробирки нумеруют и на 20 мин погружают в охлаждающую смесь, состоящую из трех частей льда или снега и одной части поваренной соли.

4. Затем пробирки вынимают из охлаждающей смеси и размораживают в стакане воды комнатной температуры.

5. Отмечают различия в интенсивности окрашивания в пробирках и объясняют их. Из дисков готовят тонкие срезы и рассматривают их под микроскопом при малом увеличении в капле того же раствора, в котором они находились. Подсчитывают общее количество клеток в одном поле зрения и число клеток обесцвеченных, из которых вышел антоциан.

Результаты опыта записать в таблицу 15, сделать выводы.

Таблица 15

Определение защитного действия сахаров на протоплазму

Условия опыта	Число клеток в поле зрения, шт.		Число окрашенных клеток от общего количества, %
	всего	окрашенных	

Материалы и оборудование: 1) корнеплоды столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.); 2) 0,5 и 1М растворы сахарозы; 3) поваренная соль; 4) лед или снег; 5) термометры до 30 °С; 6) скальпели; 7) пробочные сверла диаметром 5-8 мм; 8) бритвы; 9) штатив с пробирками; 10) предметные стекла; 11) стеклянные палочки; 12) карандаш по стеклу; 13) фильтровальная бумага; 14) лопатки для охлаждающей смеси; 15) микроскоп.

7.4. Защитное действие сахара на белки протоплазмы при отрицательных температурах

При действии экстремальных температур белки коагулируют. Показателем повреждения растительной ткани является выпадение хлопьевидного осадка белка из вытяжки ткани. Сахароза стабилизирует нативную структуру белка, тем самым, защищая его от губительного действия отрицательных температур.

Цель работы: выявить защитное действие сахара на белки протоплазмы при отрицательных температурах.

Ход работы: 1. Очищенный клубень картофеля (*Solanum tuberosum* L.) натирают на терке, переносят на двойной слой марли, отжимают через нее сок в коническую колбу и дают отстояться крахмалу.

2. Надосадочную жидкость наливают в три пробирки по 2,5 мл в каждую. В первую пробирку добавляют 2,5 мл дистиллированной воды, во вторую – 2,5 мл 0,5М раствора сахарозы, в третью – 2,5 мл 1М раствора сахарозы.

3. Перемешивают содержимое в пробирках и ставят в охлаждающую смесь на 20 мин (смотри предыдущую работу). Оттаивают пробирки в стакане с водопроводной водой и, не встряхивая, наблюдают образование хлопьев коагулировавшего белка.

4. Пробирки зарисовывают, делая выводы о защитном действии сахарозы при замерзании растительных тканей.

Материалы и оборудование: 1) клубни картофеля (*Solanum tuberosum* L.); 2) 0,5 и 1М растворы сахарозы; 3) снег или лед; 4) поваренная соль; 5) марля; 6) конические колбы; 7) штатив с пробирками; 8) пипетки на 10 мл; 9) чашка для охлаждающей смеси; 10) термометр до 30°С; 11) терка; 12) деревянная доска.

Контрольные вопросы

1. Понятие о жаростойкости растений.
2. Морозоустойчивость растений. Причины гибели растений от мороза.
3. Закаливание растений. Первая и вторая фазы закаливания растений. Работы А.И. Туманова по закаливанию растений.
4. Зимостойкость растений. Причины зимней гибели растений.
5. Холодостойкость растений. Нарушения обменных процессов, связанные с действием на растения пониженных положительных температур.
6. Устойчивость растений к засолению. Причины вредного влияния солей.

8. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

8.1. Термины по курсу «Физиология растений»

Физиология растительной клетки

Активный транспорт – транспорт веществ через мембрану с затратой энергии, идущий против градиента электрохимического потенциала.

Водный потенциал – химический потенциал воды.

Водный потенциал клетки (сосущая сила) – это разность между свободной энергией воды внутри и вне клетки при той же температуре и атмосферном давлении. Эта мера энергии, с которой вода устремляется в клетку.

Гомеостаз – это свойство клетки, органеллы, а также органа, организма, экологической системы сохранять постоянство своей внутренней среды.

Деплазмолиз – явление, обратное плазмолизу, при этом цитоплазма занимает прежнее положение.

Диффузия – это процесс, ведущий к равномерному распределению молекул растворенного вещества и растворителя.

ИЭТ (изоэлектрическая точка) – значение pH среды, при котором количество положительных и отрицательных зарядов уравнивается и амфолит становится электронейтральным.

Компартментация – расчленение полости клетки или протопласта органеллами или мембранами на отдельные изолированные ячейки. Благодаря этому в клетке многие метаболиты имеют несколько фондов.

Мембрана – высокоизбирательный барьер в отношении различных ионов и молекул, которые движутся самопроизвольно в направлении энергетического и осмотического градиента.

Осмоз – односторонняя диффузия молекул воды или другого растворителя через полупроницаемую мембрану.

Осмотическое давление – это сила, которую необходимо приложить, чтобы помешать проникновению воды в раствор, отделенного от него полупроницаемой мембраной.

Пассивный транспорт – транспорт веществ через мембрану без затраты энергии, по градиенту электрохимического потенциала.

Пиноцитоз – поглощение клеткой капель жидкости или твердых частиц путем образования впячиваний цитоплазмы внутрь клетки. При этом в цитоплазме происходит образование небольших вакуолей (пиноцитозных пузырьков), связанное с переносом в метаболическую зону клетки захватываемых извне веществ.

Плазмолиз – процесс отделения протопласта от клеточной стенки под действием раствора большей концентрации, чем концентрация клеточного сока.

Плазмалемма – наружная цитоплазматическая мембрана.

Проницаемость – совокупность физико-химических свойств, которыми определяется соотношение между процессами поступления в клетку веществ из внешней среды, их распределение между отдельными компонентами клетки, накопление этих веществ в клетке и выделение их клеткой во внешнюю среду.

Тонoplast – внутренняя цитоплазматическая (вакуолярная) мембрана, отделяющая вакуоль от цитозоля.

Тургор – состояние напряжения клеточной оболочки.

Тургорное давление – давление протопласта на клеточную оболочку.

Химический потенциал вещества – энергетический уровень молекулы данного вещества, который выражается в скорости их диффузии.

Водный обмен растений

Анопласт – совокупность свободных пространств клеток, межклетников и мертвых сосудов ксилемы.

Водный баланс растений – соотношение между поступлением и расходом воды.

Водный дефицит – это разница между содержанием воды в период максимального насыщения ею тканей и содержанием воды в растении в данное время; он выражается в процентах от максимального содержания воды в растении.

Гигроскопическая вода – вода, которая при помещении ее в атмосферу с 95%-й относительной влажностью почвы полностью недоступна для растения.

Гигрофиты – наземные растения, обитающие в районах с большим количеством осадков и высокой влажностью воздуха.

Гидатоды – водяные устьица, через которые осуществляется гуттация.

Гидратация – электрохимическое притяжение молекул воды к ионизированным ($-\text{NH}_3^+$, $-\text{COO}^-$ группами) и гетерополярным группам ($-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $-\text{CO}$, $-\text{NH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{CONH}_2$, $-\text{SH}$) полипептидных цепей.

Гидрофиты – водяные растения с листьями, частично или полностью погруженными в воду или плавающими.

Гравитационная вода – вода, заполняющая крупные поры и капилляры почвы большого диаметра и подчиняется в своем движении действию силы тяжести.

Гуттация – выделение воды в виде жидкости на поверхности листьев, когда воздух насыщен водяными парами.

Засуха – неблагоприятное сочетание метеорологических условий, при которых растения испытывают водный дефицит.

Интенсивность транспирации – количество воды в граммах, испаренной с 1 м² поверхности листьев за 1 час.

Капиллярная вода – вода, сосредоточенная в капиллярах почвы, и ее доступность тем выше, чем больше диаметр капилляра.

Коллоидно-связанная вода – вода, связываемая молекулами биополимеров.

Корневое давление – сила, вызывающая в растении односторонний ток воды с растворенными веществами, не зависящая от процесса транспирации.

Ксероморфизм – анатомические и физиологические особенности строения и функционирования листьев верхних ярусов растений, которые развиваются в условиях несколько затрудненного водоснабжения.

Ксерофиты – растения засушливых мест: полупустынь, саванн, степей, где воды в почве мало, а воздух сухой и горячий.

Мезофиты – растения, произрастающие в условиях умеренной влажности.

Осмотически связанная вода – вода, связанная с ионами или низкомолекулярными соединениями.

Относительная транспирация – это отношение интенсивности транспирации к интенсивности свободного испарения с такой же площади, как и площадь листьев.

Пасока – вода с растворенными веществами.

Плач растений – это вытекание жидкости в результате пореза, и связан с наличием одностороннего тока воды через корневые системы, не зависящего от транспирации.

Пленочная вода – вода, окружающая коллоидные частицы почвы.

Продуктивность транспирации – это количество граммов сухого вещества, накопленного в растении при испарении 1000 г воды.

«Свободная вода» – вода, сохранившая все или почти все свойства чистой воды. Она легко передвигается, вступает в различные биохимические реакции, испаряется в процессе транспирации и замерзает при низших температурах.

«Связанная вода» – вода, имеющая измененные физические свойства, главным образом, вследствие взаимодействия с неводными компонентами.

Симпласт – совокупность протопласт всех клеток, соединенных плазмодесмами.

Транспирационный коэффициент – это количество граммов воды, израсходованной растением при накоплении 1 г сухого вещества.

Транспирация – физиологический процесс испарения воды надземными органами растений.

Устьице – это отверстие (щель), ограниченная двумя замыкающими клетками.

Экономность транспирации – количество испаряемой воды (мг) на единицу (1 кг) воды, содержащейся в растении.

Фотосинтез

Автотрофный способ питания – характерен для организмов, обладающих способностью синтезировать органические соединения из неорганических.

Гетеротрофный способ питания – характерен для организмов, обладающих способностью строить органическое вещество своего тела из уже имеющихся готовых органических соединений, только перестраивая их.

Компенсационная точка – освещенность, при которой интенсивность фотосинтеза равна интенсивности дыхания.

КПД фотосинтеза – количество запасаемой энергии в виде сухого вещества, накапливаемое листом за определенный промежуток времени.

Ламелла – пластинчатое образование мембранной природы. В хлоропластах она является основой структуры гран и внегранальных пластинчатых структур.

Реакционный центр – включает хлорофилл-ловушку «а» и первичный акцептор электронов. Пигмент-ловушка – это пигмент, который, получив энергию, может потерять электрон.

Светособирающий комплекс (ССК) – молекулы хлорофилла, только поглощающие свет и переносящие энергию возбуждения на особые молекулы хлорофилла, которые непосредственно участвуют в фотохимическом процессе.

Тилакоиды – фотосинтетическая мембрана, в которой сосредоточен фотосинтетический аппарат.

Урожай биологический – масса органического вещества, образованного всеми растениями на гектар почвы в течение вегетационного периода.

ФАР (фотосинтетически активная радиация) – участок видимого спектра, поглощаемый пигментами хлоропластов (380-700 нм).

Флуоресценция – явление свечения некоторых веществ при их освещении. Хлорофилл флуоресцирует красным (вишневым) светом.

Фосфоресценция – длительное свечение, максимум которого лежит в инфракрасной области спектра.

Фотодыхание – активируемое светом и высокой температурой процесс поглощения кислорода и высвобождения углекислого газа.

Фотосинтез – процесс образования органического вещества из неорганических веществ – углекислого газа и воды, осуществляющийся на свету, при участии пигментной системы растений.

Фотосинтетическая единица (ФСЕ) – молекула хлорофилла-лушкови со всеми вспомогательными молекулами пигментов, которые передают ей энергию.

Фотосинтетический коэффициент – отношение объема выделенного кислорода к объему поглощенного углекислого газа.

Фотосинтетическое фосфорилирование – синтез АТФ за счет энергии света.

Фотосистема – совокупность молекул пигментов (фотосинтетическая единица) совместно с определенными белками-переносчиками электронов.

Хемосинтез – образование органических веществ из неорганических, используя энергию химических связей.

Хозяйственный урожай – доля сухого вещества, ради которого выращивают растения (плоды, семена, клубни и др.).

Дыхание

Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) – нуклеофосфат, состоящий из азотистого основания (аденина), пентозы (рибозы) и трех молекул фосфорной кислоты.

Брожение – анаэробный процесс расхода органических соединений на более простые, сопровождающийся выделением энергии.

Гликолиз – анаэробная фаза дыхания, в процессе которой происходит преобразование молекулы гексозы до двух молекул пировиноградной кислоты.

Дыхание – это аэробный окислительный процесс распада органических соединений на простые, неорганические, сопровождаемый выделением энергии.

Дыхательный коэффициент (ДК) – отношение количества выделенного углекислого газа к количеству поглощенного кислорода.

Интенсивность дыхания – это количество поглощенного кислорода или выделившегося углекислого газа единицу времени (1 час) на единицу массы (1 г).

Обесцеленное дыхание или «холостое» дыхание – при этом происходит поглощение кислорода и энергия не образуется.

Пиридиновые дегидрогеназы – группа ферментов, у которых коферментом служит НАД или НАДФ, они отнимают два атома водорода от субстрата.

Субстраты дыхания – вещества, используемы в процессе дыхания (белки, жиры, углеводы, органические кислоты и др.).

Флавиновые дегидрогеназы – группа ферментов, катализирующая отнятие 2H^+ , которые можно рассматривать как $2\text{H}^+ + 2$ электрона. Именно в таком виде они, акцептированные НАД и ФАД передаются по цепи переносчиков. Простетической группой этих ферментов служат производные витамины B_2 (рибофлавины) – флавинадениндинуклеотид (ФАД) и флавинмоноклеотид (ФМН).

Цикл Кребса – аэробная фаза дыхания, в процессе которой происходит окисление пировиноградной кислоты до конечных продуктов: углекислого газа и воды и высвобождением энергии.

ЭТЦ (электрон-транспортная цепь) – процесс переноса электронов, акцептированных НАД и ФАД и передающихся по цепи к кислороду.

Эффект Пастера – в присутствии кислорода процесс брожения у дрожжей тормозится и заменяется процессом дыхания; одновременно резко сокращается распад глюкозы.

Минеральное питание растений

Аммонификация – процесс, протекающий в почве и приводящий к образованию кетокислот, насыщенных органических кислот и аммиака.

Антагонизм ионов – взаимное влияние ионов. В целом ряде случаев добавление одного иона угнетает поступление другого.

Гидропоника – выращивание растений на водных питательных растворах.

«Гниль сердечка» – болезнь растений, связанная с недостатком бора. При этом нарушается углеводный обмен и у корнеплодов загнивает сердцевина.

Денитрификация – процесс, приводящий к образованию из доступных для растения форм азота (NO_2 , NO_3) к недоступному – N_2 .

Микориза – это ассоциация корня высшего растения и патогенно-гриба.

Нитрификация – процесс, происходящий в почве с участием микроорганизмов (*Nitrobacter* и *Nitrosomonas*) и приводящий к образованию нитратов и нитритов.

Нитрогеназа – мультиферментный комплекс, участвующий в процессе восстановления азота до аммиака. Нитрогеназа состоит из двух

компонентов: более высокомолекулярного Мо, и низкомолекулярного Fe-белка.

Реутилизация – повторное использование растением тех или иных элементов (P, K).

Ризосферные микроорганизмы – микроорганизмы, развивающиеся около корневых систем.

Сидерация – запахивание зеленых растений, обычно бобовых, используемых в качестве удобрения. При этом почва обогащается азотом.

Хелаты – внутрикомплексные органические соединения, в состав которых входит ион того или иного металла.

«Хлороз» растений – при недостатке железа замедляется синтез хлорофилла и растения приобретают бледно-зеленую окраску, по цвету напоминающую газ-хлор.

Рост и развитие растений

Апикальный рост – рост растений за счет меристем, расположенных в окончаниях (верхушках) стебля и корня.

Гормоны цветения – гормоны (гиббереллины, антезин), вызывающие цветение растений.

Интеркалярный (вставочный) рост – рост за счет меристем, расположенных в основании междоузлий (у злака), а также интеркалярные меристемы характерны для некоторых листьев.

Культура изолированных клеток и тканей – метод выращивания на искусственной питательной среде в стерильных условиях клеток тканей, возникших в результате деления клеток, выделенных из кусочков листа, стебля, корня или других органов.

Настии – движение органов растения, вызываемое раздражителем, не имеющим строгого направления, а действующим равномерно на все растения.

Покой – такое состояние целого растения или отдельных органов, когда отсутствует видимый рост.

Полярность – это специфическая ориентация процессов и структур в пространстве, приводящая к возникновению морфологических и физиологических градиентов и выражающиеся в различиях свойств на противоположных концах клеток, тканей, органов и всего растения.

Развитие – качественные изменения в структуре и функциональной активности растения и его частей в онтогенезе.

Ретарданты – синтетические ингибиторы роста.

Рост – процесс новообразования элементов структуры организма.

Тотипатентность – явление, когда клетки данного организма обладают одинаковым геномом, а, следовательно, все клетки обладают и одинаковыми потенциальными возможностями.

Тропизмы – изменения положения органов, вызываемые односторонне действующим внешним раздражителем.

Фитогормоны – это вещества, действующие в ничтожных количествах, образующиеся в одних органах и оказывающие регуляторное влияние на какие-либо физиологические процессы в других органах растения.

Фитохром – пигмент из группы хромопротеидов с молекулярной массой около 120 кДа.

Фотопериодизм – это реакция растения на соотношение продолжительности дня и ночи, связанная с приспособлением онтогенеза к сезонным изменениям внешних условий.

Яровизация – свойство озимых однолетних и двулетних растений ускорять переход к заложению цветков после действия на них пониженных температур в течение определенного времени.

Устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды

Газоустойчивость растений – способность растений выносить повышенное содержание в атмосфере различных газов.

Галофиты – растения засоленных местообитаний, обладающие способностью к приспособлению в процессе онтогенеза к высокой концентрации солей.

