

Подписано электронной подписью:
Вержицкий Данил Григорьевич
Должность: Директор КГПИ ФГБОУ ВО «КемГУ»
Дата и время: 2024-02-21 00:00:00
471086fad29a3b30e244e728afe3661ab35c9d50210dcf0e75e03a5b6fdf6436
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Кемеровский государственный университет»
Новокузнецкий институт (филиал)
Кафедра естественнонаучных дисциплин

Л.Г. Горохова

Физиология растений

*Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине
для обучающихся по направлению подготовки
44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)*

Новокузнецк

2020

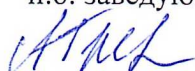
УДК 581.1
ББК 28.573
Г72

Горохова Л.Г.

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Физиология растений» для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки) / Л.Г.Горохова; Новокузнец. ин-т. (фил.) Кемеров. гос. ун-та. – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2020 - 48с.

В настоящих методических указаниях для студентов-бакалавров направления подготовки 44.03.01 Педагогическое образование и 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки) представлен теоретический материал и рекомендации по выполнению лабораторных занятий.

Рекомендовано
на заседании кафедры
естественнонаучных дисциплин
27 августа 2020г.
и.о. заведующего кафедрой

 А.Г. Жукова

Утверждено
методической комиссией факультета
физической культуры, естествознания и
природопользования
« 05 » октября 2020г.
Председатель комиссии

 Н.Т. Егорова

УДК 581.1
ББК 28.573
Г70

© Горохова Л.Г.
© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Кемеровский государственный университет»
Новокузнецкий институт (филиал), 2020

Текст представлен в авторской редакции

Содержание

Введение	5
Раздел 1. Физиология растительной клетки	6
Работа 1. Влияние анионов и катионов солей на форму и время плазмолиза	6
Работа 2. Наблюдение признаков повреждения клетки (повышение сродства к красителям; оструктурирование цитоплазмы и ядра)	7
Работа 3. Диагностика повреждения растительной ткани по увеличению проницаемости клеточных мембран	8
Контрольные вопросы	9
Раздел 2. Водобмен растений	10
Работа 4. Определение осмотического давления клеточного сока методом плазмолиза	10
Работа 5. Определение водного потенциала растительной ткани методом полосок по Лилиенштерн	12
Работа 6. Зависимость набухания семян от характера запасных веществ	14
Работа 7. Определение интенсивности транспирации у срезанных листьев при помощи торзионных весов по Л.А. Иванову	15
Работа 8. Сравнение транспирации верхней и нижней сторон листа хлоркобальтовым методом (по Шталю)	16
Работа 9. Влияние внешних условий на процесс гуттации	17
Контрольные вопросы	17
Раздел 3. Фотосинтез	18
Работа 10. Определение химических свойств пигментов листа	19
Работа 11. Оптические свойства пигментов	21
Работа 12. Фотосенсибилизирующее действие хлорофилла по Гуревичу	22
Работа 13. Образование крахмала на свету в листьях растений (проба Сакса)	24
Работа 14. Необходимость CO_2 для образования крахмала	25
Работа 15. Определение площади листьев	25
Контрольные вопросы	27
Раздел 4. Дыхание растений	28
Работа 16. Определение интенсивности дыхания семян в закрытом сосуде	29
Работа 17. Определение дыхательного коэффициента прорастающих семян	30
Работа 18. Обнаружение фермента дегидрогеназы в семенах гороха	31
Работа 19. Обнаружение пероксидазы в соке клубня картофеля	33
Работа 20. Определение активности каталазы в листьях	33
Контрольные вопросы	34
Раздел 5. Минеральное питание растений	35
Работа 21. Микрохимический анализ золы растений	36
Работа 22. Изучение взаимодействия ионов в ходе прорастания семян	37
Контрольные вопросы	37
Раздел 6. Рост и развитие растений	39

Работа 23. Наблюдение периодичности роста побега	40
Работа 24. Определение силы роста семян методом морфофизиологической оценки проростков	40
Работа 25. Изучение влияния индолилуксусной кислоты на укоренение черенков фасоли	41
Работа 26. Выявление апикального доминирования у гороха	42
Контрольные вопросы	43
Раздел 7. Приспособление и устойчивость растений	44
Работа 27. Выявление защитного действия сахаров на протоплазму	44
Работа 28. Изучение действия сахарозы на белки протоплазм при отрицательных температурах	46
Работа 29. Защитное действие сахара на протоплазму при низких температурах	46
Контрольные вопросы	47
Список литературы	48

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по изучению дисциплины «Физиология растений» подготовлены на основе Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования, в соответствии с учебными планами направлений подготовки 44.03.01 «Педагогическое образование» и 44.03.05 «Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)» и рабочей учебной программы по предмету.

Профессиональная подготовка по учебной дисциплине «Физиология растений» предполагает усвоение обучающимися сведений с учетом новых педагогических тенденций, обозначившихся в последнее время в сфере образования.

Физиология растений изучает процессы жизнедеятельности и функции растительного организма на всем протяжении его онтогенеза при всех возможных условиях внешней среды. Знание физиологии растений и ее законов имеет большое значение для человека, так как дает возможность управлять этими процессами и направлять их в желаемую сторону.

Лабораторные занятия по физиологии растений имеют цель закрепить и расширить знания студентов по теоретическому курсу, научить пониманию жизненных процессов и функций, происходящих на различных уровнях организации (клеточном, тканевом, организменном) растительного организма; ознакомить с основными физиологическими процессами, которые могут активно изменяться под влиянием экологических факторов воздействия, стресса и регулироваться человеком в направлении повышения продуктивности растений, привить навыки физиологического и экологического исследования.

В методических указаниях рассмотрены методы изучения физиологии и растительной клетки, водного обмена, фотосинтеза, дыхания, минерального питания, роста и развития, приспособления и устойчивости растений.

Методические указания содержат контрольные вопросы, задачи и рекомендуемую литературу.

РАЗДЕЛ 1. ФИЗИОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ

Растительная клетка – это структурная и функциональная единица всего живого. Это открытая динамическая система, которая обладает тремя важнейшими функциями: обменом веществ, обменом энергией и обменом информацией. Структурная основа протопласта растительной клетки – мембраны, поддерживающие постоянство среды в клетке и ее отдельных компартментах. Химической основой мембран служат белки и липиды.

Важнейший компонент клетки – ядро – хранит и передает наследственную информацию, заключенную в определенных нуклеотидных последовательностях молекулы ДНК. Хлоропласты и митохондрии – энергетические станции клетки, являются полуавтономными органеллами, обладающими своей отличной от ядерной, наследственной информацией. Каждая клеточная органелла выполняет незаменимую функцию. Единственные органеллы, не имеющие мембран – рибосомы, осуществляют синтез белков. Эндоплазматическая сеть переносит вещества и передает сигналы; аппарат Гольджи выполняет секреторную функцию, снабжая строительным материалом клеточную стенку; в сферосомах происходит синтез липидов, а в лизосомах – распад веществ с помощью гидролитических ферментов.

Взрослая растительная клетка имеет большую вакуоль с водным раствором органических и минеральных веществ. Концентрация этих веществ в клеточном соке и степень их диссоциации определяют потенциальное осмотическое давление клетки – ее способность всасывать воду.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема: Структура и свойства цитоплазмы

Цель: изучить структуру и свойства цитоплазмы.

Задачи: 1) изучить структуру цитоплазмы;

2) изучить свойства живой цитоплазмы – плазмолиз и избирательную проницаемость.

Работа 1. Влияние катионов и анионов солей на форму и время плазмолиза

Объект исследования: эпидермис пигментированной чешуи репчатого лука.

Материалы и оборудование: растворы солей: 0,7 М $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 1М KCNS , 1М KNO_3 . Микроскопы, предметные и покровные стекла, лезвия безопасной бритвы.

Вводные пояснения. *Плазмолиз* - это процесс отставания цитоплазмы от стенок клетки, помещенной в раствор с большей концентрацией солей, чем концентрация клеточного сока (гипертонический). В ходе плазмолиза вначале

цитоплазма отстает от клеточной стенки чаще всего в уголках. Плазмолиз такой формы называют *угловым*. Затем протопласт продолжает отставать от клеточных стенок, сохраняя связь с ними в отдельных местах, поверхность протопласта между этими точками имеет вогнутую форму – *вогнутый плазмолиз*. Постепенно протопласт отрывается от клеточных стенок по всей поверхности и принимает округлую форму – *выпуклый плазмолиз*.

Прямым показателем физико-химического состояния протопласта является вязкость, чем она выше, тем медленнее наступает плазмолиз. Показателем, характеризующим ответную реакцию цитоплазмы на воздействие отдельных солей, служит время плазмолиза. *Плазмолитик* – вещество, вызывающее плазмолиз. *Время плазмолиза* – это время с момента погружения ткани в раствор соли до появления выпуклого плазмолиза (примерно у половины клеток в поле зрения микроскопа). Этот показатель может характеризовать вязкость цитоплазмы: чем больше время плазмолиза, тем выше ее вязкость.

Порядок выполнения работы.