Гликогалофиты – растения, цитоплазма клеток корня которых, малопроницаема для солей.

Гликофиты – растения пресных местообитаний, не обладающие способностью к произрастанию на засоленных почвах.

Жаростойкость растений – растения, способные выносить повышенные температуры.

Закаливание – это обратимое физиологическое приспособление к неблагоприятным воздействиям, происходящее под влиянием определенных внешних условий.

Засоление – повышенное содержание в почве солей, оказывающих вредное и даже губительное влияние на растительный организм.

Криптогалофиты (солевыделяющие) – растения, поглощающие соли корнями, но не накапливающие их в клеточном соке.

Морозоустойчивость растений – способность растений выносить действие низких отрицательных температур. Это комплексный признак, запрограммированный генетически и проявляющийся в определенных условиях среды.

Холодостойкость растений – способность растений выносить действие пониженных положительных температур.

Эвгалофиты (солянки) – растения, накапливающие в клетках большое количество солей, с мясистыми стеблями и листьями.

8.2. Контрольные вопросы, расчетные задания и задачи

Физиология растительной клетки

1. При погружении молодого листа элодеи в гипертонический раствор сахарозы через 20 мин наступил выпуклый плазмолиз в растущих клетках, тогда как у клеток, закончивших рост, около 1 ч сохранялся вогнутый плазмолиз. Как объяснить полученные результаты?

2. Из корнеплода красной свеклы вырезали два кусочка, которые после тщательного промывания поместили в пробирки с водой комнатной температуры. В одну из пробирок добавили 5 капель хлороформа. Какова будет окраска воды в пробирках через 30 мин после начала опыта? Как объяснить полученный результат?

3. При погружении растительной ткани в 10%-й раствор сахарозы концентрация ее осталась без изменений. Как изменится концентрация 15%-го раствора сахарозы, если в него погружена аналогичная растительная ткань?

4. Объясните причины возникающего иногда массового растрескивания корнеплодов у моркови и свеклы.

5. Охарактеризуйте ультраструктуру и функции мембранных и немембранных органелл клетки.

6. В чем состоит концепция транспорта ионов через мембрану с помощью переносчиков?

7. Что является движущей силой пассивного транспорта ионов? Может ли пассивный транспорт объяснить избирательное накопление ионов?

8. Какая основная функция вакуолей?

9. Какие растворы называются изотоническими, гипертоническими, гипотоническими?

10. На чем основаны механизмы пассивного и активного транспорта веществ в клетке?

Водный обмен растений

1. Известно, что в период весеннего сокодвижения в пасоке древесных растений содержится много растворимых сахаров. Каково их происхождение?

2. Дерево с площадью листовой поверхности 12 м^2 испарило за 2 ч 3 кг воды. Чему равна интенсивность транспирации?

3. Сколько воды испарит растение за 5 мин, если интенсивность транспирации его $120 \text{ г. H}_2\text{O} / \text{м}^2 \cdot \text{ч}$, а площадь листьев 240 см^2 ?

4. Как объяснить завядание листьев в жаркий летний день при достаточном количестве влаги в почве и ликвидацию водного дефицита ночью?

5. У некоторых комнатных растений незадолго перед дождем появляются капли воды на кончиках листьев. Как объяснить это явление?

6. Ветка ивы была срезана с дерева, поставлена в банку с водой и закрыта стеклянным колпаком. Будет ли наблюдаться гуттация у этой ветки? Объясните.

7. Какие листья обнаруживают резко выраженные симптомы фосфорного голодания – верхние или нижние? С чем это связано?

8. У какого растения интенсивность транспирации выше: у растущего в тени или на ярком солнечном свете? Ответ обоснуйте.

9. Можно ли отличить гуттацию от росы на траве? Что это за явления?

10. Как происходит поглощение и выделение воды клеткой?

11. Что такое химический потенциал воды и водный потенциал клетки?

12. Какое биологическое значение имеет транспирация?

13. Почему транспирацию называют «необходимым физиологическим злом» для растений?

14. Почему устьица считаются одним из замечательных приспособлений зеленого растения, выработанных в ходе эволюции?

15. Назовите критические периоды в жизни плодовых и зерновых культур по отношению к влаге.

16. Какие физиологические показатели наиболее точно определяют необходимость полива?

17. Является ли транспирация абсолютно необходимой для поступления воды?

Фотосинтез

1. Как объяснить разную окраску спиртовой вытяжки из зеленого листа при рассматривании ее в проходящем и отраженном свете?

2. Почему очень концентрированные растворы хлорофилла имеют темно-красный цвет?

3. Два одинаковых листа выдерживались три дня в темноте, а затем были освещены в течение 2 ч: первый лист красным, второй – желтым светом одинаковой интенсивности. У какого листа будет более высокое содержание крахмала? Как это объяснить?

4. Растение было освещено сначала зеленым, а затем синим светом той же интенсивности. В каких лучах будет наблюдаться более быстрое поглощение CO_2 листьями? Почему?

5. Что такое листовая мозаика? У каких растений обычно наблюдается это явление – у светолюбивых или теневыносливых?

6. Каковы причины гибели многих лесных трав (кислицы, недоτροги, майника) после вырубki леса?

7. У многих растений нередко наблюдается выделение CO_2 листьями в полуденные часы летнего дня. Каковы причины этого явления?

8. Как объяснить прекращение фотосинтеза у срезанного и поставленного в воду листа при самых благоприятных внешних условиях?

9. Какие исследования позволили бы определить принадлежность растений к C_3 - или C_4 -типу фотосинтеза?

10. У каких из перечисленных растений, пшеницы или кукурузы, дольше продлится фотосинтез при пониженном содержании углекислого газа?

11. Чем отличается спектральный состав солнечного света, который падает на листья растений от спектрального состава света, прошедшего через лист?

12. У каких растений светолюбивых или теневыносливых отчетливее наблюдается листовая мозаика?

13. Назовите возможные причины того, что у мутантных растений гороха с пониженным содержанием каротиноидов фотосинтез протекает менее интенсивно.

14. Опишите реакции, в которых участвуют ферменты РДФ-карбоксилаза и ФЭП-карбоксилаза.

15. В чем состоят основные причины снижения интенсивности фотосинтеза по мере старения растений?

16. Каковы структура и функции фотосинтетической единицы?

17. Как можно объяснить отсутствие фотодыхания у C_4 -растений?

18. Как влияет недостаток элементов минерального питания на интенсивность фотосинтеза?

19. При нециклическом транспорте электронов происходит возникновение «дырки» в реакционном центре (РЦ) молекулы хлорофилла? Как восстанавливается недостаток электронной плотности?

Дыхание

1. Некоторые считают, что вредно оставлять цветы на ночь в комнате, так как они поглощают кислород, необходимый для дыхания человека. Чтобы ответить на вопрос, насколько обосновано это мнение, под-

считайте, до какой величины снизится содержание O_2 против обычного (21% по объему) в воздухе комнаты объемом 45 м^2 в течение 10 ч за счет дыхания растений, имеющих общую массу 2 кг и среднюю интенсивность дыхания $12 \text{ мл } O_2$ на 1 кг в сутки.

2. Как объяснить различную величину дыхательного коэффициента прорастающих крахмалистых и маслянистых семян?

3. Зеленый лист на свету при температуре 25°C интенсивно поглощал CO_2 , а при повышении температуры до 40°C начал выделять CO_2 . Как объяснить отмеченное изменение газообмена листа?

4. Почему интенсивность дыхания клубней картофеля резко повышается при понижении температуры от 3 до -1°C ?

5. Каков химический состав корневых выделений?

6. Дыхательный коэффициент равен $0,7$. Какие запасные вещества (углеводы, органические кислоты, белки, жиры) использовались при дыхании?

7. Какие растения создают наибольшую биомассу и выделяют в атмосферу самую значительную часть кислорода?

8. На какие цели может быть использована энергия трансмембранного потенциала митохондрий в растительной клетке?

9. Каково физиологическое значение отдельных групп сахаров для растения?

10. Что общего между окислением, происходящим в митохондриях клеток и горением?

11. В чем состоит прямое и косвенное воздействие химических регуляторов роста на дыхание?

12. Какова роль фосфора в процессе дыхания?

13. Какая связь между ультраструктурой и функцией митохондрий?

14. Какова физиологическая роль каталазы в растениях?

15. Как меняется активность дыхательных ферментов в зависимости от температуры, pH и других внешних факторов?

16. Почему у растений основным дыхательным субстратом считаются углеводы?

Минеральное питание

1. Почему органические удобрения рекомендуется вносить в больших дозах и задолго до посева?

2. В чем заключается структурообразующая роль кальция и магния в клетке?

3. С какими физиологическими процессами наиболее тесно связана поглотительная деятельность корневой системы?
4. Почему разные органы растения содержат неодинаковое количество золы? Какие органы растений содержат наибольшее количество золы?
5. Какие листья – молодые или старые содержат больше зольных элементов?
6. Какие макро- и микроэлементы способны к реутилизации?
7. Как влияет избыточное увлажнение почвы на поглотительную деятельность корневой системы?
8. При недостатке какого элемента происходит ослизнение клеток растений? С чем это связано?
9. Чем объяснить отрицательное действие избытка азотных удобрений на урожай картофеля?

Рост и развитие

1. Можно ли отнести к ростовым явлениям: а) набухание семян в почве; б) набухание почек перед их распусканием? Объясните.
2. Каковы физиологические причины осеннего листопада у деревьев умеренной зоны?
3. Как объяснить, находятся ли почки в состоянии глубокого покоя или покой их вынужденный?
4. Иногда на яблонях наряду с плодами правильной формы развиваются несимметричные яблоки. Как объяснить это явление?
5. У двух растений подсолнечника были срезаны верхушки стеблей, после чего на поверхность среза одного из этих растений нанесли пасту, содержащую индолилуксусную кислоту. Распустятся ли у этих растений пазушные почки? Какой вывод можно сделать на основании этого опыта?
6. Почему озимые сорта злаков не цветут, если их посеять весной?
7. Почему низкорослые фенотипы растений (горох, кукуруза, фасоль и др.) сильно реагируют на обработку гиббереллином, а высокорослые слабо?
8. Каким образом можно достигнуть опадения листьев перед уборкой плодов?
9. С какой целью в пивоварении используют гиббереллин?
10. В чем особенности онтогенеза однолетних, двулетних и многолетних растений?
11. Каково биологическое значение яровизации и фотопериодизма?
12. Какова роль фитохрома в растениях?

13. Что такое большая кривая роста растений?
14. Каковы основные положения гормональной и молекулярной теории растений?
15. Как можно вызвать образование бессемянных плодов (партенокапия)?
16. Какими агротехническими приемами можно влиять на рост и развитие растений?
17. Чем отличаются друг от друга тропизмы и настии?
18. Назовите типы покоя семян и факторы, их обуславливающие?
19. Охарактеризуйте процессы, протекающие при покое семян.
20. Каковы особенности превращения веществ при созревании семян масличных культур?
21. Какие существуют способы ускорения созревания плодов?
22. Как образуется этилен в растениях и, каков спектр его биологического действия?
23. Какие препараты применяли американцы, во время войны во Вьетнаме, для опадения листьев в лесах для обнаружения партизанов?

Устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды

1. Как объяснить, что хвоя сосны, выдерживающая зимой морозы до -43°C , летом гибнет при искусственном охлаждении до -8°C ?
2. Почему белая акация вымерзает в Санкт-Петербурге, но благополучно зимует в Саратове, несмотря на то, что морозы в Саратовской области бывают значительно сильнее, чем в Ленинградской?
3. Что более опасно для растений: зимние морозы или весенние заморозки? Объясните.
4. Как объяснить произрастание в пустыне тюльпанов, не отличающихся высокой засухоустойчивостью?
5. Почему у северных растений, обитающих на заболоченных почвах, имеются многие признаки ксерофитов? Перечислите эти признаки.
6. Как используется клеточная проницаемость для диагностики состояния растений?
7. Как можно использовать биоэлектрические явления для оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды?
8. Расположите фотосинтез, дыхание и рост в порядке возрастания чувствительности к неблагоприятным факторам среды?
9. Какими физиолого-биохимическими особенностями отличаются морозоустойчивые растения?

10. Назовите условия, необходимые для прохождения фаз закаливания древесных зимующих растений.

11. Каковы морфологические и физиологические особенности солеустойчивости растений?

12. Каковы пути поступления газообразных загрязнителей в растения?

13. На какие структуры клеток действуют радионуклиды? К каким изменениям они приводят?

14. Перечислите основные пути поступления пестицидов в растения.

15. В чем различие физиолого-биохимических подходов при оценке действия факторов внешней среды на качество урожая бобовых и мятликовых трав?

16. В чем заключается прямое и косвенное действие высоких температур на растение?

17. Какие вещества в растении в экстремальных условиях способствуют возникновению защитно-приспособительных реакций?

18. В чем различие физиологического действия на растения повышенных и пониженных температур, вызывающих повреждение и даже гибель растений?

19. Что такое процесс закаливания растений? Все ли растения способны к закаливанию? Какие физиологические изменения, происходящие в процессе закаливания, повышают устойчивость растений к морозу? Почему?

8.3. Тестовые задания

Физиология растительной клетки

1. В каком из перечисленных растворов в растительных клетках будет наблюдаться колпачковый плазмолиз?

- 1) мочевины;
- 2) KCNС;
- 3) CaCl₂;
- 4) сахараза.

2. В каком из перечисленных растворов будет наблюдаться более стойкий по времени плазмолиз?

- 1) KNO₃;
- 2) мочевины;
- 3) сахараза;
- 4) CaCl₂.

3. Чему будет равна величина сосущей силы в клетках растений после обильного полива или дождя?

- 1) S=0;
- 2) S=P;
- 3) S=P-T;
- 4) S=P+T.

4. При каком значении рН среды положительный и отрицательный заряды уравниваются, и амфолит становится электронейтральным?

- 1) в нейтральной среде;
- 2) в кислой среде;
- 3) в щелочной среде;
- 4) в изоэлектрической точке.

5. При помещении клетки в раствор роданида калия возникает колпачковый плазмолиз. С какими свойствами плазмалеммы и тонопласта это связано?

- 1) плазмалемма менее проницаема для ионов калия, чем тонопласт;
- 2) плазмалемма более проницаема для ионов калия, чем тонопласт;
- 3) плазмалемма имеет менее жесткую структуру, чем тонопласт;
- 4) плазмалемма и тонопласт одинаково проницаемы для ионов калия.

6. Какие из перечисленных воздействий ведут к увеличению вязкости цитоплазмы?

- 1) введение ионов калия;
- 2) введение ионов кальция;
- 3) увеличение оводненности цитоплазмы;
- 4) введение ионов хлора.

7. Цитоплазма какого растения лучше противостоит действию суховея?

- 1) с высокой эластичностью;
- 3) с низкой эластичностью;

2) с высокой вязкостью;

4) с низкой вязкостью.

8. В клетках каких растений осмотическое давление клеточного сока наибольшее?

1) у гигрофитов;

3) у мезофитов;

2) у галофитов;

4) у гидрофитов.

9. При каком состоянии клетки ее сосущая сила равна нулю?

1) в состоянии плазмолиза;

3) при насыщении клетки водой (состояние тургора);

2) в состоянии циторриза;

4) при потере воды клеткой.

10. Какая форма воды обладает достаточной подвижностью, участвует в различных биохимических реакциях, испаряется в процессе транспирации, замерзает при низкой отрицательной температуре?

1) свободная;

3) осмотически-связанная;

2) коллоидно-связанная;

4) капиллярно-связанная.

11. Как изменится интенсивность обмена веществ в клетке при возрастании доли связанной воды?

1) увеличится;

3) останется без изменений;

2) уменьшится;

4) будет иметь циклический характер;

12. Какие из перечисленных ниже клеточных органоидов осаждаются при более низких скоростях центрифугирования?

1) ядра;

3) лизосомы;

2) митохондрии;

4) рибосомы.

13. Какие из перечисленных ниже клеточных органоидов осаждаются при более высоких скоростях центрифугирования?

1) ядра;

3) лизосомы;

2) митохондрии;

4) рибосомы.

14. По перемещению какого органоида можно наблюдать под микроскопом за движением цитоплазмы в клетках элодеи?

1) вакуоли;

3) хлоропласта;

2) ядра;

4) митохондрий.

15. Какие химические соединения в большом количестве содержатся в растительной клетке (в % на сырую массу)?

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1) неорганические вещества; | 3) белки; |
| 2) вода; | 4) нуклеиновые кислоты. |

Водный обмен растений

1. Доказательством работы нижнего концевое двигателя является...

- | | |
|------------------|--------------|
| 1) транспирация; | 3) когезия; |
| 2) адгезия; | 4) гуттация. |

2. Растения, у которых устьица расположены на нижней стороне листа, называются...

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1) гомойогидрическими; | 3) гипостоматическими; |
| 2) гиперстоматическими; | 4) мезостоматическими. |

3. Гидроактивные механизмы работы устьиц – это...

- | | |
|---|--|
| 1) механизмы регуляции кутикулярной транспирации; | 3) механизмы регуляции размера устьичной щели, связанные с изменением концентрации осмотиков в самих замыкающих клетках; |
| 2) механизмы регуляции работы нижнего концевое двигателя; | 4) механизмы регуляции передвижения воды по сосудам листа. |

4. Интенсивность кутикулярной транспирации будет наивысшей в(о) _____ листе.

- | | |
|-------------|----------------------------|
| 1) молодом; | 3) старом; |
| 2) зрелом; | 4) всех клетках одинакова. |

5. К гидропассивным относится тип устьичных движений...

- | | |
|--|--|
| 1) связанных с закрыванием устьиц в результате механического давления соседних эпидермальных клеток, заполненных водой; | 3) зависящих от смены света и темноты; |
| 2) связанных с открыванием и закрыванием устьичных щелей, обусловленных изменением содержания воды в самих замыкающих клетках; | 4) зависящих от действия синего света. |

6. После опрыскивания растений раствором абсцизовой кислоты устьица...