Срез эпидермиса с выпуклой стороны чешуи цветного лука помещают в каплю раствора соли (по таблице 1) на предметном стекле, покрывают покровным стеклом и следят за сменой форм плазмолиза от вогнутого до выпуклого. Определяют время плазмолиза в каждой соли. Этот показатель характеризует вязкость цитоплазмы: чем больше время плазмолиза, тем выше вязкость. Результаты опыта записать в таблицу 1.

Таблица 1 - Влияние анионов и катионов солей на форму и время плазмолиза

Соль	Концентрация раствора, М	Время погружения ткани в раствор	Время наступления выпуклого плазмолиза	Время плазмолиза, мин.
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0,7			
KNO_3	1,0			
KCNS	1,0			

Зарисовать отдельные клетки с разной формой плазмолиза.

Сделать вывод о влиянии катионов и анионов солей на вязкость цитоплазмы.

Работа 2. Наблюдение признаков повреждения клетки (повышение сродства к красителям; оструктурирование цитоплазмы и ядра)

Объект исследования: луковица с бесцветными чешуями.

Материалы и оборудование: раствор нейтрального красного (1:1000), 1М раствор KNO_3 , 10%-ный раствор аммиака. Микроскопы, предметные и покровные стекла, пинцеты, стеклянные палочки, препаровальные иглы,

скальпель.

Вводные пояснения. Цитоплазма обладает сложной прижизненной структурой, с которой связаны ее свойства и функции. Важнейшее из этих свойств – *избирательная проницаемость*. Из витальных красителей для оценки жизнеспособности клеток чаще всего используют нейтральный красный, т.к. его молекулы не задерживаются в цитоплазме живой растительной клетки, а активно выделяются в вакуоль. Поэтому у живых клеток краситель накапливается в вакуоли, а ядро и цитоплазма остаются неокрашенными. У мертвых клеток, наоборот, цитоплазма в меньшей степени и в большей степени ядро адсорбируют краситель, а в вакуолярный сок он не попадает.

Порядок выполнения работы.

Кусочек эпидермиса бесцветной чешуи луковицы выдерживают в растворе нейтрального красного в течение 20 минут. Окрашенный кусочек эпидермиса помещают на предметное стекло в каплю воды, накрывают покровным стеклом и рассматривают под микроскопом. Не снимая препарат со столика микроскопа, фильтровальной бумагой отсасывают воду из-под покровного стекла и чтобы проследить за изменениями в клетке, вводят раствор 1М нитрата калия, после этого наблюдается плазмолиз клеток, следовательно, клетки живые. Чтобы проследить за изменениями в клетке при ее повреждении и гибели, применяют яд - аммиак. Из-под покровного стекла нитрат калия отсасывают фильтровальной бумагой и заменяют его раствором 10% аммиака. Окраска среза становится желтой, так как в присутствии аммиака кислая реакция клеточного сока изменилась на щелочную (в щелочной среде нейтральный красный имеет желтый цвет).

Зарисовать:

- | | |
|--|---|
| 1. Живые клетки, накопившие красители в вакуоли: | 2. Мертвые клетки с окрашенным ядром и цитоплазмой: |
| 3. Плазмолизированные клетки: | 4. Убитые аммиаком клетки: |

Сделать вывод о признаках повреждения и гибели клетки.

Работа 3. Диагностика повреждения растительной ткани по увеличению проницаемости клеточных мембран

Объект исследования: корнеплод красной столовой свеклы.

Материалы и оборудование: 30%-ный раствор уксусной кислоты, хлороформ, 50%-ный раствор спирта, 1М раствор KNO_3 . Штативы с пятью пробирками, сверла, ножи, линейки, градуированные пипетки на 10 мл, предметные и покровные стекла, микроскопы, спиртовка.

Вводные пояснения. *Избирательная проницаемость* – свойство живой цитоплазмы сохранять постоянство внутриклеточной среды (гомеостаз).

Живая клетка с неповрежденными слоями цитоплазмы (плазмалемма и тонопласт) непроницаема для антоциана, находящегося в клеточном соке вакуоли. Если клетка убита, полупроницаемость слоев цитоплазмы нарушается и антоциан легко выходит наружу. Интенсивность выхода антоциана из клетки служит критерием ее повреждения.

Порядок выполнения работы.

Из очищенного корнеплода красной столовой свеклы сверлом диаметром 0,7 – 0,8 см вырезают кусочки толщиной 3 – 4 см, тщательно промывают под струей водопроводной воды и помещают по одному в пять пробирок, содержащих по 10 мл растворов (в соответствии со схемой опыта). Вторую пробирку с водой кипятят и в нее помещают кусочек свеклы. Через 30 минут после начала опыта все пробирки интенсивно встряхивают и сравнивают (визуально) количество вышедшего из клеток пигмента в разных вариантах опыта по 5-ти балльной системе. Результаты наблюдений записать в таблицу 2.

Таблица 2 - Выход антоциана из клеток корнеплода красной столовой свеклы под действием повреждающих агентов

Окраска в баллах	Контроль (водопро- водная вода)	Кипячение (водопров одная вода)	Водопровод ная вода + 6 капель хлороформа	30%-ный раствор уксусной кислоты	50% -ный раствор спирта
1					
2					
3					
4					
5					

Сделать вывод о степени повреждения цитоплазмы под действием повреждающих агентов.

Контрольные вопросы

1. Специфические особенности растительной клетки.
2. Клеточная оболочка (стенка) - ее строение и функции.
3. Вакуоль - строение и функции.
4. Структура и функции протоплазмы: цитоплазма - строение и коллоидные свойства.
5. Биологические мембраны, их структура и функции. Модели мембран.
6. Ядро, его организация и функции.
7. Органеллы растительной клетки (эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи, пластиды, митохондрии, рибосомы, сферосомы, лизосомы, пероксисомы, глиоксисомы), структура и функции.
8. Цитоскелет (микротрубочки, микрофиламенты) - строение, функции.
9. Регуляция жизненных функций и системы обеспечения гомеостаза.

РАЗДЕЛ 2. ВОДООБМЕН РАСТЕНИЙ

Вода является главной составной частью растений. Вода - это среда, в которой протекают процессы обмена веществ. Все реакции гидролиза, окислительно-восстановительные реакции идут с участием воды. Вода служит источником кислорода, выделяемого при фотосинтезе, и водорода, используемого для восстановления углекислого газа. Вода поддерживает конформацию молекул белка, устойчивость структур цитоплазмы и оболочки клеток в упругом состоянии. С изменением тургорного давления связаны некоторые движения частей растений. Вода участвует в поглощении и транспорте веществ, так как является хорошим растворителем. Вода обладает высокой теплоемкостью, что позволяет растению воспринимать изменения температуры окружающей среды в смягченном виде.

Водный баланс растения складывается из двух процессов: поглощения и испарения воды. Поглощение воды осуществляется за счет набухания коллоидов, электролитических сил, осмотических свойств клетки. В передвижении воды участвуют нижний концевой двигатель - корневое давление, верхний - транспирация, а также силы адгезии и когезии. Потеря воды в основном осуществляется за счет кутикулярной и устьичной транспирации.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: Осмотические свойства растительной клетки

Цель: изучить осмотические свойства растительной клетки

Задачи: 1) познакомиться с методом определения осмотического давления;
2) познакомиться с методом определения водного потенциала.

Работа 4. Определение осмотического давления клеточного сока методом плазмолиза

Объект исследования: луковица с пигментированными чешуями.

Материалы и оборудование: 1М раствор KNO_3 или сахарозы. Микроскопы, предметные и покровные стекла, бюксы, лезвия, градуированные пипетки на 10 мл, пробирки, препаровальные иглы, часы, фильтровальная бумага.

Вводные пояснения. Растительную клетку можно рассматривать как осмотическую систему, в которой роль полупроницаемой мембраны выполняет цитоплазма, прежде всего, плазмалемма и тонопласт, а роль осмотически деятельного раствора - клеточный сок (водный раствор органических и неорганических веществ), находящийся в вакуоли.

Потенциальное осмотическое давление выражает максимальную способность клетки всасывать воду. Повышение осмотического давления при засухе служит критерием обезвоживания растений и необходимости полива. Потенциальное осмотическое давление зависит от числа частиц, находящихся в этом растворе, т.е. от концентрации и степени диссоциации растворенных молекул. Согласно теории электролитической диссоциации, при растворении в воде электролиты распадаются (диссоциируют) на положительно и отрицательно заряженные ионы, т.е. катионы, например, ионы водорода и металлов и анионы, к которым принадлежат ионы кислотных остатков и гидроксид-ионы.

Данный метод основан на подборе такой концентрации наружного раствора, которая вызывает самый начальный (угловой плазмолиз) в клетках исследуемой ткани. В этом случае осмотическое давление раствора примерно равно осмотическому давлению клеточного сока. Такой наружный раствор называют *изотоническим*.

Порядок выполнения работы.

В пробирках готовят по 10 мл растворов согласно форме таблицы 4. Для опыта взять 1М раствор KNO_3 (или сахарозы) и с помощью разбавления дистиллированной водой получить нужную концентрацию. Приготовленные растворы тщательно перемешивают и закрывают крышками, предохраняя от испарения. Пробирки с растворами ставят в ряд по убывающей концентрации, сделав на них соответствующие метки. Лезвием безопасной бритвы делают тонкие срезы с выпуклой поверхности пигментированной чешуи луковицы из среднего хорошо окрашенного участка. В каждый бюкс, начиная с высокой концентрации, опускают по 1 - 2 среза с интервалом 3 мин. Через 30 минут после погружения срезов в первый бюкс их исследуют под микроскопом. Затем через 3 мин. наблюдают срезы из последующих бюксов. Таким способом достигают равную продолжительность пребывания срезов в растворах плазмолитика.

Рассматривать срезы под микроскопом следует в капле из той же пробирки, где находился срез и определяют степень плазмолиза клеток в каждом растворе и находят изотоническую концентрацию как среднее арифметическое между концентрацией, при которой наблюдался плазмолиз, и концентрацией, которая его уже не вызывает.

Результаты опыта записать в таблицу 4.

Зная изотоническую концентрацию наружного раствора, вычисляют потенциальное осмотическое давление клеточного сока ($P_{\text{осм.}}$) по формуле:

$$P_{\text{осм.}} = R T c i 101,3 == \text{КПа},$$

где R - газовая постоянная, равная 0,0821 л атм/град моль;

T - абсолютная температура по Кельвину ($273^\circ\text{C} + \text{комнатная}$);

c - изотоническая концентрация, моль;

i - изотонический коэффициент Вант-Гоффа, характеризующий ионизацию растворов, вычисляется по формуле: $i = 1 + \alpha (n - 1)$, где α - степень диссоциации раствора данной концентрации; n - число ионов, на которое

диссоциирует соль (таблица 3). Так как неэлектролиты недиссоциируют, для сахарозы $i = 1$.

101,3 - множитель для перевода атмосфер в килопаскали.

Таблица 3 - Степень диссоциации KNO_3 разной концентрации

Конц.	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$\alpha (KNO_3)$	0,71	0,74	0,76	0,79	0,83

В зависимости от вязкости цитоплазмы в клетках чешуи репчатого лука осмотическое давление варьирует, как правило, от 300 до 1300 кПа.

Таблица 4 - Определение осмотического давления клеточного сока методом плазмолиза

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

Сделать вывод о полученном осмотическом давлении, которое определено с помощью метода плазмолиза.

Работа 5. Определение водного потенциала растительной ткани методом полосок по Лилиенштерн

Объект исследования: клубень картофеля.

Материалы и оборудование: растворы сахарозы 0,5М, 0,4М, 0,3М, 0,2М, 0,1М (или $NaCl$, KNO_3), скальпель, миллиметровая линейка, пинцет, бюксы.

Вводные пояснения. Водный потенциал (Ψ_{H_2O}) характеризует сосущую силу растительной ткани. Его величина зависит от разности химических потенциалов воды в клетке и чистой воды. Водный потенциал имеет отрицательный знак и, чем он ниже, тем сильнее обезвожена растительная клетка, поэтому этот показатель используют для выбора правильного времени полива для конкретных культур различных почвенно-климатических зон.

Метод полосок основан на подборе наружного раствора такой концентрации, при погружении в который длина полоски растительной ткани не меняется. Если водный потенциал наружного раствора выше водного потенциала растительной ткани, то клетки, всасывая воду из раствора, увеличиваются в объеме, и длина полосок возрастает, если же он ниже, то раствор отнимает воду от клеток, в результате чего их объем и длина полоски уменьшается. В растворе, у которого водный потенциал равен водному потенциалу растительной ткани, длина полосок не изменяется.

Порядок выполнения работы.

Из клубня картофеля вырезают 10 одинаковых полосок длиной 3 - 4 см и сечением 4 мм² или широким сверлом вырезают цилиндр ткани, а затем его разрезают на диски, толщиной в 2 мм. Очень точно измеряют длину полосок или диаметр дисков, после чего их помещают в растворы, приготовленные также как и для определения потенциального осмотического давления (см. работу 4). Полоски ткани выдерживают в растворах 20 минут, затем вынимают и вновь измеряют их длину или диаметр. Для расчета величины водного потенциала берут во внимание концентрацию раствора, в котором длина полосок не изменилась. Результаты записать в таблицу 5. Величину водного потенциала рассчитать по формуле: $\Psi_{H_2O} = - P_{осм.} = - R T C I 101,3 = -$ кПа

Таблица 5 - Определение водного потенциала растительной ткани методом Лилиенштерна

Концентрация сахарозы, М	На 10 мл раствора		Длина полоски		Концентрация, при которой длина не меняется	Водный потенциал, кПа
	сахароза, мл	вода, мл	до погружения	после погружения		
0,6	6	4				
0,5	5	5				
0,4	4	6				
0,3	3	7				
0,2	2	8				
0,1	1	9				

Сделать вывод о водном потенциале, определенном с помощью метода Лилиенштерна.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: Поглощение, передвижение и выделение воды растением

Цель: изучить водный обмен растений.

Задачи: 1) познакомиться со способностью семян различных культур к поглощению воды в зависимости от степени набухания коллоидов;
2) изучить методы определения интенсивности транспирации (по Л.А. Иванову и Шталю);
3) познакомиться с процессом гуттации.

Работа 6. Зависимость набухания семян от характера запасных веществ

Объект исследования: семена пшеницы, гороха и других культур.

Материалы и оборудование: весы, химические стаканы на 100 мл, фильтровальная бумага.

Вводные пояснения. При соприкосновении с влажным субстратом сухие семена быстро поглощают воду и увеличиваются в объеме из-за набухания белков, крахмала и других гидрофильных коллоидов, у некоторых семян возникает большое осмотическое давление (до 100 МПа). В основе набухания (гидратации коллоидов) - взаимодействие веществ с водой, приводящее к уменьшению ее подвижности. Главную роль в процессе набухания играют белки – наиболее гидрофильные вещества, гидратация их включает притяжению диполей воды ионизированными группами белка ($-\text{COO}^-$ и $-\text{NO}_3^+$).

Порядок выполнения работы.

Растительная клетка может поглощать воду не только осмотическим путем, но и в результате набухания коллоидов. Сила, с которой коллоиды притягивают воду, зависит от их состава. Наиболее гидрофильны белки. Поэтому процессы набухания семян при прорастании будут зависеть от содержания в них запасных веществ. Навески (2 - 5 г) семян пшеницы, гороха и других растений поместить в стаканчики с водопроводной водой (100 мл). Через 2 - 3 часа семена обсушить. Результаты записать в таблицу 6.

Таблица 6. Зависимость процесса набухания семян от содержания запасных веществ

Культура	Масса, г		Изменение массы, %	Объем воды, мм		Изменение объема, %
	исходная	после набухания		исходный	после набухания	

Сделать вывод о зависимости набухания семян от содержания запасных веществ.

Работа 7. Определение интенсивности транспирации у срезанных листьев при помощи торсионных весов по Л.А. Иванову

Объект исследования: листья растений различных экологических групп, десятидневные проростки ржи и пшеницы.

Материалы и оборудование: торсионные весы, охладитель воздуха, ножницы, подставки для подвешивания растений.

Вводные пояснения. *Интенсивность транспирации* – количество воды, испаренное единицей поверхности растения за единицу времени. Основным методом определения интенсивности транспирации является весовой метод. Метод основан на учете изменения массы срезанного транспирирующего листа за короткие промежутки времени. При этом у растений, выросших в естественных условиях, можно определить потерю в весе 15...250 г/м² ч.

Порядок выполнения работы.

Срезают лист, надевают на крючок торсионных весов. Быстро взвешивают. Таким образом взвешивают листья одного и того же яруса с пяти - десяти растений. Через 5 минут после взвешивания первого листа повторно взвешивают все листья в первоначальном порядке. Рассчитывают количество воды, испарившейся из 1 г сырых листьев за 1 ч. В качестве варианта можно использовать различные листья или создавать экстремальные условия: сухой ветер, жару. Результаты записывают в таблицу 7.

Таблица 7 - Определение интенсивности транспирации срезанных листьев

Вариант опыта	Масса листьев, мг	Повторность										Суммарная масса 10 листьев, мг	Потеря воды 10 листьями, мг	Интенсивность транспирации, мг/г ч
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
	Начальная													
	Через 5 минут													

Сделать вывод об интенсивности транспирации срезанных листьев.

Работа 8. Сравнение транспирации верхней и нижней сторон листа хлоркобальтовым методом (по Шталю)

Объект исследования: растения различных экологических групп.

Материалы и оборудование: хлоркобальтовые полоски, канцелярские скрепки, часы, микроскопы, стекла предметные и покровные, пинцеты, капельницы с водой, лезвия безопасной бритвы, препаровальные иглы.

Вводные пояснения. Устьичная щель образуется между двумя замыкающими клетками полулунной или бобовидной формы с утолщенными внутренними (прилегающие к щели) стенками. При насыщении замыкающих клеток водой более тонкие наружные стенки их растягиваются, кривизна клеток увеличивается и щель раскрывается. Поэтому чем более клетки насыщены водой, тем шире раскрыты устьичные щели. При недостатке воды в растении, стенки замыкающих клеток лишены тургора, между ними не образуется устьичная щель. Следовательно, основным фактором, вызывающим движение замыкающих клеток устьиц, является содержание воды в листе.