- | | |
|----------------------------|-----------------|
| 1) закрываются; | 3) открываются; |
| 2) остаются без изменений; | 4) погибают. |

7. При определении устьичной и кутикулярной транспирации у листа березы оказалось, что их соотношение составляет приблизительно 1:1. Лист березы оказался...

- 1) молодым;
- 2) среднего возраста;
- 3) старым;
- 4) закончившим рост.

8. У деревьев весной до распускания листьев вода передвигается за счет...

- 1) работы верхнего концевого двигателя (присасывающее действие транспирации);
- 2) работы нижнего концевого двигателя (корневое давление);
- 3) адгезии;
- 4) когезии.

9. Из перечисленных ниже растений кутикулярная транспирация будет выше у...

- 1) хвойных;
- 2) суккулентов;
- 3) злаков;
- 4) бобовых.

10. Ветка тополя была срезана с дерева, поставлена в банку с водой и закрыта стеклянным колпаком для прекращения транспирации. Эта ветка...

- 1) будет гутировать;
- 2) не будет гутировать;
- 3) будет частично гутировать;
- 4) погибает.

11. Толщина дерева в жаркий полдень...

- 1) увеличивается;
- 2) остается без изменений;
- 3) уменьшается;
- 4) будет иметь циклический характер.

12. Успешному перенесению обезвоживания способствует _____ цитоплазмы.

- 1) большая вязкость;
- 2) высокая эластичность;
- 3) низкая вязкость;
- 4) низкая эластичность.

13. Наиболее устойчивы к засухе листья древесных растений _____ яруса(ов).

- 1) верхнего;
- 2) среднего;
- 3) нижнего;
- 4) всех.

14. Вода поглощается корнем при условии...

- | | |
|--|--|
| 1) если в мембране имеются специальные переносчики воды; | 3) наличие в клетках осмотически активных веществ в концентрации выше, чем в почвенном растворе; |
| 2) если в растении имеется достаточный запас АТФ; | 4) высокой активности протонного насоса. |

15. Верхний концевой двигатель – это...

- | | |
|---|--|
| 1) клетки тонких окончаний флоэмы; | 3) система механизмов открывания – закрывания устьиц; |
| 2) условные обозначения высокой разности потенциалов воды в растении и атмосфере; | 4) энергозависимый механизм транспорта воды в листья во время активного фотосинтеза. |

Фотосинтез

1. Кто из русских ученых внес большой вклад в изучение процессов фотосинтеза, и в честь которого назван Институт физиологии растений в г. Москве?

- | | |
|--------------------|----------------------|
| 1) В.И. Палладин; | 3) С.П. Костычев; |
| 2) К.А. Тимирязев; | 4) А.А. Красновский. |

2. Кто предложил хроматографический метод разделения пигментов?

- | | |
|----------------------|----------------|
| 1) К.А. Тимирязев; | 3) М.С. Цвет; |
| 2) А.А. Красновский; | 4) М. Кальвин. |

3. При помощи какой реакции из предложенных ниже можно доказать, что в молекуле хлорофилла содержится атом Mg?

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 1) действием на хлорофилл HCl; | 3) действием на хлорофилл спирта; |
| 2) действием на хлорофилл NaOH; | 4) действием на хлорофилл ацетона. |

4. С помощью какой реакции можно доказать, что хлорофилл является сложным эфиром?

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1) действием на хлорофилл спирта; | 3) действием на хлорофилл NaOH; |
| 2) действием на хлорофилл HCl; | 4) действием на хлорофилл бензина; |

5. Какие лучи солнечного спектра поглощаются каротиноидами?

- | | |
|---------------|-----------|
| 1) оранжевые; | 3) синие; |
|---------------|-----------|

2) красные;

4) зеленые.

6. Что является источником кислорода при фотосинтезе?

1) вода;

3) углеводы;

2) углекислый газ;

4) 3-ФГК.

7. В какой части солнечного спектра находится максимум поглощения хлорофилла а?

1) в красной;

3) в желтой;

2) в зеленой;

4) в голубой.

8. Какой цвет имеет феофитин?

1) бурый;

3) зеленый;

2) синий;

4) желтый.

9. Какой процент энергии падающего света расходуется на фотосинтез (ФАР)?

1) 55%;

3) 2%;

2) 20%;

4) 10%.

10. Какое соединение является первичным устойчивым продуктом фотосинтеза у C_3 -растений?

1) рибулозо-1,5-дифосфат;

3) 1,3-фосфоглицериновая кислота;

2) 3-фосфоглицериновая кислота;

4) глюкоза.

11. Какое соединение является первичным акцептором углекислого газа в цикле Кальвина?

1) 3-фосфоглицериновая кислота;

3) 1,3-фосфоглицериновая кислота;

2) рибулозо-1,5-дифосфат;

4) фосфодиоксиацетон.

12. Какое соединение является первичным акцептором углекислого газа в цикле Хетча-Слэка?

1) ЦУК;

3) яблочная кислота;

2) 3-ФГК;

4) ФЭП.

13. При гидролизе какого пигмента образуется витамин А?

1) хлорофилла «а»;

3) α -каротина;

2) хлорофилла «b»;

4) феофитина.

14. Какой микроэлемент входит в состав цепи транспорта электронов (ЦТЭ, НЦТЭ) при фотосинтезе?

- 1) Mo;
- 2) Zn;
- 3) Co;
- 4) Fe.

15. У каких водорослей содержится хлорофилл b?

- 1) бурых;
- 2) диатомовых;
- 3) зеленых;
- 4) красных.

16. Какие движения характерны для хлоропластов при сильном освещении?

- 1) располагаются перпендикулярно солнечным лучам;
- 2) поворачиваются ребром к падающим лучам;
- 3) распределяются в цитоплазме равномерно
- 4) остаются без изменений.

17. С какой структурной частью молекулы хлорофилла связана его способность поглощать красные лучи видимой части спектра?

- 1) с атомом магния;
- 2) с порфириновым кольцом;
- 3) с присутствием циклопентанового кольца;
- 4) с присутствием метиновых мостиков.

18. Какие лучи солнечного спектра поглощаются каротиноидами?

- 1) красные;
- 2) желтые;
- 3) синие;
- 4) зеленые.

19. Какие пигменты обеспечивают желтый и оранжевый цвет лепестков и плодов растений?

- 1) хлорофиллы;
- 2) каротиноиды;
- 3) фикобилины;
- 4) антоцианы.

20. Какие пигменты состоят из четырех пиррольных колец, не замкнутых в цепь?

- 1) хлорофиллы;
- 2) каротиноиды;
- 3) фикобилины;
- 4) антоцианы.

Дыхание

1. Из предложенных ниже ученых теорию перекисного окисления обосновал...

- 1) А.Н. Бах; 3) С.П. Костычев;
2) В.И. Палладин; 4) О. Варбург.

2. Из предложенных ниже ученых положение (теорию) о генетической связи брожения и дыхания обосновал...

- 1) А.Н. Бах; 3) С.П. Костычев;
2) В.И. Палладин; 4) О. Варбург.

3. Наиболее традиционными субстратами дыхания у растений являются...

- 1) белки; 3) углеводы;
2) липиды; 4) нуклеиновые кислоты.

4. Реакции гликолиза протекают в...

- 1) цитоплазме; 3) хлоропластах;
2) митохондриях; 4) рибосомах.

5. Синтез молекул АТФ протекает...

- 1) на плазмалемме; 3) в рибосомах;
2) на тонопласте; 4) в митохондриях.

6. Гликолизом называется...

- 1) совокупность всех процессов энергетического обмена; 3) кислородное расщепление глюкозы;
2) бескислородное расщепление глюкозы; 4) расщепление полисахаридов до моносахаридов.

7. При гликолизе одна молекула глюкозы расщепляется до...

- 1) двух молекул пировиноградной кислоты; 3) углекислого газа и воды;
2) молекулы этилового спирта; 4) молекулы масляной кислоты.

8. В процессе расщепления одной молекулы глюкозы до углекислого газа и воды синтезируется...

- 1) 10 молекул АТФ; 3) 32 молекулы АТФ;
2) 22 молекулы АТФ; 4) 38 молекул АТФ.

9. Кислородное расщепление по сравнению с бескислородным в энергетическом плане...

- 1) так же эффективно; 3) примерно в 5 раз эффективнее;
2) примерно в 2 раза эффективнее; 4) почти в 20 раз эффективнее.

10. При расщеплении углеводов наибольшее количество АТФ синтезируется...

- 1) при распаде дисахаридов до моносахаридов;
- 2) в процессе гликолиза;
- 3) в цикле Кребса;
- 4) в дыхательной цепи.

11. При расщеплении одной молекулы глюкозы до пировиноградной кислоты дополнительно образуется в клетке...

- 1) 1 молекула АТФ;
- 2) 2 молекулы АТФ;
- 3) 36 молекул АТФ;
- 4) 38 молекул АТФ.

12. Фосфорилирование – это процесс переноса электронов по дыхательной цепи, идущий с образованием...

- 1) АТФ;
- 2) фосфатов;
- 3) АДФ;
- 4) воды.

13. Наибольшее количество энергии освобождается при окислении...

- 1) жиров;
- 2) углеводов;
- 3) белков;
- 4) витаминов.

14. Процесс биологического окисления происходит в...

- 1) лизосомах;
- 2) митохондриях;
- 3) пероксисомах;
- 4) комплексе Гольджи.

15. В ходе гликолиза образуется...

- 1) ЦУК;
- 2) углекислый газ и вода;
- 3) ацетил-коэнзим А;
- 4) ПВК.

Минеральное питание

1. Автором первой «гумусовой» теории питания растений был...

- 1) Ван Гельмонт;
- 2) Ж.Б. Буссенго;
- 3) А. Тэер;
- 4) А.Т. Болотов.

2. Теория минерального питания сформулирована...

- 1) Н. Соссюром;
- 2) Ю. Либихом;
- 3) И. Кнопом;
- 4) Ю. Саксом.

3. Аммонификаторы – это...

- 1) ферменты, аминирующие органические кислоты;
- 2) микроорганизмы, фиксирующие азот в аммонийной форме;

2) микроорганизмы, разлагающие органические вещества почвы с выделением аммиака;

4) растения, предпочитающие питание аммонийным азотом.

4. Условная граница между макроэлементами и микроэлементами определяется...

1) концентрацией этих элементов в растении;

3) наличием разных переносчиков на мембране;

2) относительным содержанием этих элементов в почве;

4) наличием ферментов, включающих эти элементы в метаболизм.

5. Восстановление нитритов до аммония в клетке осуществляется ферментом...

1) нитрогеназой;

3) нитритредуктазой;

2) нитрозаминотрансферазой;

4) нитратредуктазой.

6. Закон минимума Ю. Либиха определяет тем, что...

1) растениям достаточно минимального набора элементов питания;

3) в результате хозяйственной деятельности содержание элементов минерального питания стремится к минимуму;

2) урожай в первую очередь зависит от элемента питания, содержание которого минимально в почве;

4) внесение минимального количества азота дает максимальный рост урожая.

7. Почвенный поглощающий комплекс – это...

1) сообщество микроорганизмов, ассоциированных с корнями растений;

3) подземная часть растений, активно поглощающая воду и элементы питания;

2) частицы почвы, механические и физико-химически удерживающие ионы элементов минерального питания;

4) полимерные добавки к удобрениям, снижающие подвижность элементов мембран.

8. Денитрификаторы – это...

1) микроорганизмы, восстанавливающие нитраты до молекулярного азота;

3) растения, предпочитающие нитратный азот;

2) ферменты, восстанавливающие нитраты в растениях;

4) ферменты-переносчики, одновременно восстанавливающие нитраты и транспортирующие азот

в клетку.

9. Биологическая азотофиксация – это процесс...

- | | |
|--|--|
| 1) связывания атмосферного азота корневыми волосками злаков; | 3) связывания атмосферного азота микроорганизмами; |
| 2) связывания атмосферного азота пазушными листьями бобовых; | 4) связывания нитратного азота микроорганизмами. |

10. При симбиотической азотофиксации источником энергии для расщепления молекул азота служит...

- | | |
|--|---|
| 1) фитоассимиляты, поставляемые растением-донором в клубеньки; | 3) собственная энергия молекулы азота, высвобождающаяся при разрыве молекулярной связи между атомами; |
| 2) энергия разложения почвенной органики; | 4) энергия, ранее накопленная азотфиксирующими бактериями. |

11. Восстановление нитратов до аммония в растениях осуществляется...

- | | |
|----------------------|---|
| 1) нитрогеназой; | 3) биферментным комплексом нитратредуктазы и нитритредуктазы; |
| 2) нитритредуктазой; | 4) нитратредуктазой. |

12. Симптомом азотного голодания растений является...

- | | |
|--|---|
| 1) бледная окраска всей поверхности листа; | 3) отсутствие пазушных почек; |
| 2) потемнение /ожог/ краев листовой пластинки; | 4) уродливое развитие генеративных частей растений. |

13. Симптомом фосфорного голодания растений является...

- | | |
|--|---|
| 1) синевато-зеленая окраска всей листовой пластинки; | 3) нарушение структуры проводящих пучков листьев; |
| 2) упрощение формы листьев /ювенилизация/; | 4) деструкция митохондрий. |

14. Калий является...

- | | |
|---|---|
| 1) абсолютно незаменимым элементом питания; | 3) может частично заменяться одновалентными катионами первой группы элементов таблицы Менделеева; |
| 2) частично может заменяться органическими катионами; | 4) может заменяться только натрием у солончаковых растений. |

15. Признаком недостатка калия является...

- 1) резкое уменьшение размеров молодых листьев;
2) пожелтение листьев с краев /ржавые пятна/;
3) опускание листьев;
4) усыхание точек роста.

16. Физиологическая роль магния обусловлена следующим...

- 1) входит в состав каротиноидов;
2) поддерживает структуру рибосом, вызывая ассоциацию их субединиц;
3) активирует ряд ферментов;
4) инактивирует некоторые ингибиторы ферментативных реакций.

17. В состав каталитических центров многих окислительно-восстановительных ферментов (цитохромов, каталазы, пероксидазы) входит...

- 1) калий;
2) кальций;
3) фосфор;
4) железо.

18. В состав каталитических центров полифенолоксидазы и аскорбатоксидазы входит...

- 1) железо;
2) цинк;
3) медь;
4) хром.

19. Кобальт входит в состав витамина В₁₂, который необходим для осуществления процесса фиксации молекулярного азота. Наиболее чувствительным к недостатку кобальта является...

- 1) пшеница;
2) свекла;
3) табак;
4) вика.

20. К микроудобрениям относятся...

- 1) небольшие количества обычных удобрений;
2) удобрения, содержащие микроорганизмы;
3) удобрения, включающие микроэлементы;
4) удобрения, содержащие золу.

Рост и развитие

1. Содержание какого гормона необходимо при формировании корней в культуре тканей?

- 1) только АБК;
3) только цитокинины;

2) ИУК в концентрации больше, чем концентрация цитокининов; 4) только гиббереллины.

2. Какие этапы включает в себя онтогенез высших растений?

- 1) эмбриональный, ювенильный этапы и этап старости; 3) эмбриональный этап, фазы покоя, этапы зрелости и старости;
2) эмбриональный, ювенильный этапы, этапы зрелости и старости; 4) фазу покоя, этап зрелости и старости.

3. На каком этапе развития растение обладает максимальной способностью к вегетативному размножению?

- 1) на стадии покоя семян; 3) на репродуктивном этапе развития;
2) на ювенильном этапе развития; 4) на этапе старости и отмирания.

4. Каким способом проявляться апикальное доминирование?

- 1) полным подавлением апикальной меристемы развития боковых меристем; 3) изменением угла, под которым боковые побеги отходят от основного;
2) снижением скорости ростовых процессов в боковых меристемах; 4) подавлением боковыми меристемами развития апикальной меристемы.

5. Какой гормон обеспечивает рост и развитие растения?

- 1) ауксин; 3) цитокинин;
2) гиббереллин; 4) абсцизовая кислота.

6. Какой гормон обеспечивает старение и созревание плодов?

- 1) ауксин; 3) абсцизовая кислота;
2) гиббереллин; 4) этилен.

7. Какой гормон является гормоном стресса у растений?

- 1) ауксин; 3) цитокинин;
2) гиббереллин; 4) абсцизовая кислота.

8. Как называются необратимые ростовые движения растений, вызванные односторонне действующим фактором?

- 1) настиями; 3) тропизмами;
2) нутациями; 4) таксисами.

9. Какое событие в зоне роста корня или стебля, согласно теории Холодного-Вента, является первичным?

- | | |
|--|---|
| 1) неравномерный рост клеток растяжением; | 3) неравномерное распределение ауксина; |
| 2) повышенная аттрагирующая способность тканей в месте преимущественной локализации ауксина; | 4) поперечная поляризация тканей. |

10. Как называются ритмы растений с периодом около суток, имеющие эндогенную природу?

- | | |
|---------------------|----------------|
| 1) цирканнуальными; | 3) циркадными; |
| 2) сезонными; | 4) суточными. |

11. Какие причины лежат в основе резкого ослабления темпов роста у растений при недостатке воды?

- | | |
|---|--|
| 1) тормозится первая фаза роста клеток; | 3) тормозится третья фаза роста клеток; |
| 2) тормозится вторая фаза роста клеток; | 4) тормозится четвертая фаза роста клеток. |

12. Какие из перечисленных признаков характерны для этиолированных растений?

- | | |
|--|--|
| 1) более простое анатомическое строение; | 3) листья не имеют хлорофилла; |
| 2) ткани стебля четко дифференцированы; | 4) более сложное анатомическое строение. |

13. К какому типу тропизмов относится движение поднимающейся после полегания соломины пшеницы?

- | | |
|-----------------|------------------|
| 1) геотропизм; | 3) хемотропизм; |
| 2) фототропизм; | 4) гидротропизм. |

14. Какие факторы внешней среды являются основными при переходе растений к цветению?