Метод кобальтовой пробы основан на изменении цвета фильтровальной бумажки, пропитанной хлористым кобальтом, при поглощении ею паров воды. По времени, необходимому для перехода окраски кобальтовой бумажки из голубой (цвет сухого CoCl_2) в розовую (цвет $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), судят об интенсивности транспирации растений.

Порядок выполнения работы.

Хлоркобальтовую бумагу на полиэтиленовой подложке прикладывают к верхней и нижней сторонам листа, укрепляют канцелярской скрепкой. Наблюдают, через сколько минут порозовеет бумага на обеих сторонах листа. По скорости порозовения определяют, с какой стороны листа испарение идет быстрее. Исследуют под микроскопом эпидермис верхней и нижней сторон листа и подсчитывают количество устьиц в поле зрения микроскопа. Результаты опыта заносят в таблицу 8.

Таблица 8 - Интенсивность транспирации листьев

Сторона листа	Период наблюдения		Время, за которое порозовеет бумага, мин.	Число устьиц в поле зрения микроскопа	
	начало	конец		отдельные подсчеты	среднее арифметическое
Верхняя					
Нижняя					

Сделать вывод о причинах различной интенсивности транспирации сторон листа данного растения.

Работа 9. Влияние внешних условий на процесс гуттации

Объект исследования: 5 - 8-дневные проростки зерновых культур, выращенных в стаканах с песком.

Материалы и оборудование: Стеклянные колпаки, лед или снег, термометр, плитка, фильтровальная бумага, стакан на 250 мл, кристаллизаторы.

Вводные пояснения. Корневая система не только всасывает воду из почвы, но и активно нагнетает ее в стебель с определенной силой – корневым давлением. Корневое давление обнаруживается по «плачу» растений (выделение сока (пасоки) на порезанных участках стебля) и гуттации (выделение капель воды на кончиках листьев при высокой влажности воздуха).

Порядок выполнения работы.

Для опыта нужно взять четыре сосуда с одинаковыми проростками злаковых, обильно политыми теплой водой, и поместить в условия, согласно схеме, указанной в таблице 9.

Таблица 9 - Определение гуттации в различных условиях внешней среды

Вариант опыта	Условия опыта	Наличие гуттации
1.	Под колпаком при температуре 0°C (в кристаллизаторе со снегом)	
2.	Под колпаком при комнатной температуре	
3.	Под колпаком (в чашке с теплой водой, нагретой до 35°C)	
4.	Без колпака при комнатной температуре	

Сделать вывод о влиянии внешних условий на процесс гуттации.

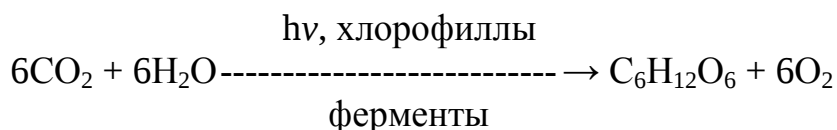
Контрольные вопросы

1. Значение воды в жизни растений.
2. Молекулярная структура и физические свойства воды.
3. Термодинамические показатели, определяющие поведение воды: активность воды, химический потенциал, водный потенциал.
4. Поглощение воды клеткой (набухание биокolloидов, осмоявления).
5. Механизм передвижения воды по растению. Пути ближнего и дальнего транспорта. Значение сил молекулярного сцепления.
6. Корневое давление, механизм его развития и значение в жизни растений.
7. Транспирация, ее физиологическое значение. Виды транспирации: кутикулярная и устьичная.
8. Строение устьиц и механизмы регуляции устьичных движений.
9. Количественные показатели транспирации: интенсивность, продуктивность, транспирационный коэффициент.
10. Влияние внешних факторов на интенсивность транспирации. Суточный ход транспирации.

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

РАЗДЕЛ 3. ФОТОСИНТЕЗ

Фотосинтез зелёных растений представляет собой окислительно-восстановительные реакции, в результате которых происходит синтез органических веществ из углекислоты и воды за счёт энергии света, поглощаемого пигментами листа. В общем виде уравнение фотосинтеза выглядит так:



Фотосинтез происходит в хлоропластах, которые окружены двумя белково-липидными мембранами. Хлоропласт включает систему внутренних мембран - ламелл, образующих стопки тилакоидов - граны. В тилакоидах осуществляются световые реакции фотосинтеза. В поглощении света участвуют 2 пигментные системы; ПС-1 с хлорофиллом P_{700} в реакционном центре, ПС-2 с хлорофиллом P_{680} в реакционном центре. Пигментные системы в комплексе с компонентами электронно-транспортной цепи осуществляют фотосинтетическое фосфорилирование, а ПС-2, кроме того, фотоокисление воды. В результате фотохимических реакций световой фазы происходит преобразование энергии лучей света в химическую энергию молекул АТФ и НАДФ- H_2 .

Биохимические реакции восстановления углекислого газа и синтеза углеводов (темновая фаза фотосинтеза) проходят на ламеллах стромы при участии большого количества ферментов и наличии АТФ и НАДФ- H_2 . Продукты фотосинтеза транспортируются во все органы растений и используются на процессы роста и развития, могут откладываться в запас. Таким образом, значение фотосинтеза заключается в обеспечении клетки энергией АТФ. Другая роль фотосинтеза состоит в пополнении клетки строительным материалом в виде промежуточных продуктов цикла Кальвина. И, наконец, при фотосинтезе выделяется кислород.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Тема: Пигменты фотосинтезирующих систем: химические и оптические свойства

Цель: изучить строение, химические и оптические свойства пигментов листа.

Задачи: 1) познакомиться с двумя видами пигментов высших растений:

- хлорофиллами и каротиноидами, освоить методы их извлечения;
- 2) изучить основные химические свойства пигментов листа;
 - 3) изучить оптические свойства пигментов листа.

Работа 10. Изучение химических свойств пигментов листа

Объект исследования: свежие и сухие листья различных растений.

Материалы и оборудование: этиловый спирт, бензин, 20%-ный раствор NaOH, 10%-ный раствор соляной кислоты в капельнице, уксуснокислый цинк или медь, спиртовка, водяная баня, штативы с пробирками, воронки, фильтровальная бумага, фарфоровая ступка, водяная баня, пипетки на 1 мл.

1. Получение спиртового раствора (вытяжки) пигментов.

Порядок выполнения работы.

Листья мелко нарезают, растирают в фарфоровой ступке, добавив в неё 3 - 4 мл 96%-ного спирта. Можно добавить туда также немного кварцевого песка для того, чтобы удобнее было перетирать растительную ткань. В полученную массу прибавляют еще 8 - 10 мл спирта и продолжают растирать до появления интенсивного зелёного окрашивания. Полученную массу фильтруют через складчатый фильтр в сухую пробирку и получают спиртовую вытяжку (экстракт) смеси пигментов листа, имеющую интенсивную зелёную окраску, которую используют для выполнения всех последующих работ по данной теме.

2. Разделение пигментов по Краусу.

Вводные пояснения. Один из первых методов разделения пигментов был предложен немецким ученым Краусом в 1860 г. Метод основан на различной растворимости пигментов в спирте и бензине. Данные растворители в одном сосуде не смешиваются, а образуют две фазы - верхнюю бензиновую и нижнюю спиртовую. По мере расслоения эмульсии бензиновый слой будет окрашиваться в зеленый цвет из-за лучшей растворимости в нем хлорофиллов. В бензин переходит и каротин, но его окраска маскируется окраской хлорофилла. Ксантофилл остается в спиртовом слое, так как он лучше, чем каротин, растворим в спирте и придает ему золотисто-желтую окраску.

Порядок выполнения работы.

В пробирку наливают 3 мл спиртовой вытяжки пигментов, прибавляют 4 мл бензина и 2 - 3 капли воды. Пробирку сильно встряхивают, дают отстояться. Зарисовывать картину распределения пигментов в системе спирт-бензин.

Сделать вывод о различной растворимости пигментов в спирте и бензине.

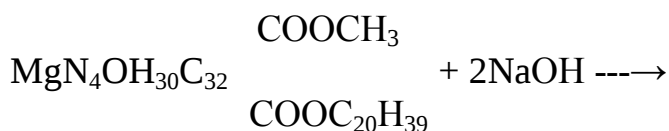
3. Омыление хлорофилла щёлочью.

Вводные пояснения. Обработка хлорофилла щелочью может вызывать омыление эфирных связей, т.е. отщепление остатков метилового спирта и фитола. Образующаяся при этом соль хлорофиллиновой кислоты сохраняет

зеленую окраску, но отличается от хлорофилла большей гидрофильностью. После омыления хлорофилла в верхний бензиновый слой переходят желтые пигменты каротин и ксантофилл, а в нижний спиртовой слой - соль хлорофиллина, которая окрасит его в зеленый цвет.

Порядок выполнения работы.

В пробирку наливают 3 мл спиртовой вытяжки пигмента, добавляют 1мл 20%-ного раствора КОН и взбалтывают. Затем пробирку нагревают в кипящей водяной бане, к охлажденному раствору добавляют равный объем бензина, 2 - 3 капли воды, встряхивают и дают отстояться. Записать уравнение реакции омыления.



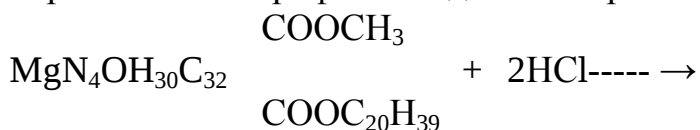
Сделать вывод о взаимодействии хлорофилла со щелочью.

4. Получение феофитина и обратное замещение водорода атомом металла.

Вводные пояснения. Феофитин присутствует в растениях в незначительных количествах, но выполняет важную функцию в цепи переноса электронов. При взаимодействии хлорофилла с кислотой атом магния в нем замещается атомами водорода, в результате образуется нестойкое соединение бурого цвета - феофитин. Если к его раствору добавить несколько кристалликов ацетата меди $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}$ и осторожно подогреть, то можно наблюдать восстановление зеленой окраски раствора. В этом случае ионы металла вытесняют водород в молекуле феофитина и занимают центральное положение в его молекуле, образуя очень стойкое соединение металлозамещенный хлорофилл (хлорофиллоподобное замещение меди).

Порядок выполнения работы.

В две сухие пробирки наливают по 2 - 3 мл спиртовой вытяжки пигментов, прибавляют по 1 - 2 капли 10%-ной соляной кислоты. Содержимое пробирок осторожно взбалтывают. При этом зелёная окраска раствора, обусловленная наличием хлорофилла, переходит в бурую. Это означает, что под действием кислоты из хлорофилла образуется феофитин. Оставив одну пробирку с феофитином для контроля, во вторую вносят несколько кристаллов уксуснокислого цинка и осторожно нагревают на спиртовке. После нагревания бурый цвет раствора меняется на зеленый в результате образования хлорофиллоподобного производного цинка.



Сделать вывод о действии кислоты на хлорофилл.

Работа 11. Наблюдение оптических свойств пигментов

Объект исследования: спиртовая вытяжка пигментов листа, раствор каротина и ксантофилла (бензиновый слой, полученный после омыления хлорофилла).

Материалы и оборудование: спектроскоп, пипетки на 1 мл, пробирки, лампа на 300 Вт, темная бумага.

Вводные пояснения. В процессе фотосинтеза световая энергия перед преобразованием в химическую должна быть поглощена пигментами (поглощают свет видимой части спектра 380...720 нм, поэтому название излучения этой области спектра – ФАР или фотосинтетически активная радиация). Пигменты поглощают видимый свет избирательно, т.е. каждый пигмент имеет свой характерный спектр поглощения. К.А. Тимирязев доказал, что хлорофиллы а и b имеют два максимума поглощения в красной области, соответственно 660 и 640 нм и в сине-фиолетовой – 430 и 450 нм. Минимум поглощения лежит в зоне зеленых лучей. Этим и объясняется зеленая окраска пигментов.

Каротиноиды (каротины и ксантофиллы) поглощают свет только сине-фиолетовой части спектра. Оптические свойства пигментов определяются особенностями их химической структуры. В молекулах хлорофиллов и каротиноидов существует система конъюгированных (сопряженных) двойных связей. Скелет системы составляют атомы углерода, соединенные между собой простыми (двухэлектронными) ковалентными связями – σ -электронами. В образовании двойных связей помимо σ -электронов участвуют два π -электрона, не связанные с определенными атомами углерода, поэтому могут перемещаться по всей молекуле, образуя делокализованное электронное облако. Возбуждение π -электронов может осуществляться за счет квантов видимого света. В молекулах хлорофиллов и каротиноидов система конъюгированных двойных связей определяет поглощение сине-фиолетовых лучей. Присутствие атома магния в ядре обуславливает большее усиление поглощения в красной области и ослабление в зеленой и желтой областях спектра.

Порядок выполнения работы.

Спектроскоп устанавливают по отношению к свету так, чтобы все области спектра имели одинаковую яркость. Пробирку со спиртовой вытяжкой пигментов помещают перед щелью спектроскопа и определяют положение темных полос, которые соответствуют лучам, поглощаемым, главным образом, хлорофиллом. Ширина полос зависит от концентрации пигмента, поэтому рекомендуется сравнить спектры поглощения концентрированных и разбавленных растворов хлорофилла. Вытяжку хлорофилла разбавляют спиртом в отношении 1:3.

Затем изучают спектр поглощения выделенных из смеси каротиноидов. Для этого используют бензиновый слой, в который перешли каротин и

ксантофилл, после омыления хлорофилла, переносят некоторое количество жидкости с помощью пипетки в сухую пробирку, рассматривают спектр поглощения, поместив пробирку перед щелью спектроскопа.

Зарисовывают в таблице 10 спектры поглощения пигментов.

Таблица 10 - Спектры поглощения пигментов

Пигменты	Ф	С	Г	З	Ж	О	К
Хлорофилл (конц.)							
Хлорофилл (1:3)							
Каротиноиды							

Сделать вывод о характере спектра поглощения хлорофилла и о зависимости качества спектра от концентрации хлорофилла.

Работа 12. Фотосенсибилизирующее действие хлорофилла на реакцию переноса водорода по Гуревичу

Объект исследования: спиртовая вытяжка пигментов листа.

Материалы и оборудование: метиловый красный (насыщенный раствор в этиловом спирте), аскорбиновая кислота (кристаллическая), градуированные пипетки на 1 и 10 мл, пробирки, штативы, электрическая лампа на 300 Вт.

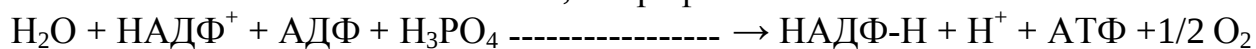
Вводные пояснения. Сущность световой стадии фотосинтеза заключается в окислении воды до молекулярного кислорода при помощи лучистой энергии, поглощенной хлорофиллом. Освобождающиеся при этом электроны передаются на НАДФ⁺, который восстанавливается до НАДФ-Н. В переносе электронов воды на НАДФ⁺ участвуют последовательно две фотосистемы: фото- система II (ФС II) и фотосистема I (ФС I).

Каждая фотосистема включает в себя светособирающие комплексы (ССК), которые содержат различные формы хлорофилла, каротиноиды и реакционные центры (РЦ), содержащие молекулы хлорофилла а с максимумами поглощения, соответственно, 700 (Р 700) и 680 (Р 680) нм и акцепторы электронов. ССК направляют энергию возбуждения к РЦ. Фотоокисление воды и выделение кислорода происходят в ходе реакций, протекающих в ФС II, тогда как НАДФ⁺ восстанавливается в ФС I. Фотосистемы связаны друг с другом последовательность переносчиков электронов, образующих между ними «мост», идущий как бы «под гору». В результате электроны от воды проделывают Z-образный путь. Синтезируется АТФ из АДФ и фосфата.

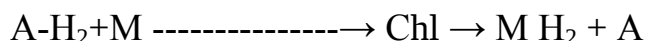
Таким образом, конечный этап фотоокисления воды – выделение молекулярного кислорода и образование богатых энергией и восстановительной силой соединений – АТФ и НАДФ-Н. необходимых для последующего восстановления диоксида углерода.

Схематично фотолиз воды можно представить следующим образом:

свет, хлорофилл



Из уравнения видно, что хлорофилл выполняет здесь функцию фотосенсибилизатора, способствующего переносу электрона к НАДФ⁺ (от донора к акцептору). Эту функцию хлорофилла легко наблюдать в лабораторных условиях, если в качестве донора электронов взять аскорбиновую кислоту, а акцептора - метиловый красный. В растворе вытяжки хлорофилла на свету происходит восстановление метилового красного (М) до МН₂ (бесцветной лейкоформы) за счёт присоединения водорода и электронов аскорбиновой кислоты (А-Н₂), которая при этом окисляется (А⁺): $\text{h}\nu$, хлорофилл * $\bar{e}$



Обесцвечивание (восстановление) метилового красного происходит только при наличии всех компонентов опыта.

Порядок выполнения работы.

Взять 4 пробирки и налить в 1-ую, 2-ую и 3-ью по 5 мл спиртовой вытяжки хлорофилла, а в 4-ую – 5 мл спирта. В 1-ую, 2-ую и 4-ую пробирки добавить кристаллическую аскорбиновую кислоту до насыщения (избыток оседает на дно). Во все пробирки внести по 2 - 3 капли метилового красного. Раствор хлорофилла при этом окрашивается в красно-бурый цвет, в 4-ой пробирке - в ярко-розовый. Хорошо встряхнуть. Вторую пробирку обернуть чёрной бумагой и все пробирки выставить на яркий свет. Через 20 мин отметить окраску растворов и заполнить таблицу 11.

Таблица 11 - Фотосенсибилизирующее действие хлорофилла

Вариант опыта	Состав смеси в пробирках				Условия опыта	Результаты
	хлоро-филл, мл	этиловый спирт, мл	аскорбиновая кислота, мг	метиловый красный		
1	5	-	50	добавляют до появления красно-бурой окраски	свет	
2	5	-	50	тоже	темнота	
3	5	-	-	тоже	свет	
4	-	5	50	тоже	свет	

В выводах объяснить роль хлорофилла и аскорбиновой кислоты в реакции восстановления метилового красного.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Тема: Интенсивность фотосинтеза в зависимости от внешних условий. Показатели продуктивности фотосинтеза.