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1) минеральное питание; | 3) продолжительность дневного освещения; |
| 2) содержание углекислого газа; | 4) содержание воды. |

15. Какие признаки характерны для короткодневных растений?

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1) цветут в начале лета; | 3) цветут в конце весны; |
|--------------------------|--------------------------|

2) цветут в конце лета;

4) цветут в начале осени.

Устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды

1. Какой признак характеризует холодоустойчивость растений?

1) способность переносить положительные температуры;

3) способность переносить низкие отрицательные температуры;

2) способность переносить низкие положительные температуры;

4) способность переносить весь комплекс неблагоприятных условий.

2. Какова причина гибели теплолюбивых растений при низких положительных температурах?

1) нарушения в их водном балансе;

3) уменьшение вязкости цитоплазмы;

2) увеличение оводненности цитоплазмы;

4) изменения процессов обмена веществ.

3. Каковы причины гибели растений при низких отрицательных температурах?

1) замерзающий клеточный сок расширяется в объеме;

3) отрицательные температуры вызывают коагуляцию белков цитоплазмы;

2) разрываются сосуды и клетки растений;

4) острые грани кристаллов льда вызывают механическое повреждение цитоплазмы и ее гибель.

4. Какова физиологическая причина гибели растений от вымокания?

1) потеря большого количества воды;

3) отравление этиловым спиртом, накапливающимся в анаэробных условиях;

2) истощение запасов углеводов вследствие интенсивного дыхания;

4) разрыв корней в результате вспучивания почвы образующимися в ней кусками льда.

5. Какой тип засоления почв особенно опасен для растения?

1) сульфатное;

3) содовое;

2) хлоридное;

4) смешанное.

6. Какие признаки отличают галофитов от гликофитов?

1) высокая продуктивность;

3) высокая интенсивность транс-

- 2) высокая интенсивность обмена; пирации;
4) низкая интенсивность транспирации.

7. Каковы причины вредного влияния солей на растения?

- 1) в растениях накапливаются ядовитые продукты обмена; 3) ионы натрия не конкурируют с другими ионами;
2) нарушается структура клеточных органоидов и цитоплазмы; 4) поступающие в клетку соли понижают водный потенциал, что вредно сказывается на ее жизнедеятельности.

8. Какие культурные растения более солеустойчивые?

- 1) томаты; 3) сахарная свекла;
2) огурцы; 4) горох.

9. Почему применение удобрений способствует более успешному перенесению растениями засоления?

- 1) интенсифицирует обмен веществ в растении; 3) снижает неуравновешенность почвенного раствора;
2) замедляет обменные процессы в растении; 4) повышает неуравновешенность почвенного раствора.

10. Какие признаки характерны для растений, выросших из семян, обработанных в течение часа 3%-м раствором хлорида натрия?

- 1) интенсивность обмена не изменяется; 3) менее устойчивы к засолению;
2) более устойчивы к засолению; 4) устойчивость к засолению не изменяется.

9. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СТАНОВЛЕНИИ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ОБ УЧЕНЫХ ФИЗИОЛОГАХ

Физиология растений первоначально развивалась как составная часть ботаники. Начало экспериментальной физиологии растений было положено опытами голландского естествоиспытателя Яна Ван Гельмонта. В 1629 г. он провел первый физиологический эксперимент, изучая питание растений. В глиняный сосуд поместил почву весом 91 кг и посадил в него ветку ивы, вес которой составлял 2,25 кг и регулярно поливал ее дождевой водой. Через 5 лет отдельно взвесил почву и ветку. Оказалось, что ива весила 77 кг, а вес почвы уменьшился всего на 56,6 г. На основании данного опыта Гельмонт сделал вывод о том, что масса растения состоит из воды. Так возникла водная теория питания.

Этапы дальнейшего развития физиологии растений были связаны с открытием фотосинтеза. В 1771 г. Джозеф Пристли обнаружил, что растения мяты, помещенные в сосуд, исправляют в нем воздух, испорченный горением свечи.

Швейцарский ботаник Жан Сенебье в 1800 г. опубликовал трактат «Физиология растений», в котором впервые определил предмет и задачи физиологии растений как самостоятельной науки и дал название этой науке.

Также основные этапы развития физиологии растений связаны с изучением ростовых движений – тропизмов (Ч. Дарвин), разработкой теории минерального питания (Ю. Либих, Ж.Б. Буссенго).

В конце XIX – начале XX вв. началось интенсивное изучение механизмов дыхания растений (В.И. Палладин, А.Н. Бах).

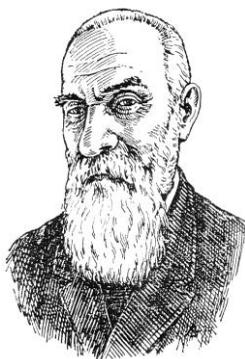
Основателями отечественной физиологии растений являются Андрей Сергеевич Фаминцын и Климент Аркадьевич Тимирязев. Исследования А.С. Фаминцына посвящены обмену веществ и энергии у растений. Он является автором первого отечественного учебника по физиологии растений (1887 г.). Основные исследования К.А. Тимирязева по физиологии растений посвящены процессу фотосинтеза.

В 1934 г. в системе Академии наук СССР был создан Институт физиологии растений, которому в 1936 г. присвоено имя К.А. Тимирязева. Это учреждение сыграло большую роль в развитии отечественной физиологии растений. С ним связаны имена таких известных ученых, как Анатолий Александрович Ничипорович – основные труды по физиологии фотосинтеза, теории фотосинтетической продуктивности растений и ее применение в сельском хозяйстве; Михаил Христофорович Чайлахян – автор гормональной теории развития растений (1937 г.); Раиса

Георгиевна Бутенко – основные труды по физиологии и морфогенезу в культуре изолированных клеток и тканей растений.

Основоположник советской школы агрохимии Дмитрий Николаевич Прянишников в 1916 г. разработал теорию азотного питания растений. Дальнейшее развитие учения о минеральном питании получило в работах Дмитрия Анатольевича Сабинина. Ян Вальдемарович Пейве изучал роль микроэлементов в питании растений и в фиксации азота клубеньковыми бактериями, в 1964 г. был награжден Ленинской премией.

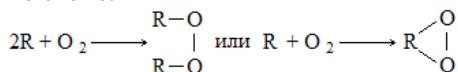
Таким образом, физиология растений имеет большую историю и выдающиеся научные достижения.



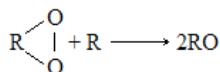
Бах Алексей Николаевич (1857-1946) – создатель перекисной теории биологического окисления. Он исходил из представления, что молекулярный кислород способен выступать как окислитель лишь в том случае, если с помощью энергии, привлеченной со стороны, будут разорваны и освобождены связи, удерживающие атомы в его молекуле. Для этой цели может быть использована тепловая, электрическая и другие виды энергии. По Баху, непосредственно подвергаться медленному окислению могут только соединения ненасыщенные, обладающие запасом легко используемой энергии. Вступая во взаимодействие с кислородом воздуха, такие соединения способствуют разрыву одной связи между атомами в молекуле кислорода. Химически эта реакция может быть выражена следующим образом:



Активированный кислород, соединяясь с окисляемым веществом, образует перекись по схеме:



За счет возникшей перекиси может идти окисление другой частицы R по следующей схеме:



Таким образом, активирование кислорода при дыхании осуществляется, согласно Баху, посредством «первичного, прямого» образования перекисей в результате присоединения (внедрения) к молекуле окисляемого вещества.

Другой путь окисления органического вещества состоит, по теории Баха, в окислении водорода, предварительно активированного и отнятого от субстрата.



Буссенго Жан Батист (1802-1887). Внес большой вклад в разработку минеральной теории питания растений. Ж.Б. Буссенго, как представитель экспериментального направления в физиологии растений, первый широко использовал в своих исследованиях по питанию метод выращивания растений в вегетационных сосудах. Точные эксперименты позволили Буссенго опровергнуть представления Ю. Либиха об азотном питании растений. Он первый отметил специфические особенности бобовых растений, как азотособирателей. Вегетационный метод позволил установить важные факты, касающиеся особенностей поступления в растения элементов минерального питания. Было показано, что далеко не все отчуждаемые с урожаем минеральные элементы необходимо возвращать в почву для того, чтобы предотвратить снижение ее плодородия. Сюда относится, например, кремнекислота, на долю которой у злаков приходится едва ли не половина всей золы, но в которой растения недостатка не ощущают.



Заленский Вячеслав Рафаилович (1875-1923). Внес большой вклад в природу засухоустойчивости растений. В результате обширных сравнительно-анатомических исследований В.Р. Заленский установил важнейшие факты биологической приспособленности растительных организмов к условиям природной обстановки. Эта приспособленность выражена в закономерных изменениях анатомического строения листьев при переходе от нижних листьев к более верхним, в зависимости от яруса – места их расположения на стебле растения. При переходе от нижних листьев к верхним уменьшаются размеры

устьиц на листьях и размеры самих клеток листа, гуще становится сеть жилок, возрастает число устьиц и волосков на единицу поверхности, сильнее развита палисадная ткань, слабее губчатая.

Выявленные В.Р. Заленским черты, отличающие листья верхних ярусов, свойственны ксерофитам, то есть растения солнечных, засушливых местообитаний. В соответствии с этим структуру листьев верхних ярусов Заленский определил как ксероморфную.



Костычев Сергей Павлович (1877-1931)

– российский биохимик, физиолог растений и микробиолог, академик АН СССР (1925; академик РАН с 1923). Автор трудов по дыханию растений, физиологии и биохимии микроорганизмов (биологическим основам микробиологической промышленности).

Экспериментально обосновал и развил теорию о генетической связи дыхания и брожения. В основе теории Костычева лежат представления, согласно которым две физиологические функции – дыхание и брожение – отнюдь не разделены, а непосредственно связаны друг с другом. Начальная фаза превращения сахара – анаэробный распад молекулы дыхательного субстрата – является общей и для дыхания, и для брожения. Через целую цепь последовательных превращений этот распад приводит к образованию промежуточных продуктов, опять-таки общих как для дыхания, так и для брожения. Пути этих двух процессов расходятся позднее, когда распад сахара достигает определенного этапа. Таким образом, устанавливается определенная связь между дыханием и брожением через пировиноградную кислоту (ПВК):





Курсанов Андрей Львович (1902-1999) – российский физиолог растений, академик АН СССР с 1953 г., академик Российской академии сельскохозяйственных наук (1985), академик РАН (1991), директор Института физиологии растений с 1952 по 1988 гг., Герой Социалистического Труда (1969). Основные труды по проблемам ассимиляции углекислоты, химизму и обмену дубильных веществ, энзимологии растительной клетки. Разработал учение о передвижении и запасании органических веществ в растении. Он

развивал очень важное направление, изучающее растительный организм как целостную систему, взаимосвязи физиологических процессов в растении, их биохимические механизмы. Золотая медаль им. Ломоносова АН СССР (1984).



Любименко Владимир Николаевич (1873-1937) – российский физиолог растений, член-корреспондент АН СССР (1925), член-корреспондент РАН (с 1922), академик АН Украины (1929). Основные труды по фотосинтезу. Выдвинул гипотезу эволюции питания растений от хемосинтеза к фотосинтезу. Исследовал генетические связи между пластидами.

Он изучал роль света в жизни растения, растительные пигменты и воздушное питание растительного организма. Для этих исследований характерна их экологическая направленность. В.Н. Любименко сконструировал три модели спектроколориметра, которые позволяли удобно определять минимальные количества пигментов хлорофилла или сопровождающих его желтых пигментов. Выясняя минимальную напряженность света, при которой начинается разложение углекислоты у светолюбивых и теневыносливых растений. В.Н. Любименко впервые доказал существование светового порога для начала фотосинтеза – необходимость некоторой минимальной напряженности света. Оказалось, что чувствительность хлорофиллоносного аппарата у растений различна: у теневыносливых растений хлорофиллоносный аппарат значительно чувствительнее к свету, чем у светолюбивых. Светолюбивые оказались значительно беднее хлорофиллом по сравнению с теневыносливыми растениями.

Большое уплотнение растительного покрова в теплых странах Люби-менко объяснял преобладание теневыносливых растений, содержащих большое количество зеленого пигмента. Количество хлорофилла в ли-стьях растений он рассматривал как приспособительный признак к раз-ным условиям освещенности.



Максимов Николай Александрович (1880-1952) – российский ботаник, один из основоположников экологической физиологии растений, академик АН СССР (1946). Основ-ные труды по физиологическим основам засу-хо- и морозоустойчивости растений. Премия им. В.И. Ленина (1930).

Работы Н.А. Максимова послужили фун-даментом для понимания морозостойкости и засухоустойчивости растений. Изучив явления морозостойкости у высших растений, Н.А. Максимов установил, что причиной поврежде-ния и гибели растений при низких температу-рах является образование и накопление кристаллов льда в межклетни-ках, которые обезвоживают и механически повреждают цитоплазму, приводя к коагуляции коллоидов. После оттаивания протоплазма ока-зывается уже мертвой и утрачивает непроницаемость. Он сформулиро-вал теорию «химической защиты растений от вымерзания». Выносли-вость растений к холоду увеличивается при повышении содержания растворимых осмотически активных веществ в клеточном соке, пони-жающих температуру замерзания. Повышение выносливости к низким температурам достигается и общим уменьшением количества свобод-ной, способной к замерзанию воды, обезвоживанием тканей.

В основе засухоустойчивости ксерофитных растений, по мнению Н.А. Максимова, лежит биохимические приспособления, выражающие-ся в приспособленности протоплазмы этих растений выдерживать без вреда для себя длительный недостаток воды. При возвращении же бла-гоприятных условий (дождей) ксерофиты быстро возвращаются к нор-мальной жизнедеятельности. Таким образом, было установлено, что ксерофиты – это не сухолюбивые, а лишь засухоустойчивые растения, развивающиеся при достаточном количестве влаги лучше, чем при за-сухе.

Также известны работы Н.А. Максимова в области светокультуры растений. С именем Н.А. Максимова связано начало исследований по

физиологии ростовых веществ и практическому применению стимуляторов роста в различных областях растениеводства.



Мокроносов Адольф Трофимович (1928-2001) – российский биолог, физиолог растений, академик РАН (1991; академик АН СССР с 1987 г.). Директор Института физиологии растений с 1988 по 1997 гг. Основные работы по биохимии, физиологии и продуктивности фотосинтеза. Специалист в области эволюции и экологии фотосинтеза. Он занимался проблемами функционирования и регуляции донорно-акцепторных систем, составляющих основу продукционного процесса у растений.

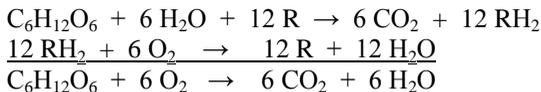


Палладин Владимир Иванович (1859-1922). Разработал теорию дыхания, согласно которой в растительной ткани существуют специфические посредники дыхания, так называемые дыхательные хромогены. Окисляясь, последние превращаются в пигменты, способные к обратному восстановлению за счет водорода субстрата. По схеме:



Позднее Палладин пришел к заключению, что хромоген активирует не кислород воздуха при помощи оксидаз, а водород дыхательного субстрата при помощи дегидраз.

Основное содержание теории дыхания Палладина было выражено им следующим уравнением, где символом R обозначен дыхательный пигмент, а символом RH_2 – дыхательный хромоген, т.е. восстановленный пигмент:



Таким образом, дыхательные хромогены выполняют в живой клетке роль акцепторов кислорода, тогда как дыхательные пигменты – акцепторов водорода. Важное место в концепции Палладина занимает поло-

жение о том, что обязательным участником дыхания живой клетки является вода, которая выполняет роль донора водорода для восстановления пигмента в хромоген. В этом же процессе восстановления пигмента участвует и водород окисляемого субстрата. Таким образом, первый этап дыхания протекает, по Палладину, без участия свободного (молекулярного) кислорода. Свободный кислород используется для регенерации акцепторов водорода.



Прянишников Дмитрий Николаевич (1865-1948) – российский ученый, основатель агрохимической школы, академик АН СССР (1929), академик ВАСХНИЛ (1935), Герой Социалистического Труда (1945). Разработал теорию азотного питания (1916), научные основы фосфоритования почв. Труды по известкованию кислых почв, гипсованию солонцов, применению органических удобрений. Руководство «Агрохимия» (1940). Премия им. В.И. Ленина (1926), Государственная премия СССР (1941).

Внес большой вклад в изучение азота и его круговорота в растениях (рис. 21). Он отмечал, что аммиак является альфой и омегой обмена азотистых веществ в растениях. Прянишников придавал азоту и аммиаку большую роль в жизни растений, как основным источником азота для высших растений. С аммиака начинается в растениях синтез азотистых органических соединений и аммиаком заканчивается распад этих же веществ. Он экспериментально показал, что аспарагин не может быть непосредственным продуктом превращения белка или содержащихся в нем аминокислот. Аспарагин, так же как и мочевина, не может регенерировать в белок, но в то же время как мочевина, как отброс выводится из организма животного, аспарагин накапливается в клеточном соке этиолированных растений. Однако под влиянием света картина может изменяться и аналогия с животным пропадет: начнут преобладать процессы синтеза, и аспарагин вновь используется растением. Прянишников в своих работах большое влияние уделял также азоту «биологическому», то есть азоту, фиксированному микроорганизмами из воздуха.

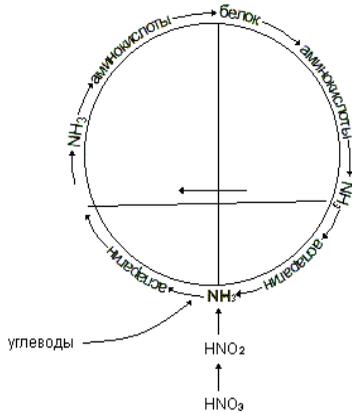


Рис. 21. Схема превращений азотистых веществ в растениях (по Прянишникову)



Сабинин Дмитрий Анатольевич (1889-1951) – российский ботаник, основатель отечественной научной школы физиологов растений, профессор. Исследовал роль корневой системы в водном и минеральном питании; установил влияние круговорота элементов минерального питания на рост и формирование растений.

Предложил схему условий одностороннего тока воды через живые клетки. Согласно Д.А. Сабинину, поддержание одностороннего тока воды обеспечивается не только различиями в проницаемости отдельных участков цитоплазмы

одной и той же клетки, но и различиями в обмене веществ.

Д.А. Сабинин внес большой вклад в разработку вопроса о зависимости поглощения минеральных веществ от окислительно-восстановительной активности ткани растения. Показал, что поглощение солей подавляется с помощью различных дыхательных ядов (цианиды, азиды и др.). В свою очередь поглощенные клетками минеральные соли оказывают существенное влияние на ее дыхание. Начальным этапом поглощения, по Д.А. Сабинину, следует считать адсорбцию ми-

неральных элементов поверхностью корней, причем адсорбция носит обменный характер.



Сакс Юлиус (1832-1897) – немецкий ботаник. Основные работы по изучению процессов фотосинтеза, формообразования, роста и движений растений. Один из основоположников экспериментальной физиологии растений. Автор классической «Истории ботаники от 16-го столетия до 1860 г» (1875).

Внес большой вклад в область изучения фотосинтеза. Было показано, что в некоторых случаях хлорофилл образуется и в отсутствие света. Способность образовывать хлорофилл в темноте характерна для растений, стоящих на нижней ступени эволюционного процесса. Так при благоприятных условиях питания некоторые бактерии могут синтезировать в темноте бактериохлорофилл. Почти у всех видов хвойных при прорастании семян в темноте семядоли зеленеют. Более развита эта способность у теневыносливых пород хвойных деревьев.

Ю. Сакс изучал также кинетику ростовых процессов. Им были установлены определенные закономерности. В начальный период темпы роста, как правило, низкие. Затем рост усиливается и идет с большой скоростью (период большого роста), а затем снова замедляется. В результате рост (увеличение размера) клетки, органа или организма в целом может быть изображен в виде S-образной кривой (рис. 22). Эта закономерность имеет общебиологическое значение и справедлива по отношению к росту всех живых организмов, включая и человека.

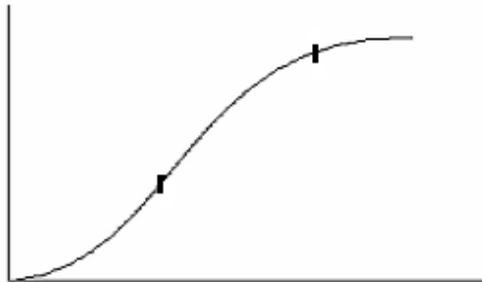


Рис. 22. S-образная кривая роста



Тимирязев Климент Аркадьевич (1843-1920) – российский естествоиспытатель, один из основоположников русской научной школы физиологов растений, член-корреспондент РАН (1917; член-корреспондент Петербургской АН с 1890). Профессор Петровской земледельческой и лесной академии (с 1871) и Московского университета (1878-1911), ушел в отставку в знак протеста против притеснений студенчества. Депутат Моссовета (1920). Раскрыл закономерности фотосинтеза как процесса использования света для образования органических веществ в растениях.

Труды по методам исследования физиологии растений, биологическим основам агрономии, истории науки. Один из первых пропагандистов дарвинизма и материализма в России.

Внес большой вклад в развитие представлений о природе фотосинтеза. Он указывал: 1) на существование двух, связанных обратимыми переходами форм хлорофилла – окисленный и восстановленный; 2) на непосредственное участие хлорофилла в процессе фотосинтеза; 3) на непосредственное участие хлорофилла в процессах фотосинтеза воды. К.А. Тимирязевым впервые была подчеркнута идея о циклическом характере фотосинтеза. Им установлена тесная связь между интенсивностью фотосинтеза и распределением энергии в отдельных участках солнечного спектра. Максимум поглощения света хлорофиллом совпадает с максимумом ассимиляции CO_2 и что оба эти максимума приходятся на красную часть спектра. Высокую интенсивность фотосинтеза в красной части спектра Тимирязев объяснял тем, что на ее долю приходится основная часть интегральной энергии, которую несут лучи видимой части спектра. К.А. Тимирязев экспериментально доказал приложимость закона сохранения энергии для процесса фотосинтеза, показал космическую роль зеленого растения.

Основные его труды: «Жизнь растения» (1878), «Столетние итоги физиологии растений» (1901), «Успехи ботаники в 20 веке» (1917), «Солнце, жизнь и хлорофилл» (1920) и др.



Цвет Михаил Семенович (1872-1919) – русский физиолог и биохимик растений. Исследования М.С. Цвета были посвящены изучению процесса фотосинтеза, пигментов растительной клетки, в первую очередь хлорофилла. Для выделения пигментов из растительной ткани в неизменном виде он считал более рациональными не химические, а физические методы. Открытый им новый метод выделения пигментов из клетки был назван хроматографическим. Этот метод основывается

на адсорбции пигментов нерастворимыми нейтральными порошками. М.С. Цвет нашел, что наиболее удобными для разделения пигментов хлорофилльной вытяжки являются углекислый кальций, тростниковый сахар и инулин. Растирая свежие листья в петролейном эфире с прибавкой небольшого количества спирта или в бензоле, или в сероуглероде, М.С. Цвет получал вытяжку пигментов. Взабалтыванием вытяжки с дистиллированной водой он удалял спирт, после чего отфильтровывал вытяжку через трубку, заполненную порошкообразным адсорбентом. Адсорбируясь в различной степени, пигменты располагаются в трубке в виде различно окрашенных слоев. В типичной хроматограмме М.С. Цвета наблюдались следующие слои: бесцветный, желтый, желто-зеленый, зелено-синий, три слоя желтых и последний – стально-серый. Адсорбционный метод разделения пигментов М.С. Цвета совершил переворот в изучении химии хлорофилла, позволил быстро двинуться вперед исследованиям фотосинтеза. Адсорбционным методом используются биохимики для выделения и очистки витаминов, гормонов, энзимов.

ЛИТЕРАТУРА

Артамонов, В.И. Программированный учет знаний студентов заочников по курсу физиологии растений / В.И. Артамонов. – М., 1985. – 264 с.

Беликов, П.С. Физиология растений: учебное пособие / П.С. Беликов, Г.А. Дмитриева. – М.: Изд-во РУДН, 1992. – 248 с.

Васильева, З.В. Руководство к практическим занятиям по физиологии растений: пособие для студентов пед. вузов / З.В. Васильева, Г.А. Кириллова. – М.: Просвещение, 1968. – 79 с.

Васильева, З.П. Учебно-методическое пособие по физиологии растений / З.В. Васильева, Г.А. Кириллова, А.В. Строганова. – М.: Просвещение, 1977. – 93 с.

Викторов, Д.П. Малый практикум по физиологии растений: учебное пособие для биол. спец. вузов / Д.П. Викторов. – М.: Высшая школа, 1983. – 135 с.

Викторов, Д.П. Практикум по физиологии растений. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1991. – 160 с.

Гейнрих Д. Экология: dtv – Atlas: Пер. с 5 –го нем. изд./ Худож. Рудольф и Розмари Фанерт; Научн. Ред. В.В.Серебряков./ Д.Гейнрих, М.Гергт, – М.: Рыбари, 2003. -287 с.:ил.

Генкель, П.А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений / П.А. Генкель. – М.: Наука, 1982. – 280 с.

Грин, Н. Биология: в 3 т. / Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор. – М.: Мир, 1990. – Т. 1. – 368 с., Т. 2. – 325 с., Т. 3. – 376 с.

Головко, Т.К. Дыхание растений (физиологические аспекты) / Т.К. Головко. – Спб.: Наука, 1999. – 204 с.

Гудвин, Т. Введение в биохимию растений: в 2 т. / Т. Гудвин, Э. Мерсер – М.: Мир, 1986. – Т.1. – 392 с.; Т.2. 312 с.

Гэлстон, А. Жизнь зеленого растения / А. Гэлстон, П. Дэвис, Р. Сэттер. – М.: Мир, 1983. – 552 с.

Дмитриева, Г.А. Практикум по физиологии растений: учебное пособие / Г.А. Дмитриева, В.И. Кефели. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ АН СССР, 1991. – 74 с.

Задание по практическому курсу физиологии растений / Мар. гос. ун-т; сост.: Н.П. Грошева. – Йошкар-Ола, 1988. – 48 с.

Заугольнов, О.А. Краткий курс физиологии и биохимии растений / О.А. Заугольнов. – Саранск: Изд-во Морд. гос. ун-та, 1995. – 228 с.

Иванов, В.Б. Практикум по физиологии растений: учебное пособие для студ. высших пед. учеб. заведений / В.Б. Иванов, И.В. Плотнокова, Е.А. Живухина и др.; под ред. В.Б. Иванова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 144 с.

Карасев, В.Н. Физиология растений: учебное пособие / В.Н. Карасев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 304 с.

Кретович, В.Л. Биохимия растений / В.Л. Кретович. – М.: Высшая школа, 1980. – 445 с.

Кузнецов, В.В. Физиология растений / В.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. – М.: Высшая школа, 2005. – 736 с.

Курсанов, А.Л. Транспорт ассимилятов в растениях / А.Л. Курсанов. – М.: Наука, 1976. – 648 с.

Лебедев, С.И. Физиология растений / С.И. Лебедев. – М.: Колос, 1988. – 544 с.

Либберт, Э. Физиология растений / Э. Либберт. – М.: Мир, 1976. – 580 с.

Малый практикум по физиологии растений: практическое пособие / под ред. М.В. Гусева. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 192 с.

Малый практикум по физиологии растений: учебное пособие / под ред. А.Т. Мокроносова. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 184 с.

Маркаров, А.М. Морфофизиология клубнеобразующих растений / А.М. Маркаров, Т.К. Головкин, Г.Н. Табаленкова. – СПб.: Наука, 2001. – 208 с.

Медведев, С.С. Физиология растений: учебник / С.С. Медведев. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. ун-та, 2004. – 336 с.

Мокроносов, А.Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты: учебник / А.Т. Мокроносов, В.Ф. Гавриленко. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 320 с.

Некрасова, К.А. Модульное обучение студентов средствами курса «Физиология растений»: учебно-методическое пособие / К.А. Некрасова. – Киров: Изд-во Вятского ГГУ, 2004. – 134 с.

Николаевский, В.С. Биологические основы газоустойчивости растений / В.С. Николаевский. – Новосибирск: Наука, 1979. – 280 с.

Пильщикова, Н.В. Физиология растений с основами микробиологии / Н.В. Пильщикова. – М.: Мир, 2004. – 184 с.

Плешков, Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б.П. Плешков. – М.: Агропромиздат, 1987. – 494 с.

Плотникова, И.В. Практикум по физиологии растений: учебное пособие для студентов пед. учеб. заведений / И.В. Плотникова, Е.А. Живухина, О.Б. Михалевская и др.; Под ред. М.Б. Иванова. – М.: Издательский центр «Академия», 2001. – 144 с.

Полевой, В.В. Физиология растений / В.В. Полевой. – М.: Высшая школа, 1989. – 464 с.

Практикум по физиологии растений / под ред. И.И. Гунара. – М.: Изд-во «Колос», 1972. – 167 с.

Практикум по физиологии растений / под ред. Н.Н. Третьякова. – М.: Колос, 1982. – 271 с.

Практикум по физиологии растений / под ред. проф. Н.Н. Третьякова. – М.: Агропромиздат, 2002. – 70 с.

Прянишников, Д.Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР / Д.Н. Прянишников. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 195 с.

Саламатова, Т.С. Физиология растительной клетки / Т.С. Саламатова. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. – 231 с.

Сказкин, Ф.Д. Практикум по физиологии растений. / Ф.Д. Сказкин, Е.И. Ловчиновская, Т.А. Краснокамская и др. – М.: Государственное издательство «Советская наука», 1953. – 311 с.

Третьяков, Н.Н. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин и др.; под ред. Н.Н. Третьякова. – М.: Колос, 2000. – 640 с.

Физиология растений: учебник для студентов вузов / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко и др.; под ред. И.П. Ермакова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 640 с

Физиология растений с основами биохимии: методические указания к проведению учебной практики / сост. В.Н. Карасев. – Йошкар-Ола: МГПИ, 1992. – 64 с.

Физиология растений с основами биохимии / под ред. проф. Н.Н. Третьякова. – М.: Колос, 2000. – 452 с.

Якушкина, Н.И. Физиология растений / Н.И. Якушина. – М.: Просвещение, 1993. – 351 с.

Якушкина, Н.И. Физиология растений / Н.И. Якушина, Е.Ю. Бахтенко. – М.: Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС, 2005. – 463 с.

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ В СХЕМАХ И ТАБЛИЦАХ



Цифровой микроскоп QX3

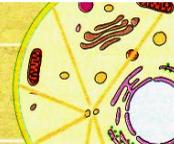
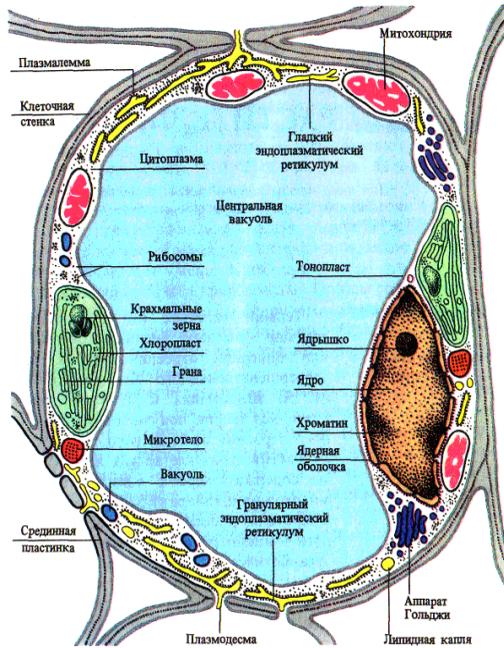
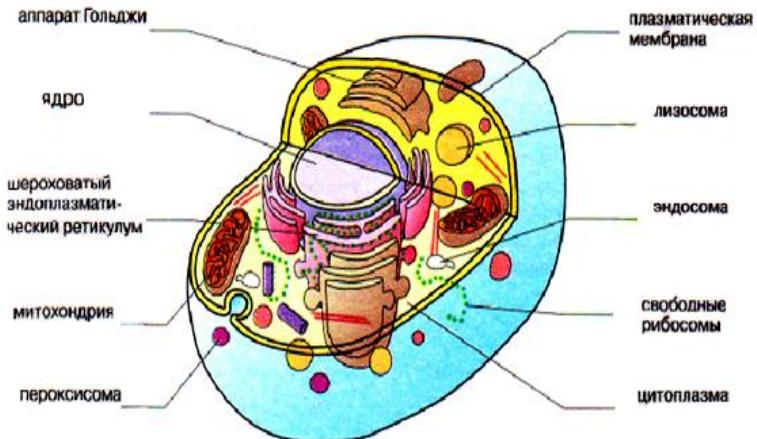
Прокариоты	Эукариоты	
 1-10 мкм		
Организмы	Организмы	
эубактерии архебактерии	грибы растения животные	
Форма организма	Форма организма	
одноклеточные	одно- или многоклеточные	
Органеллы, цитоскелет, аппарат клеточного деления	Органеллы, цитоскелет, аппарат клеточного деления	10-100 мкм
отсутствует	присутствует, сложный, специализированный	
DNA		
маленькая, кольцевая, нет интронов, плазмиды	большая, в клеточных ядрах, много интронов	
RNA: синтез и созревание		
простой, в цитоплазме	сложный, в ядрах	
Белки: синтез и процессинг		
простой, связанный с синтезом RNA	сложный, в цитоплазме и полости rER	
Обмен веществ		
анаэробный или аэробный, легко перестраивающийся	преимущественно аэробный	
Эндоцитоз и экзоцитоз		
нет	различные формы	

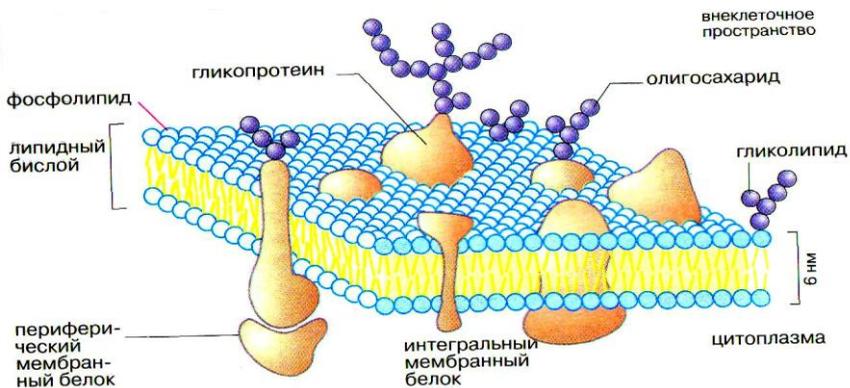
Таблица сравнения прокариот и эукариот



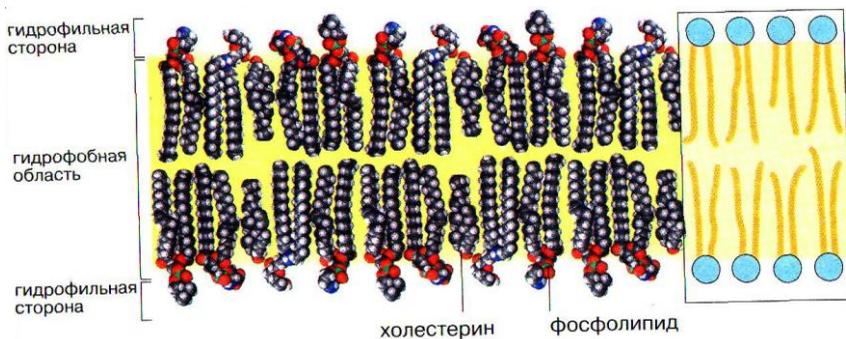
Структура растительной клетки (по Полевому , 19)