Цель: изучить влияние факторов внешней среды на фотосинтез и методы определения площади листьев.

Задачи: 1) познакомиться с методами обнаружения фотосинтеза в зависимости от температуры и спектрального состава света и убедиться, что продуктом фотосинтеза является крахмал, образующийся на свету и при наличии углекислого газа;
2) познакомиться с методами определения площади листьев.

Работа 13. Образование крахмала на свету в листьях растений (проба Сакса)

Объект исследования: растение герани, выдержанное в темноте в течении 2 - 3-х дней для обескрахмаливания.

Материалы и оборудование: спирт, раствор J+KJ. Пробирка, спиртовка, стаканчики на 100 мл, чашка Петри, стеклянный колпак, электролампа, пинцет, плотный картон или фольга, скрепки, спички.

Вводные пояснения. Зелёные растения обладают важнейшим свойством создавать в листьях разнообразные органические вещества, которые используются живыми организмами как источник энергии и питания. Необходимыми внешними факторами фотосинтеза являются свет, углекислый газ и вода. В этом легко убедиться, наблюдая образование крахмала в листьях при помощи йодной реакции.

Порядок выполнения работы.

Для подготовки растений к опыту их выдерживают 2 - 3 дня в темноте. В этих условиях вновь крахмал в листьях не образуется, а имеющийся расходуется на дыхание или оттекает в виде сахаров в другие органы. Срезают лист с растения, выдержанного в темноте, укрепляют в стакане с водой. Черешок предварительно подрезают под водой, чтобы не произошло закупорки сосудов. Часть пластинки листа с нижней и верхней сторон закрывают тёмной бумагой с вырезанным рисунком (рисунки нижней и верхней сторон должны совпадать) и плотно прикрепляют к листу скрепками. После этого лист выставляют на яркий свет не менее чем на 1 час. По окончании опыта чёрную бумагу снимают с листа, а лист на 1 мин. опускают в кипящую воду для разрушения связей хлорофилла с белками. После этого лист опускают в колбу со спиртом и кипятят до полного обесцвечивания его. Затем лист вынимают пинцетом из спирта, ополаскивают водой для размягчения тканей, расправляют в чашке Петри и заливают йодом в йодистом

калии.

Зарисовать полученный на листе рисунок и сделать выводы о роли света в фотосинтезе.

Работа 14. Необходимость CO₂ для образования крахмала.

Объект исследования: растение герани, выдержанное в темноте в течении 2 - 3-х дней для обескрахмаливания.

Материалы и оборудование: спирт, раствор J+KJ, 40%-ный КОН. Пробирка, спиртовка, стаканчики на 100 мл, чашка Петри, стеклянный колпак, электролампа, пинцет, плотный картон или фольга, скрепки, спички.

Порядок выполнения работы.

Берут лист обескрахмаленного растения, подрезают под водой черешок и помещают в стакан с водой. Стакан ставят на стеклянную пластинку, рядом помещают концентрированный раствор NaOH и прикрывают стеклянным колпаком, который промазывают вазелином или смачивают нижний край водой для исключения проникновения углекислоты. Установку также выставляют на яркий свет не менее чем на 1 час. После экспозиции на свету лист обрабатывают горячей водой, спиртом и J+KJ, как указано в предыдущей работе.

По посинению или отсутствию окрашивания судят о наличии крахмала.

Делают выводы о значении света и углекислого газа для образования крахмала.

Работа 15. Определение площади листьев

Объект исследования: растения зерновых культур, листья герани.

Материалы и оборудование: торсионные и аналитические весы, сверла, ножницы, бумага.

Вводные пояснения. Понятие фотосинтетическая деятельность растений включает в себя нарастание площади листьев и биомассы растения за период вегетации культуры, расчёты листового индекса, фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза.

Порядок выполнения работы.

1. Определение площади листьев методом высечек. Этот метод чаще всего используют в полевых опытах. Отбирают среднюю пробу растений (10 - 25 растений), быстро срезают листья и определяют отдельно массу листьев и стеблей. Из листьев выбирают сверлом определенного диаметра несколько высечек, стараясь исключить крупные жилки. Все высечки взвешивают, а также рассчитывают общую площадь высечек по формуле: $C = \pi r^2 n$, где: C - общая площадь высечек, см²; r - радиус сверла, см;

n - число высечек.

Площадь листьев определяют по формуле: $S = ac/b$,

где: S - площадь листьев, см^2 ;

a - общая масса сырых листьев, г;

b - общая масса сырых высечек, г.

Чтобы от площади листьев пробы перейти к площади листьев на определённой делянке и на гектаре, необходимо определить густоту стояния растений несколько раз за вегетацию. Недостаток метода - относительно невысокая точность.

2. Определение площади листьев методом отпечатков. Лист растения накладывают на однородную бумагу и обводят контур остро отточенным карандашом. Отпечаток листа можно получить и при помощи светочувствительной бумаги. Для этого лист кладут на светочувствительную бумагу, прижимают ее стеклянной пластинкой и выставляют на солнечный свет или освещают яркой электрической лампой в течение 3 - 5 мин. Затем контур отпечатка обводят карандашом. Иногда светочувствительную бумагу с отпечатками листьев помещают на 1 - 2 мин. в эксикатор, на дно которого предварительно наливают раствор аммиака. Под влиянием его паров получают четкие контуры листовых пластинок. Проявленные отпечатки листа можно хранить очень долго.

Получив тем или иным способом отпечаток листа, определяют его площадь весовым методом. Для этого вырезают бумагу по контуру листовой пластинки и взвешивают на торсионных или аналитических весах. Одновременно из такой же бумаги вырезают квадрат, например, площадью 100 см^2 ($10 \times 10 \text{ см}$) и также определяют его массу.

Площадь исследуемого листа находят по формуле: $S = aC/b$,

a - масса контура листа, г;

b - масса квадрата бумаги, мг;

C - площадь квадрата бумаги, см^2 .

Описанный метод прост и достаточно точен, но малопроизводителен. Кроме того, его практически нельзя использовать при исследовании гофрированных и сложных листьев.

3. Определение площади листа по его параметрам. Метод основан на сопоставлении формы листа с некоторой простой геометрической фигурой, достаточно хорошо совпадающей с конфигурацией данного листа.

Лист вписывают в соответствующую фигуру так, чтобы основные параметры их были общими. Так, листья злаков легко вписываются в вытянутый прямоугольник. Измеряя ширину (a) и длину (b) такого прямоугольника, находят его площадь (S), которая равна $S=ab$. Однако листовая пластинка не занимает всю площадь прямоугольника, и действительная площадь листа ($S_{\text{л}}$), определенная похожим методом отпечатков, будет меньше площади фигуры (S). Поэтому устанавливают поправочный коэффициент K , равный отношению $S_{\text{л}}/S$. Отсюда фактическая

площадь листа злака будет равна $S_{л} = abK$.

Аналогично находят поправочные коэффициенты для листьев других растений, моделируя их с соответствующими геометрическими фигурами. При этом коэффициент K получают на основании анализа многих листьев и несколько раз в течение вегетационного периода, так как нередко конфигурация листьев претерпевает значительные возрастные изменения. Кроме того, систематически проверяют ранее рассчитанные поправочные коэффициенты.

Метод определения площади листьев по параметрам можно использовать только при работе с растениями, имеющими сравнительно простую и устойчивую форму. Метод характеризуется простотой, относительно высокой производительностью, возможностью определения листовой поверхности без отделения листьев от растений. Одновременно следует отметить его невысокую точность.

В выводе сравнить методы определения площади листьев и выяснить более точный из них.

Контрольные вопросы

1. Значение и сущность и фотосинтеза. Роль фотосинтеза в процессе энергетического и пластического обмена растительного организма. Историческое значение работ К.А. Тимирязева.
2. Лист - основной орган фотосинтеза. Структура хлоропластов. Онтогенез хлоропластов.
3. Пигментные системы фотосинтезирующих организмов. Хлорофиллы: химическая структура, спектральные свойства, роль в фотосинтезе. Основные этапы биосинтеза молекулы хлорофилла.
4. Каротиноиды: химическая структура, спектральные свойства, роль в фотосинтезе. Фикобилины: химическая структура, спектральные свойства, роль в фотосинтезе.
5. Антенные комплексы и реакционные центры, модели их структурной организации. Преобразование энергии в реакционном центре.
6. Фотофосфорилирование: циклическое, нециклическое.
7. Система фотоокисления воды и выделения кислорода при фотосинтезе.
8. Химизм реакций цикла Кальвина, его ключевые ферменты.
9. Цикл Хэтча и Слека. Особенности C_3 и C_4 растений.
10. САМ-тип метаболизма.
11. Фотодыхание, химизм, локализация в клетке, физиологическое значение.
12. Влияние на фотосинтез температуры, условий освещения, содержания углекислоты, условий минерального питания, водоснабжения.
13. Фотосинтез и общая продуктивность растительных организмов и их сообществ. Теория фотосинтетической продуктивности. Ассимиляционное число.