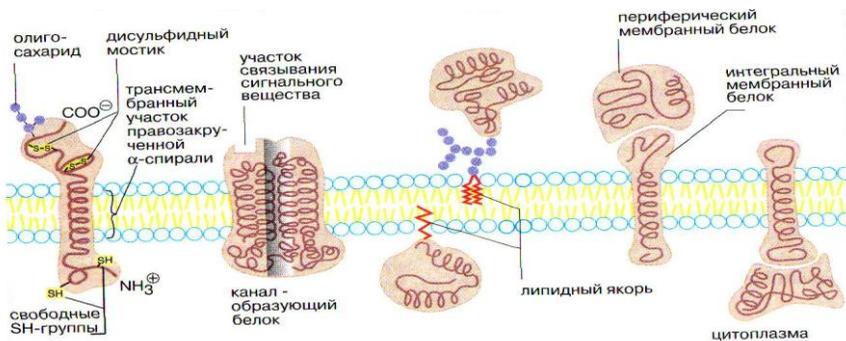
Структура животной клетки



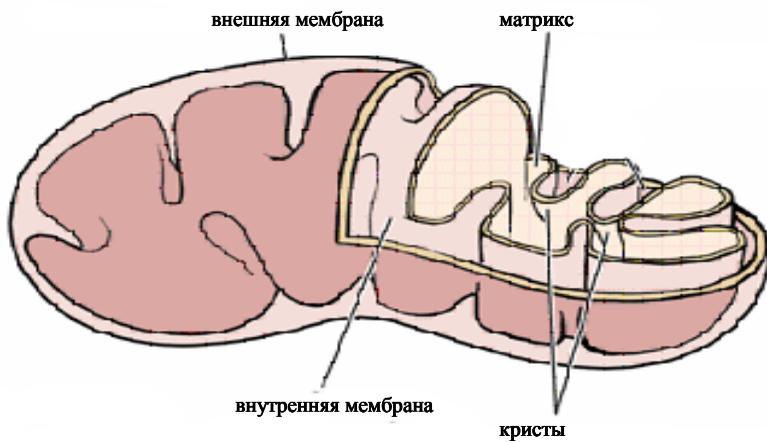
Структура плазматической мембраны



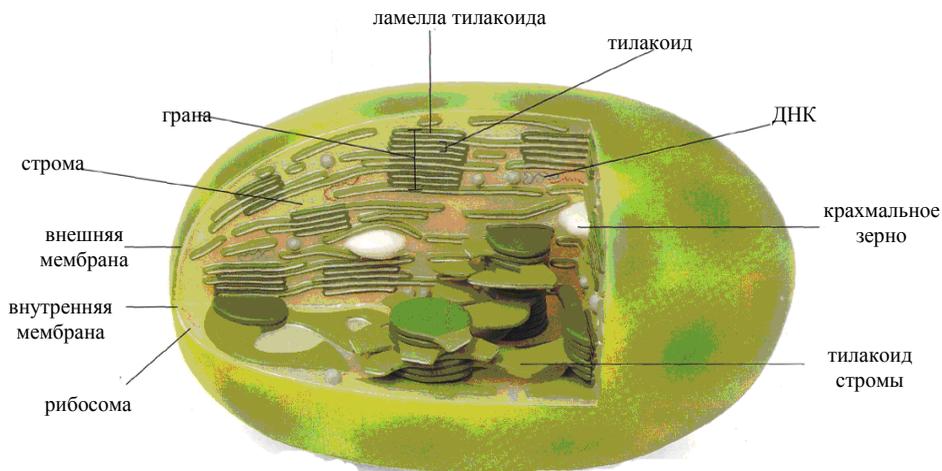
Мембранные липиды



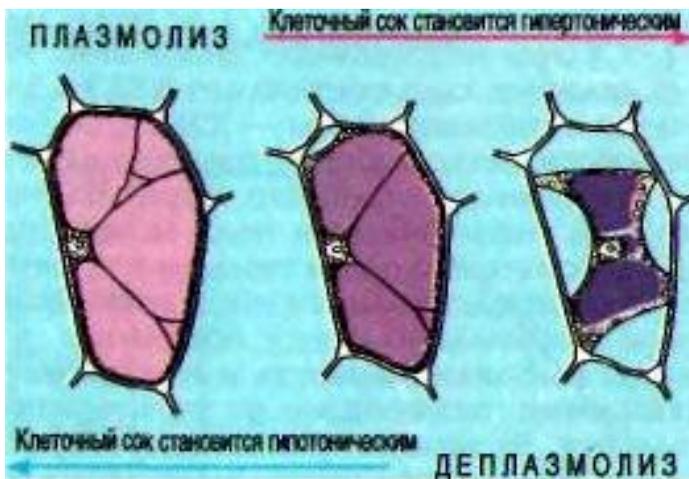
Мембранные белки



Строение митохондрий



Строение хлоропластов



Плазмолиз и деплазмолиз клетки

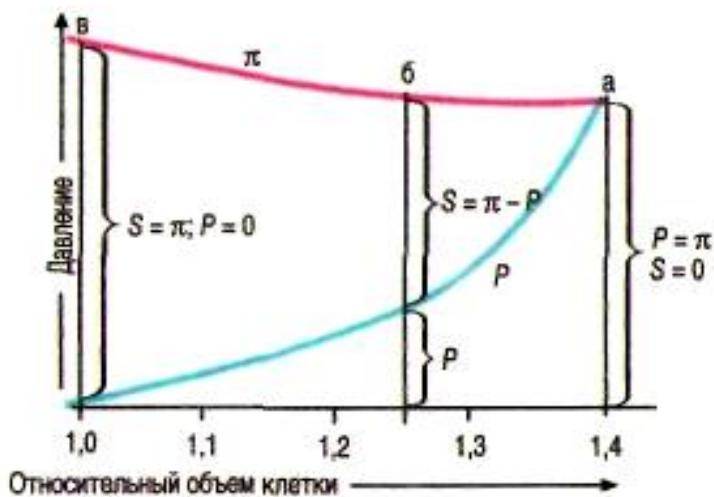
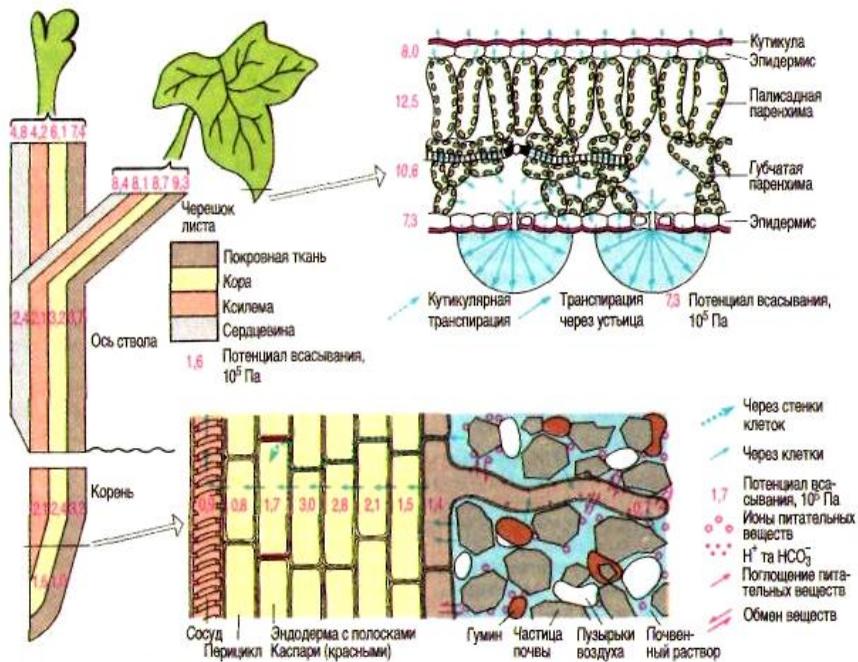


Диаграмма осмотического давления

а – состояние водонасыщения; б - клетка способна воспринимать воду; в - стенка клетки расслаблена (границный плазмолиз); P – тургорное давление / давление на стенки; S – потенциал всасывания; π – потенциальное осмотическое давление.



Поглощение и передвижение воды в растении

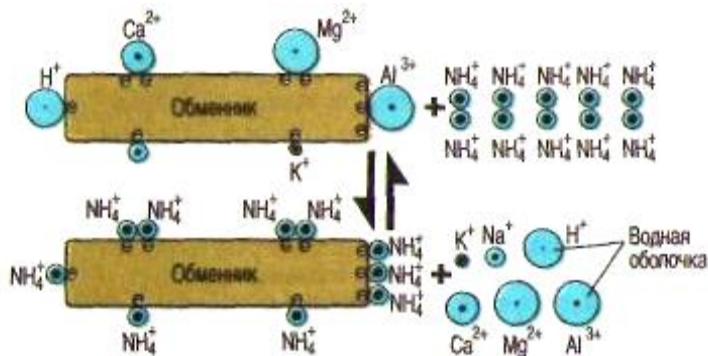
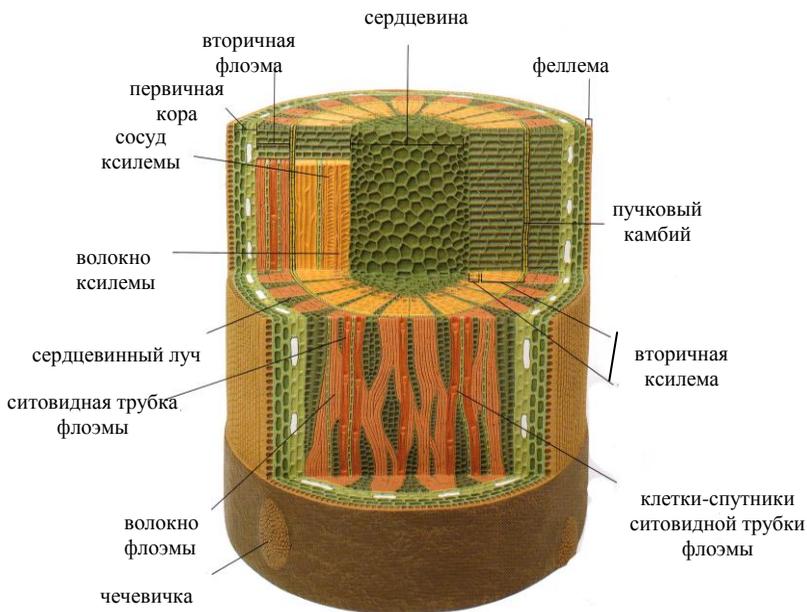
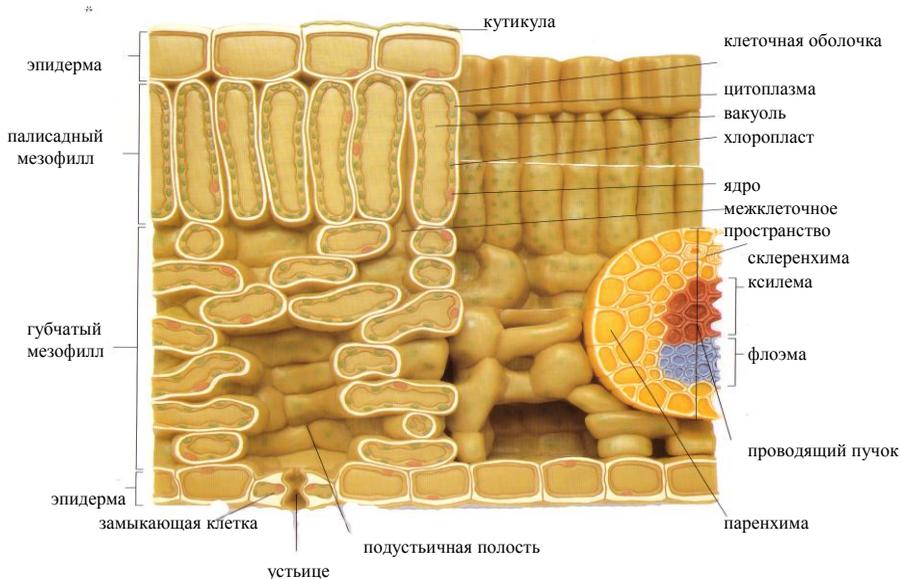


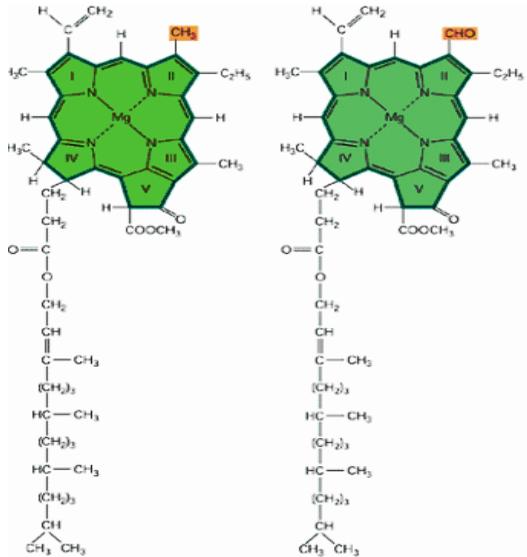
Схема катионного обмена



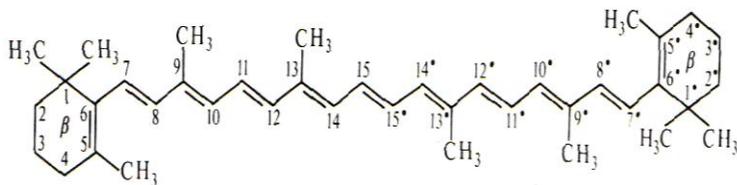
Поперечный срез стебля



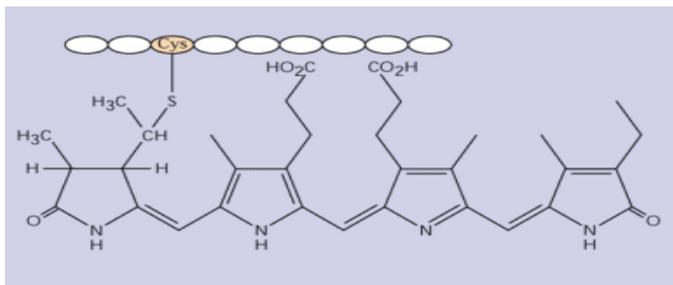
Поперечный срез листа



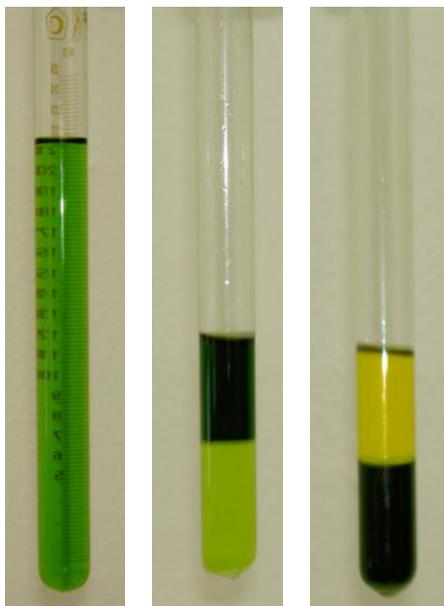
Структурные формулы хлорофиллов а и в



Структурная формула β-каротина



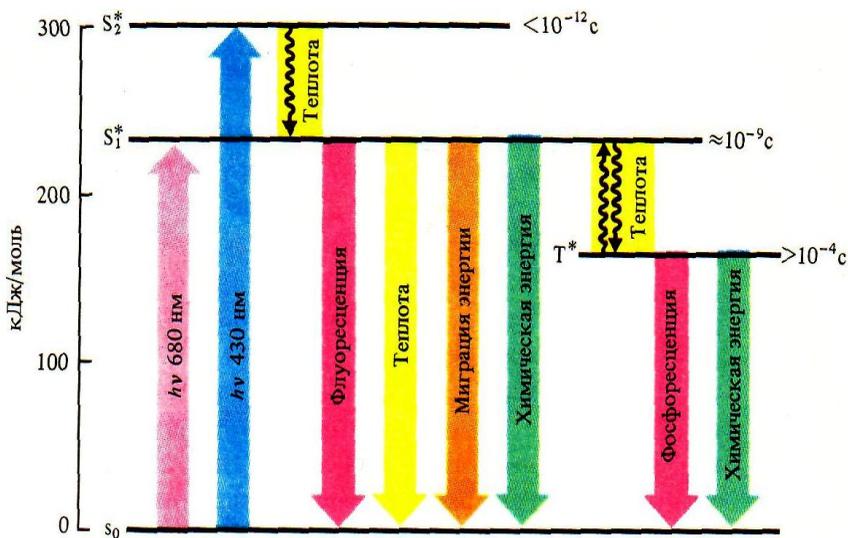
Структурная формула фикоцианобелина



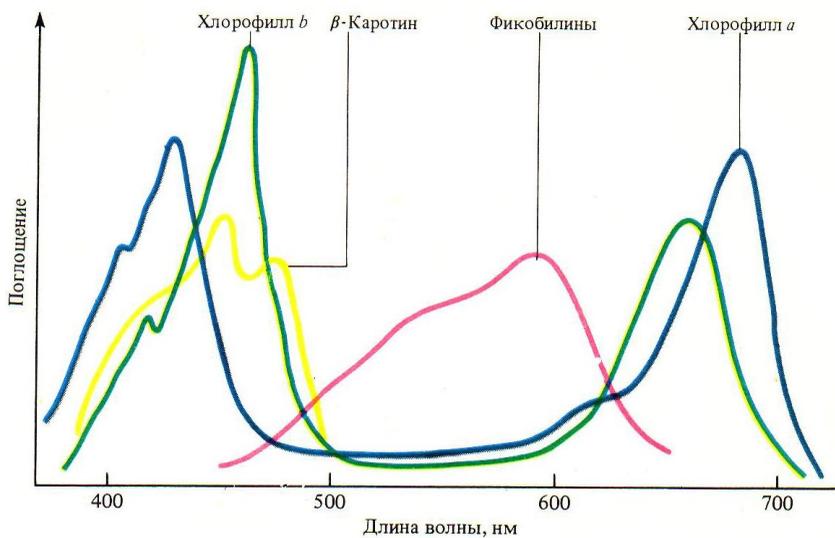
Пробирки с вытяжкой пигментов



Разделение пигментов хроматографическим методом



Энергетические состояния молекулы хлорофилла



Спектры поглощения пигментов пластида

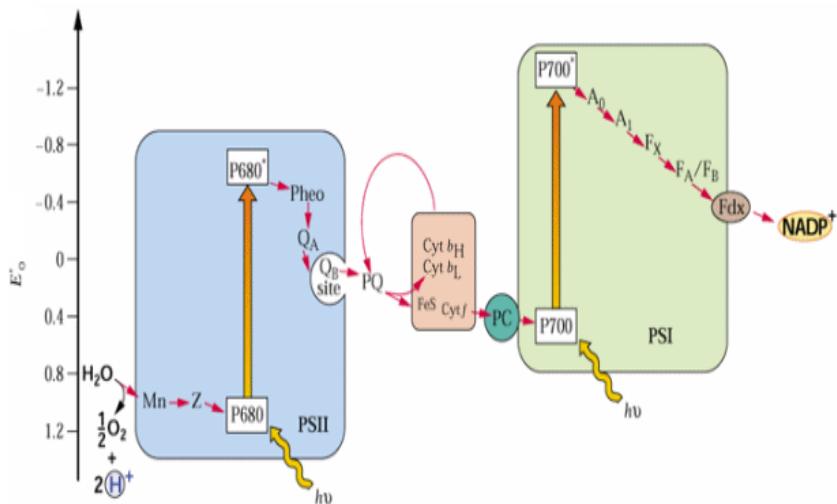
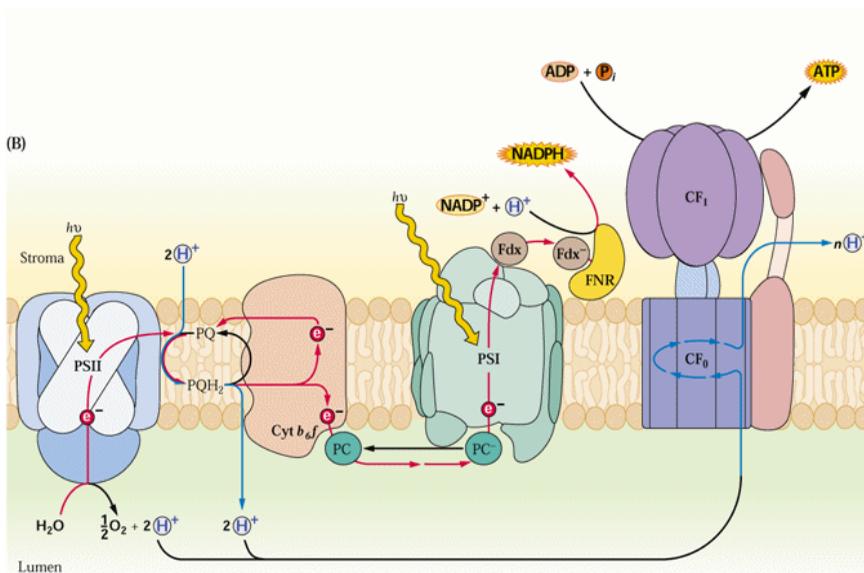
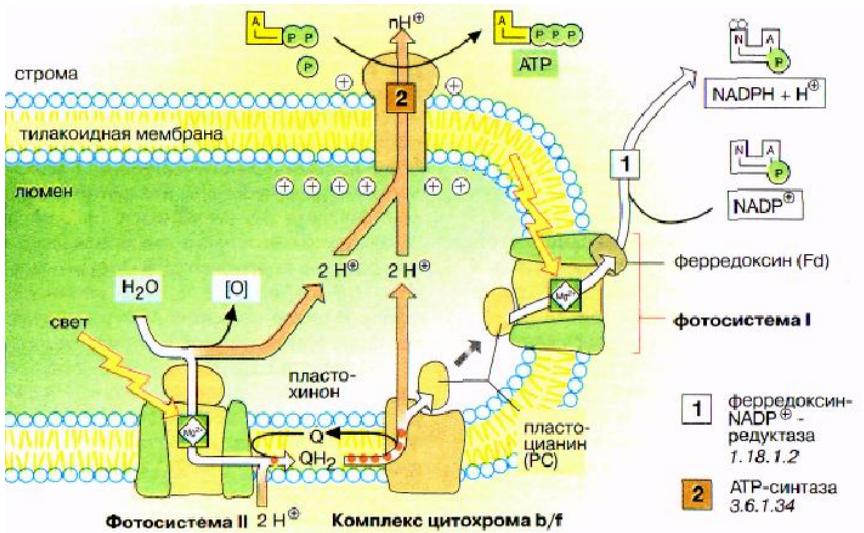


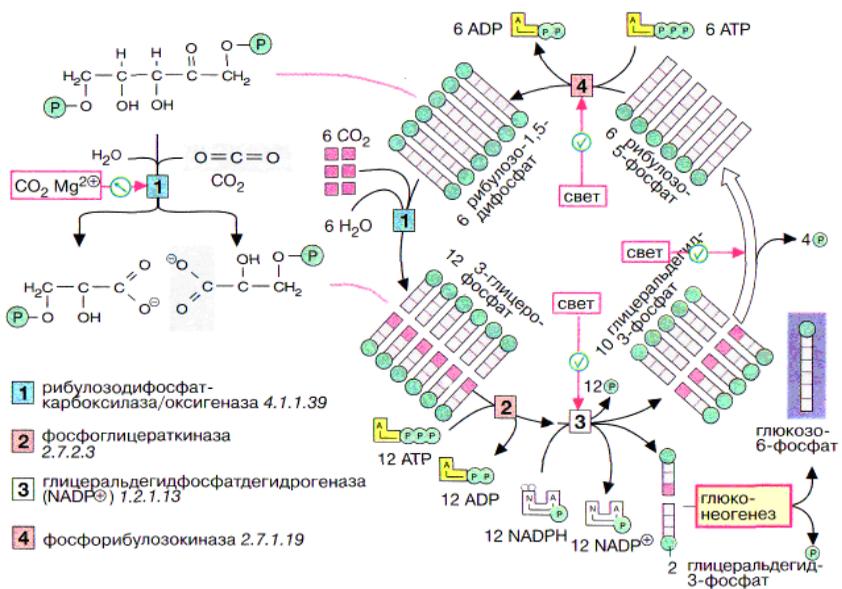
Схема нециклического и циклического транспорта электронов в хлоропластах



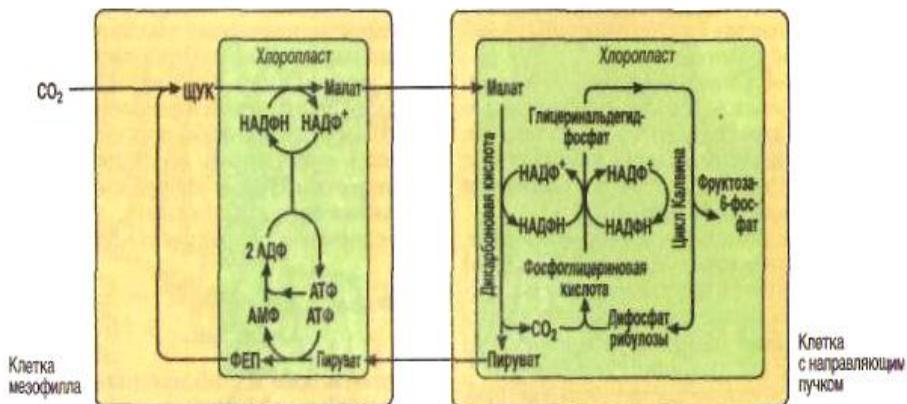
Локализация электрон- и протон-транспортных реакций в тилакоидной мембране