Задачи для решения:

Задача 1. Определить урожай биомассы кукурузы (70%-ной влажности), если средняя за вегетационный период ЧПФ составила 10 г/м^2 в сутки, площадь листьев $30 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$, вегетационный период культуры 80 дней.

Задача 2. Определить ЧПФ ячменя, если площадь листьев каждого растения в фазу кущения составила 55 см^2 , а через 10 дней в фазу выхода в трубку 80 см^2 , а масса сухого вещества, соответственно, 1,2 и 1,65 г/раст.

Задача 3. Какой ожидается урожай зерна яровой пшеницы, если известно, что листовой индекс культуры в среднем составил 3, а ЧПФ – 4 г/м^2 в сутки. Вегетационный период культуры 90 дней.

РАЗДЕЛ 4. ДЫХАНИЕ РАСТЕНИЙ

Дыхание является одной из важных сторон общего метаболизма веществ и энергии в живых организмах. Дыхание представляет собой совокупность окислительно-восстановительных процессов, в ходе которых органические вещества, в первую очередь углеводы, распадаются до простейших соединений: углекислого газа и воды, сопровождающихся выделением энергии.

Окисление начинается с бескислородного расщепления глюкозы – гликолиза. При гликолизе происходит активация глюкозы за счет молекул АТФ и дальнейшее ступенчатое окисление ее до пировиноградной кислоты (ПВК). ПВК после окислительного декарбоксилирования включается в замкнутый цикл последовательных биохимических реакций (цикл Кребса). При этом образуются углекислый газ (CO_2), водород и электроны (H^+ и $\bar{e}$). CO_2 выводится из клеток, а водород включается в дыхательную цепь (ЭТЦ), которая составлена из комплекса ферментов, расположенных на внутренней мембране митохондрий. Ферменты передают водород и электроны на кислород воздуха. При переносе водорода и электронов (H^+ и $\bar{e}$) по ЭТЦ выделяется энергия, которая используется на синтез АТФ в ходе окислительного фосфорилирования ($\text{АДФ} + \text{Ф}_\text{H} \rightarrow \text{АТФ}$).

Значение дыхания заключается в аккумулировании энергии окисления в доступной форме АТФ, в образовании восстановленных коферментов (НАД Н, НАДФ Н, ФАД Н), которые используются на восстановительные процессы в клетке. Промежуточные продукты дыхания участвуют в разнообразных синтезах.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Тема: Определение дыхательного газообмена. Окислительно-восстановительные ферменты.

Цель: изучить дыхательный газообмен и окислительно-восстановительные ферменты.

Задачи: 1) изучить методы определения интенсивность дыхания и дыхательного коэффициента;
2) изучить методы, характеризующие действие ферментов в растительном организме.

Работа 16. Определение интенсивности дыхания семян в закрытом сосуде

Объект исследования: сухие и прорастающие семена пшеницы.

Материалы и оборудование: 0,1 н. раствор барита, 0,1 н. раствор щавелевой кислоты, 1%-ный раствор фенолфталеина, весы технические, 3 конические колбы на 250 мл с притертыми пробками, снабженными трубкой с натронной известью, марлевые мешочки, бюретки.

Вводные пояснения. Метод заключается в учете количества углекислого газа, выделяемого семенами при дыхании. Процесс поглощения CO_2 баритом можно записать в виде уравнения: $\text{Ba(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{BaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Избыток барита, не прореагировавшего с CO_2 , оттитровывают щавелевой кислотой: $\text{Ba(OH)}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{BaC}_2\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

Порядок выполнения работы.

В три конические колбы наливают по 5 мл 0,1 н. раствора барита. Колбы сразу закрывают притертыми пробками, чтобы исключить поступление углекислого газа из окружающего воздуха. Подготавливают 2 марлевых мешочка, в один из которых помещают 2,0 г сухих семян, а в другой – 4,0 г прорастающих семян. Одна колба служит контролем, семена в нее не помещают. В другую колбу с помощью тонкого шпагата подвешивают мешочек с сухими семенами на расстоянии 2 – 3 см от поверхности раствора, в третью – подвешивают точно также мешочек с прорастающими семенами. Все три колбы оставляют на час при комнатной температуре.

На протяжении опыта следует периодически осторожно покачивать колбы, чтобы разрушать пленку BaCO_3 , образующуюся на поверхности барита и препятствующую полному поглощению CO_2 .

Через 1 час вынимают мешочки с семенами из колб, вновь плотно прикрыв колбы пробками. Все три колбы, начиная с контрольной, титруют 0,1 н. раствором щавелевой кислоты в присутствии двух капель фенолфталеина до слабо-розового окрашивания, исчезающего от одной капли кислоты.

Титрование следует проводить по возможности быстро.

Интенсивность дыхания рассчитываю по формуле:

$$I = \frac{(a_k - b_0) \cdot \Pi \cdot 2,2}{m} \rightarrow \text{мг CO}_2 / \text{г ч},$$

где a_k и b_0 – количество 0,1 н. раствора щавелевой кислоты, израсходованного на титрование барита, соответственно, в контрольном и опытном вариантах, мл; Π – поправка к титру 0,1н. раствора щавелевой кислоты; 2,2 – количество CO_2 , соответствующее 1 мл 0,1 н. раствора щавелевой кислоты, мг; m – масса сухих семян, г.

Результаты опыта заносят в таблицу 12.

Таблица 12 - Интенсивность дыхания сухих и проросших семян

Объект исследования	Навеска семян, г		Объем барита, мл	Количество щавелевой кислоты, пошедшей на титрование, мл			Интенсивность дыхания, мг CO_2 на 1 г сухих семян за 1 ч
	сухие	проросшие		контроль	сухие	проросшие	

Сделать вывод об интенсивность дыхания сухих и проросших семян.

Работа 17. Определение дыхательного коэффициента прорастающих семян

Объект исследования: прорастающие семена подсолнечника, пшеницы, гороха.

Материалы и оборудование: 20%-ный раствор едкого натра, прибор для определения дыхательного коэффициента, пинцеты, полоски фильтровальной бумаги, песочные часы на 2 мин., пипетки, стеклянные палочки, конические колбы на 250 мл.

Вводные пояснения. Органические вещества, разрушающиеся во время дыхания, называют *дыхательными субстратами*. Субстратами для дыхания служат углеводы, жиры и белки.

Важный показатель химической природы дыхательного субстрата - *дыхательный коэффициент* (ДК), т.е. отношение объема выделенного диоксида углерода ($V \text{ CO}_2$) к объему поглощенного кислорода ($V \text{ O}_2$). При окислении углеводов $\text{ДК} = 1$. При окислении жиров и белков (более восстановленных соединений) кислорода поглощается больше, чем выделяется диоксида углерода, и $\text{ДК} < 1$. При окислении органических кислот (менее восстановленных соединений, чем углеводы) $\text{ДК} > 1$.

Величина ДК зависит также от количества кислорода, поступающего к тканям, от состояния организма и этапа его онтогенеза.

Прибор для определения ДК состоит из пробирки, в которую плотно

вставляется пробка с изогнутой под прямым углом тонкой трубкой. К трубке присоединена измерительная шкала из миллиметровой бумаги. В начале опыта в трубку вводится капля воды. Если объемы поглощенного O_2 и выделенного CO_2 равны ($ДК = 1$), то капля в трубке передвигаться не будет. При величине $ДК$ не равной 1, т.е. объемы поглощенного O_2 и выделенного CO_2 не соответствуют друг другу, капля смещается. Она будет перемещаться в сторону пробирки, если объем выделенного CO_2 будет меньше объема поглощенного O_2 и давление в пробирке упадет ($ДК < 1$). Капля передвинется от пробирки к концу трубки при объеме выделенного CO_2 больше объема поглощенного O_2 , и давление в пробирке увеличится ($ДК > 1$). Поэтому, описанный принцип прибора используется преимущественно для определения дыхательного коэффициента масличных и зернобобовых культур.

Порядок выполнения работы.

Пробирки заполняют проросшими семенами до половины объема и плотно закрывают пробкой с изогнутой трубкой. Пробирку ставят в коническую колбу, чтобы избежать нагревания прибора от рук. В трубку вводят каплю воды. Когда капля сдвинется от края трубки, отмечают положение внутреннего мениска капли. Определение проводят через каждые 2 минуты 3 раза по смещению, а затем вычисляют среднее расстояние, пройденное каплей за 2 минуты (A). Оно соответствует разности между объемами поглощенного кислорода и выделенного CO_2 . После этого пробирку открывают, проветривают и в верхней ее части над семенами помещают фильтровальную бумагу, слегка смоченную раствором щелочи. Вновь собирают прибор, вводят в трубку каплю воды. Отмечают смещение внутреннего мениска капли за 3 двухминутных интервала. Вычисляют среднюю величину смещения (B). Выделенный же при дыхании CO_2 будет поглощаться щелочью, и второе смещение капли отразит только уменьшение объема O_2 , поглощенного при дыхании. Расчет величины $ДК$ проводят следующим образом: $ДК = VCO_2 / VO_2 = (B - A) / B$.