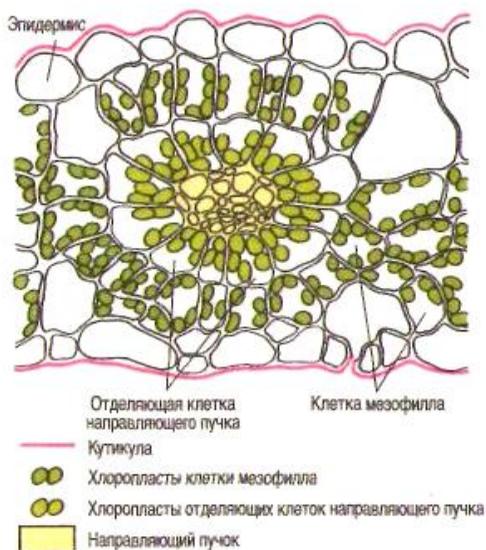
Световая реакция фотосинтеза



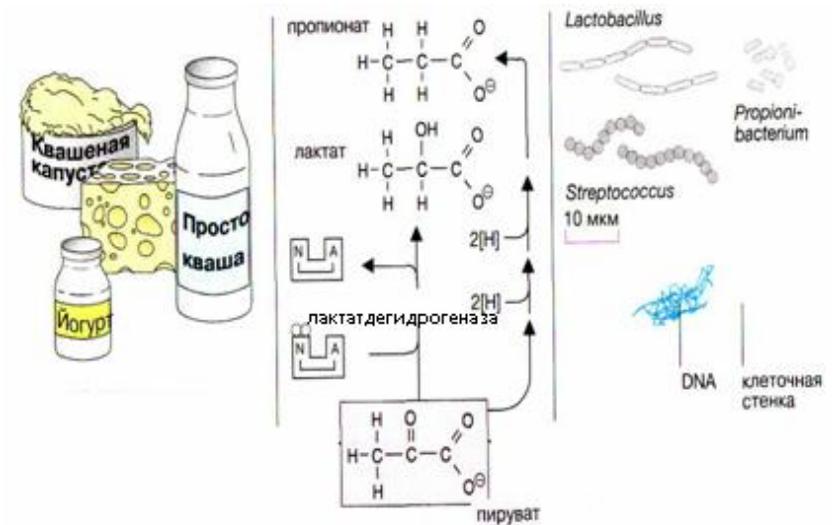
Цикл Кальвина



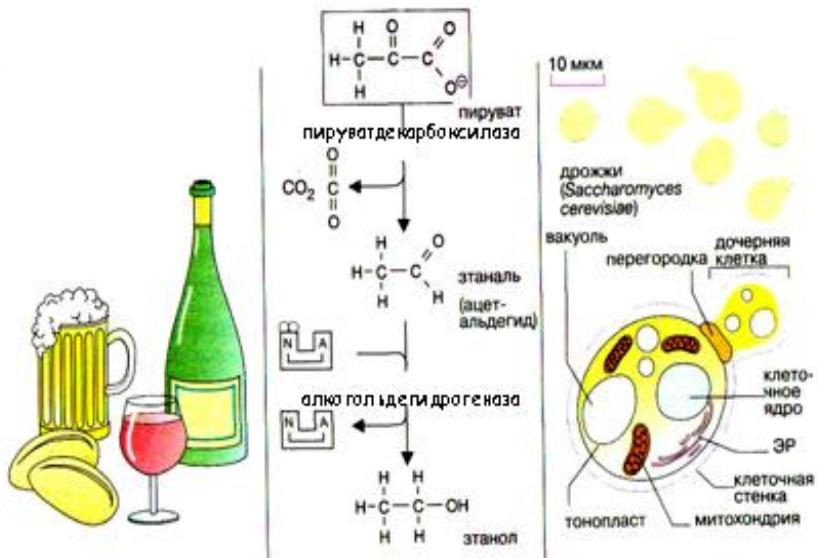
Цикл дикарбоновой кислоты C_4 -растения



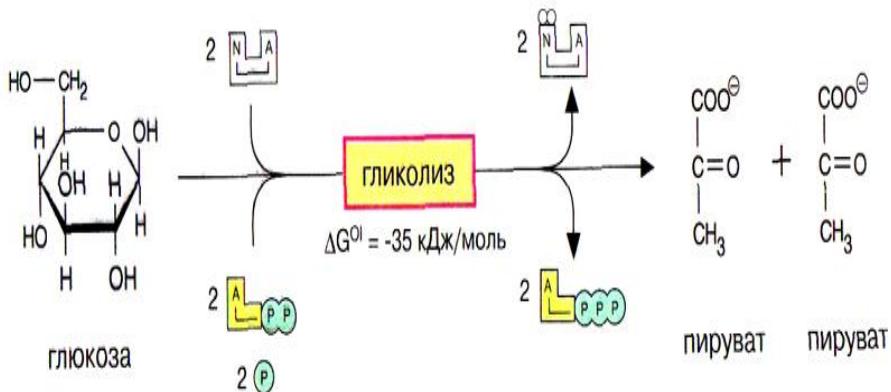
Разрез листа C_4 -растения



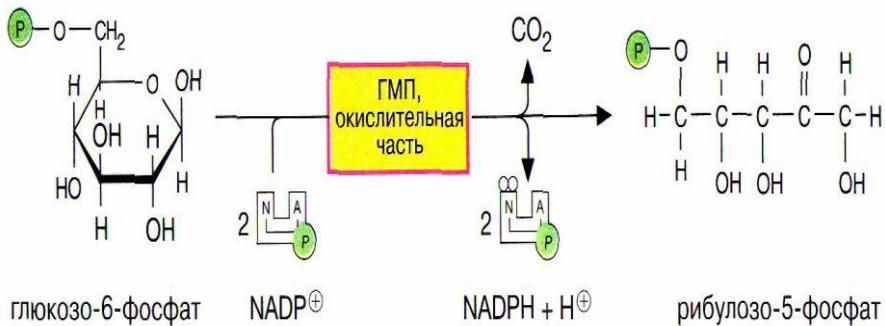
Молочнокислородное брожение



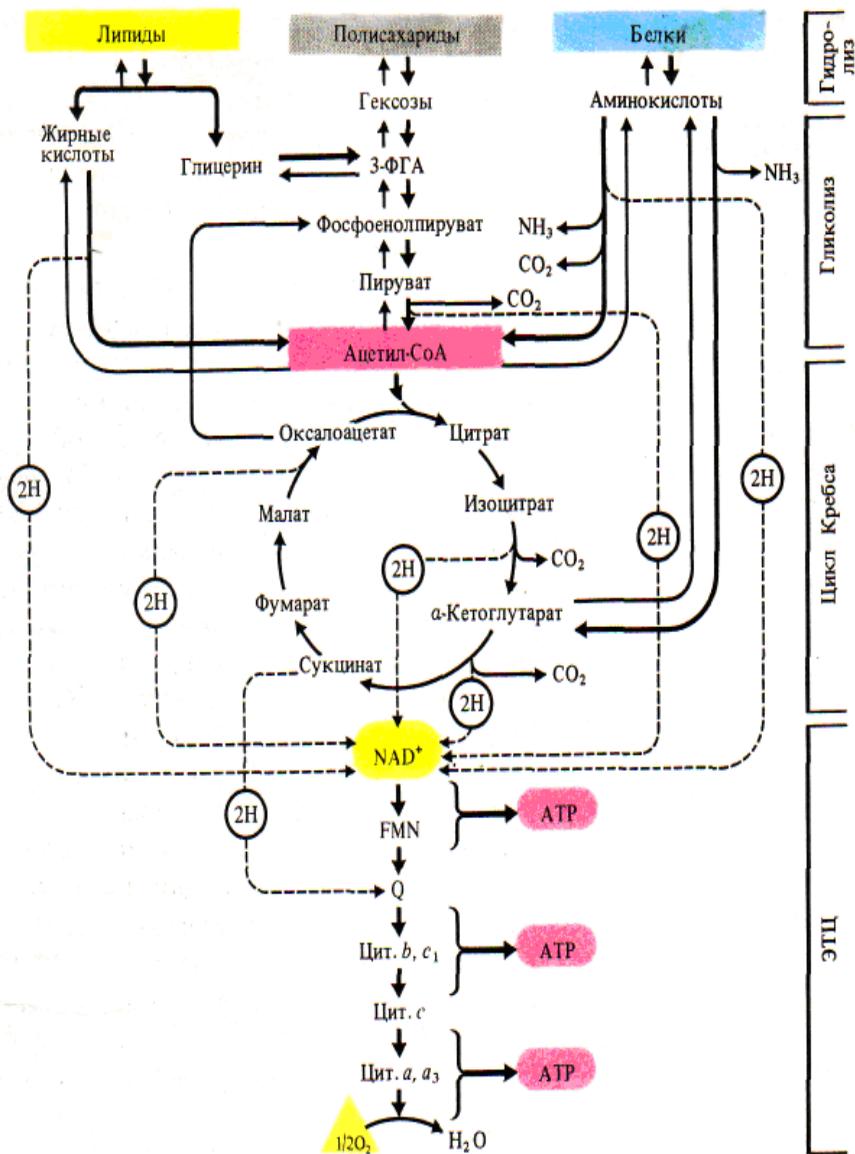
Спиртовое брожение



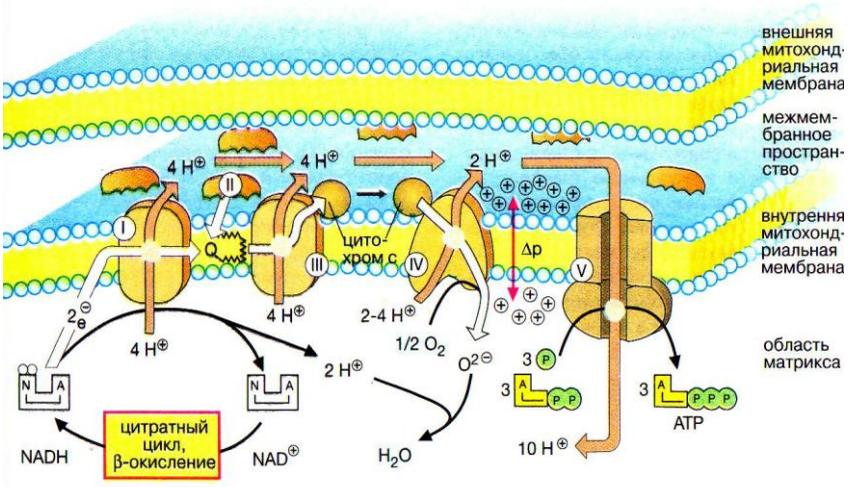
Гликолиз



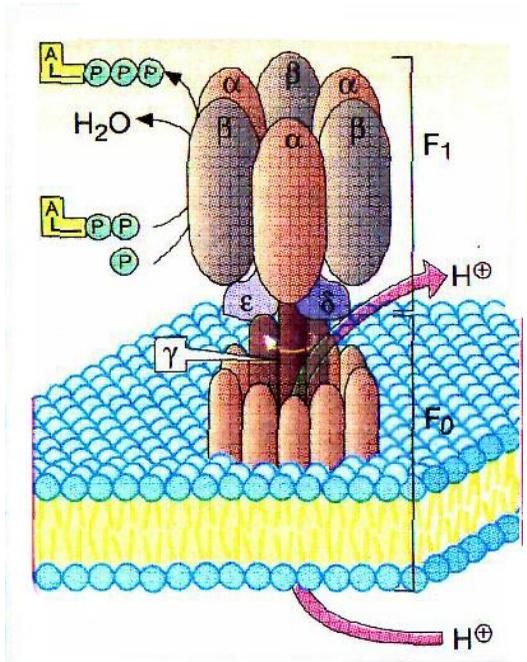
Гексозомонофосфатный путь окисления



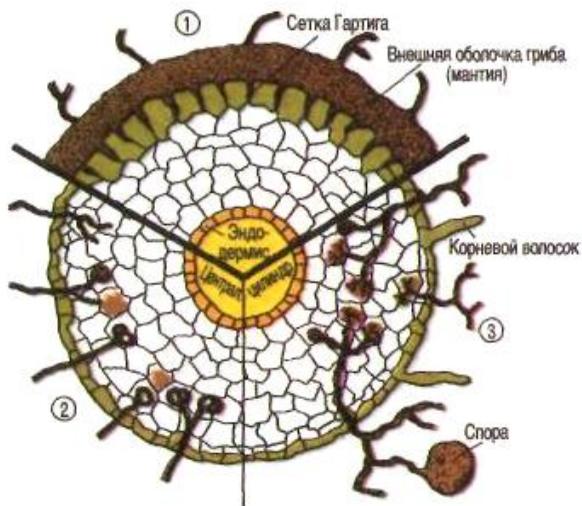
Субстраты дыхания и дыхательный коэффициент



Структура дыхательной цепи



Структура и локализация АТФ-синтетазы

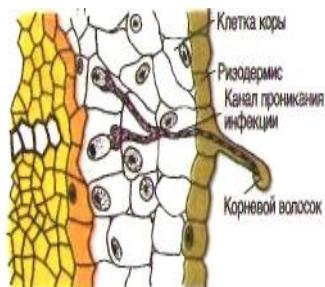


Формы микоризы

1 – эктотрофная; 2 – эндотрофная; 3 – везикулярно-арбускулярная



Клубеньки на корнях гороха посевного (*Pisum sativum* L.)



Бактериальная инфекция (*Rhizobium*)

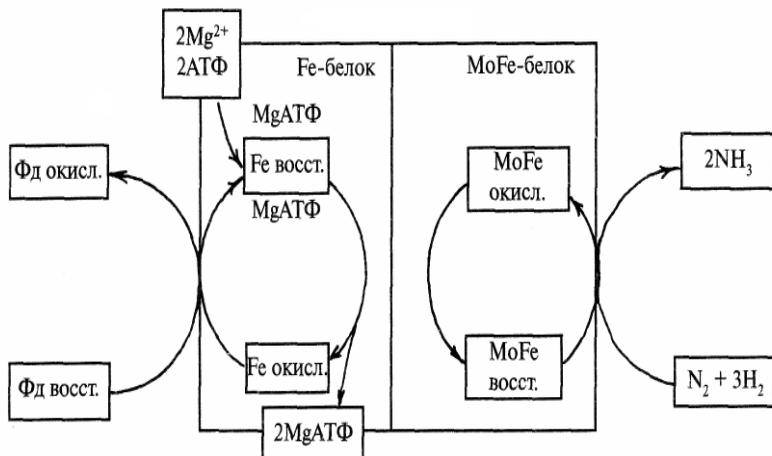


Схема образования аммиака из молекулярного азота при участии нитрогеназы

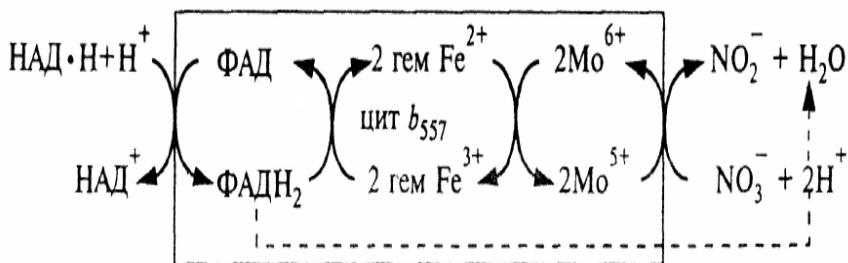
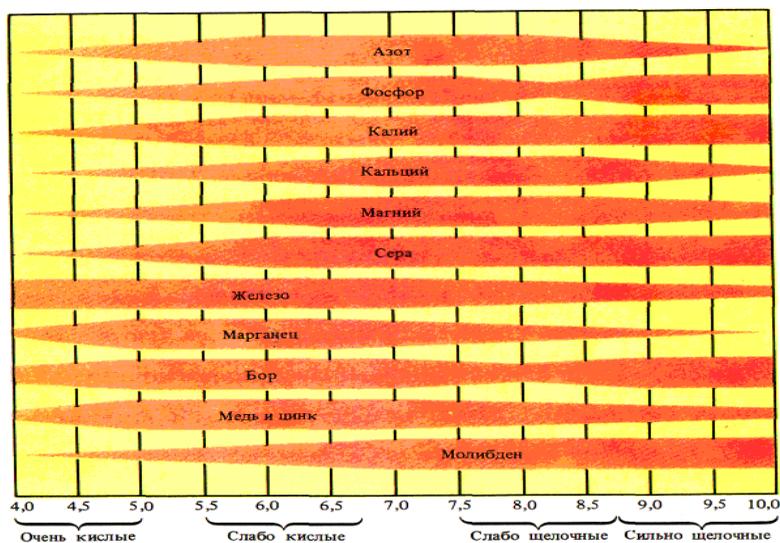


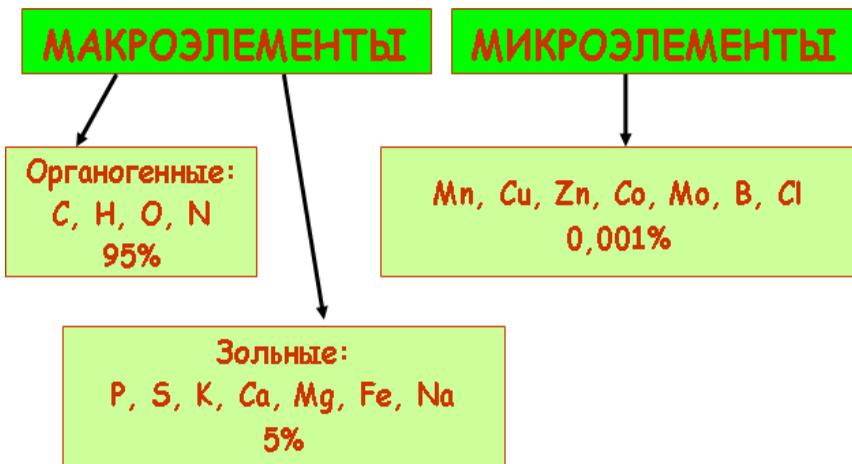
Схема восстановления нитрат-ионов до нитрит-ионов при участии нитратредуктазы

БАЛЛ	1	2	3	4
АЗОТ мг на 1 кг сока	100 	250 	500 	1000 
ФОСФОР мг на 1 кг сока	16 	40 	80 	160 
КАЛИЙ мг на 1 кг сока	600 	1500 	3000 	6000 
МАГНИЙ мг на 1 кг сока	40 	100 	200 	400 
ХЛОР мг на 1 кг сока	титрование			
	начало 		конец 	

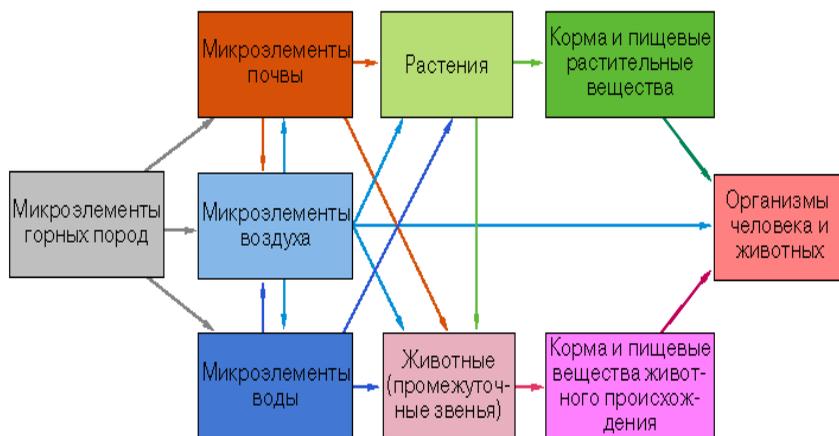
Шкала окрасок стандартных растворов



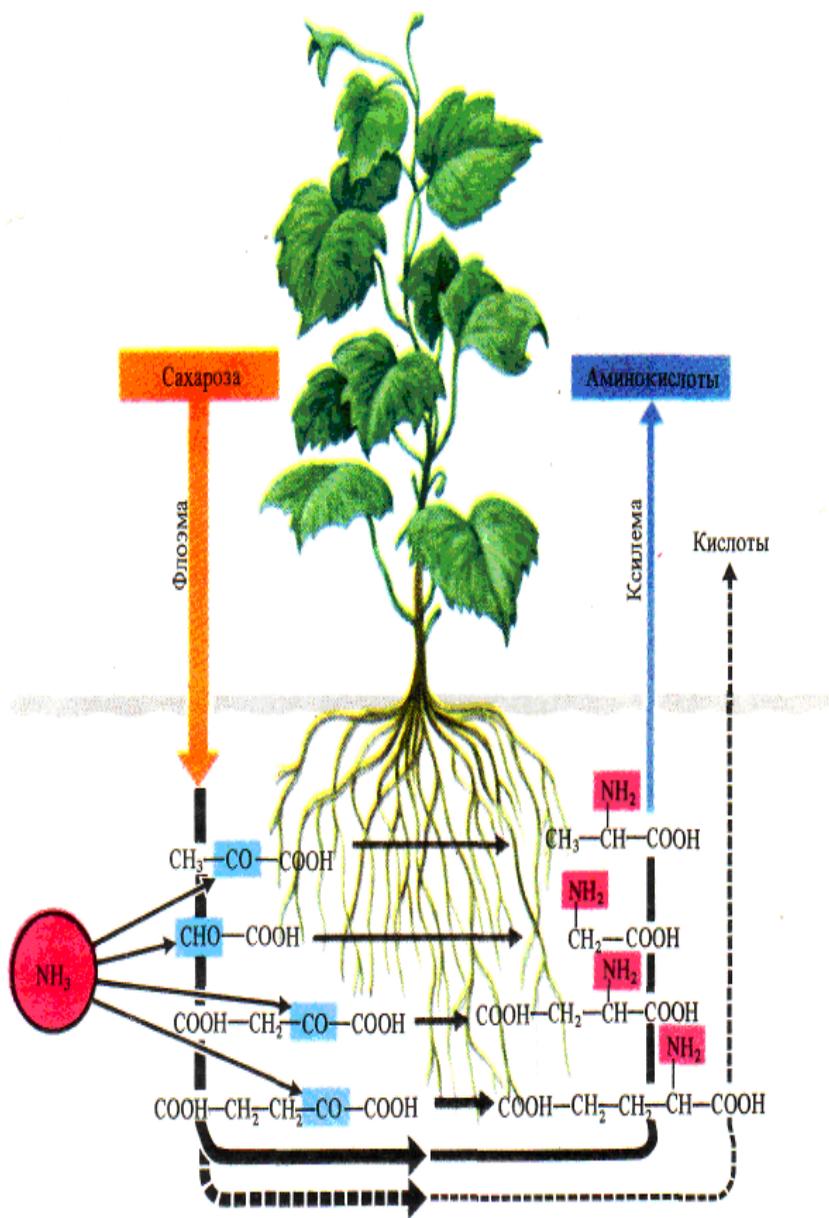
Влияние pH на доступность минеральных элементов для растений



Содержание макро- и микроэлементов в растении



Биогеохимические цепи микроэлементов



Круговорот веществ в растении

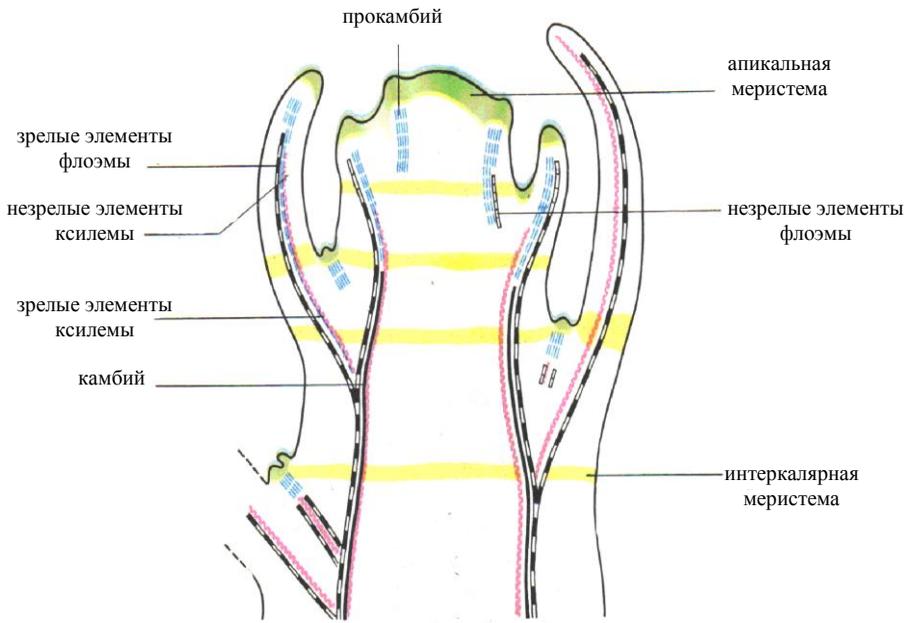
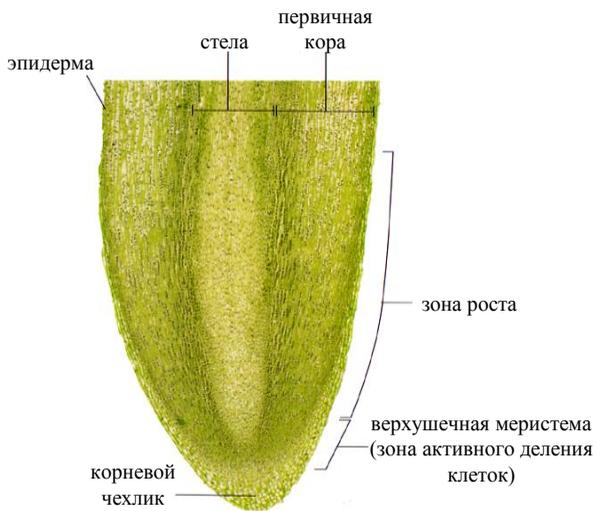
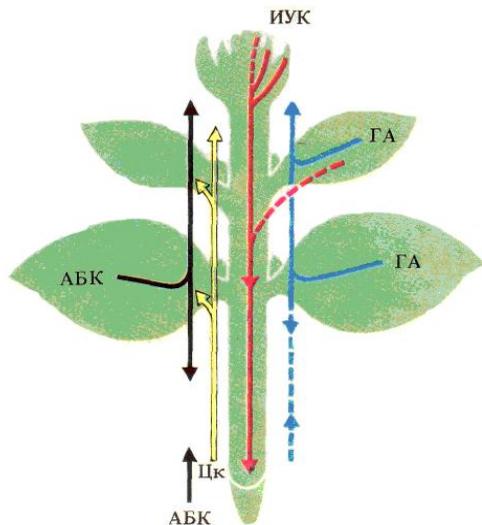


Схема распределения меристем в стебле



Кончик корня бобов русских в продольном разрезе (*Vicia faba* L.)



Основные места образования фитогормонов и направления их транспорта в вегетирующем растении

ИУК – индолилуксусная кислота; ГА – гиббереллины; Цк – цитокинины; АБК – абсцизовая кислота



Адаптивный ответ устойчивых и неустойчивых растений

ВОСКРЕСЕНСКАЯ Ольга Леонидовна
ГРОШЕВА Наталия Прокопьевна
СКОЧИЛОВА Елена Анатольевна

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Печатается в авторской редакции

Компьютерный набор
Л.В. Иванова, Е.А. Скочилова,
Е.В. Сарбаева

Компьютерная верстка
М.Г.Половникова

Тем. план 2007 г. № 196.

Подписано в печать 12.10.2007 г. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 8,60. Уч.-изд. л. 5,74. Тираж 500. Заказ № 2663.

Оригинал-макет подготовлен к печати в РИЦ и отпечатан ООП
ГОУВПО «Марийский государственный университет»
424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1