Результаты опыта записывают в таблицу 13.

Таблица 13 - Определение дыхательного коэффициента прорастающих семян

Вариант опыта	Условия опыта	Отсчеты, мм за 2 мин.				$ДК = (B - A) / B$
		1	2	3	среднее	
	Без щелочи (A)					
	Со щелочью (B)					

Сделать вывод о зависимости дыхательного коэффициента от субстрата дыхания.

Работа 18. Обнаружение фермента дегидрогеназы в семенах гороха

Объект исследования: набухшие семена гороха.

Материалы и оборудование: 2 пробирки, метиленовая синь, каучуковые пробки, термостат, термометр, спиртовка.

Вводные пояснения. Окисления дыхательных субстратов в ходе дыхания осуществляется с участием ферментов. Поскольку окисление одного вещества (донора электронов и протонов) сопряжено с восстановлением другого соединения (акцептора), ферменты, катализирующие эти реакции, называются *оксидоредуктазами*. К оксидоредуктазам относятся дегидрогеназы (ферменты, активирующие водород), оксидазы (ферменты, активирующие кислород).

Дегидрогеназы – ферменты, катализирующие дегидрирование дыхательного субстрата. Дыхательный субстрат является донором водорода. Активированный дегидрогеназами водород дыхательного субстрата передается ими на акцептор - переносчик водорода. Дегидрогеназы делятся на анаэробные и аэробные. Анаэробные дегидрогеназы переносят водород на какой-то промежуточный акцептор (переносчик), но не кислород. Это двухкомпонентные ферменты, коферментом которых может быть НАД⁺ (никотинамидадениндинуклеотид). Субстратная специфичность фермента зависит от его белковой части. Анаэробные дегидрогеназы передают водород, т.е. электроны и протоны, различным промежуточным переносчикам и аэробным дегидрогеназам.

Аэробные дегидрогеназы переносят водород к различным акцепторам, в том числе кислороду. Это двухкомпонентные ферменты, получившие название флавиновых (флавопротеины – ФАДН₂). Помимо белков, в их состав входит прочно связанная с ними простетическая группа - рибофлавин (витамин В₂). Доноры электронов для аэробных дегидрогеназ - анаэробные дегидрогеназы, а акцепторы - хиноны, цитохромы, кислород.

Метод определения основан на способности дегидрогеназ к дегидрированию (отщеплению водорода) от субстратов дыхания и восстановлению в анаэробных условиях индикатора, такого как метиленовая синяя: $C - H_2 + C + M - H_2$, где $C - H_2$ – восстановленный субстрат; $M - H_2$ – метиленовая синяя; C – окисляемый субстрат; $M - H_2$ – восстановленная краска.

Порядок выполнения работы.

Набухшие семена гороха (10 шт.) очищают от оболочки и помещают в 2 пробирки. Одну порцию семян заливают водой и кипятят 5 – 10 минут для разрушения фермента. Затем воду выливают и в обе пробирки заливают метиленовую синюю на 10 минут. После этого окрашенные семена промывают водой и обе пробирки заполняют водой до пробки (без пузырька воздуха) для создания анаэробных условий. Обе пробирки ставят в термостат при температуре 25 – 30°C. Через 1 – 2 часа не кипяченые семена обесцвечиваются, т.к. дегидрогеназа активировала водород и передала его метиленовой сини, которая восстановилась и обесцветилась. Обесцвеченные семена вытряхивают из пробирки и на воздухе они синеют. У кипяченых семян дегидрогеназа разрушена, окраска их не изменяется.

Сделать вывод о способности дегидрогеназ к дегидрированию (отщеплению водорода) от субстратов дыхания и восстановлению в анаэробных условиях индикатора, такого как, метиленовая синяя.

Работа 19. Обнаружение пероксидазы в соке клубня картофеля

Объект исследования: клубни картофеля.

Материалы и оборудование: 1%-ный раствор гидрохинона, 3%-ный раствор перекиси водорода. Ножи, терки, марля, воронки, конические колбы на 50 мл, пробирки в штативе, пипетки на 2 и 10 мл.

Вводные пояснения. Оксидазы – ферменты, способные передавать электроны от окисляемого субстрата только на кислород воздуха. При этом образуется вода, пероксид водорода или супероксидный анион кислорода. Оксидазы имеют в качестве кофермента атом металла (Fe, Cu, Mo), т.е. важную роль играют а) железосодержащие ферменты и переносчики, относящиеся к цитохромной системе; б) аскорбатоксидаза; в) пероксидаза и каталаза; г) полифенолоксидаза. В клетках широко представлены также оксигеназы, активирующие кислород, в результате чего он может присоединяться к органическим соединениям. Ряд оксигеназ имеет в своем составе атомы меди или гем, флавиновые ферменты.

Пероксидаза - фермент, катализирующий окисление полифенолов и некоторых ароматических аминов при помощи кислорода, перекиси водорода или органических перекисей. Пероксидаза образует с перекисью водорода комплексное соединение, в результате чего перекись активируется и приобретает способность действовать как акцептор водорода. Особенно легко пероксидаза окисляет полифенолы. Поэтому для обнаружения ее удобно использовать гидрохинон, который под действием пероксидазы окисляется в хинон. При окислении гидрохинона в хинон раствор бурет. Наблюдается и некоторое побурение самого картофельного сока без добавления гидрохинона и перекиси водорода, что связано с действием полифенолоксидазы, окисляющей полифенолы тканей картофеля с участием молекулярного кислорода.

Порядок выполнения работы.

Натирают на терке очищенный клубень картофеля. Из мезги отжимают через марлю сок и собирают его в колбочку. В четыре пробирки вносят по 5 мл 1%-ного раствора гидрохинона. В первую добавляют, кроме того, 1 мл 3%-ного раствора перекиси водорода и 1 мл картофельного сока, во вторую - 1 мл 3%-ного раствора перекиси водорода, в третью - 1 мл картофельного сока, в четвертую - 1 мл предварительно прокипяченного в течение 1 мин. картофельного сока и 1 мл перекиси водорода. При окислении гидрохинона в хинон раствор бурет. Наблюдается некоторое побурение самого картофельного сока без добавления гидрохинона и перекиси водорода, что

связано с действием полифенолоксидазы, окисляющей полифенолы тканей картофеля с участием молекулярного кислорода.

Результаты опыта записывают в таблицу 14 по приведенной форме.

Таблица 14 - Обнаружение пероксидазы в соке картофеля

Вариант опыта	Состав смеси в пробирке			Окраска раствора в пробирках
	картофельный сок (носитель пероксидазы)	перекись водорода	гидрохинон	
1	+	+	+	
2	-	+	+	
3	+	-	+	
4 (прокипяченный сок)	-	+	+	

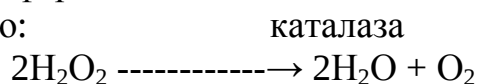
Сделать вывод о действии фермента пероксидазы.

Работа 20. Определение активности каталазы в листьях

Объект исследования: листья герани разных ярусов.

Материалы и оборудование: 3%-ная перекись водорода, предметные стекла, микроскоп.

Вводные пояснения. В процессе дыхания в качестве побочного продукта окисления веществ образуется перекись водорода, оказывающая в высоких концентрациях токсичное действие на цитоплазму. Нейтрализация перекиси водорода при участии фермента каталазы идет до воды и молекулярного кислорода по уравнению:



Об активности каталазы судят по объему кислорода, выделяющегося в результате разложения перекиси водорода.

Порядок выполнения работы.

На предметное стекло наносят каплю перекиси водорода. В каплю помещают кусочек ткани листа различного возраста и тот час наблюдают препараты под микроскопом при малом увеличении.

При наличии активной каталазы перекись водорода будет расщепляться с выделением пузырьков кислорода. Заметить, в каких листьях активнее выделяются пузырьки.

Сделать вывод об активности каталазы в листьях.

Контрольные вопросы

1. Биологическая роль дыхания. Специфика дыхания у растений.
2. Пути окисления органических веществ в клетке.

3. Митохондрии, их структура и функции.
4. Гликолиз. Энергетика этой фазы. Ферменты.
5. Цикл Кребса. Энергетика этой фазы.
6. Пентозомонофосфатный путь окисления глюкозы и его роль в конструктивном обмене клетки.
7. Глиоксилатный цикл. Значение.
8. Электронтранспортная цепь митохондрий: структурная организация, основные компоненты, их окислительно-восстановительные потенциалы. Комплексы переносчиков электронов.
9. Каталитические системы дыхания (дегидрогеназы, оксидазы и др.). Механизмы активации водорода субстрата и молекулярного кислорода.
10. Дыхание как центральное звено обмена веществ в клетке.
11. Количественные показатели газообмена: интенсивность дыхания, дыхательный коэффициент.
12. Зависимость дыхания от внешних и внутренних факторов.

РАЗДЕЛ 5. МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Под минеральным питанием понимают совокупность процессов поглощения, передвижения и усвоения химических элементов, необходимых для жизни растительного организма, в форме ионов минеральных солей, которые могут быть извлечены из окружающей среды с помощью корней (корневое питание) или через листья при нанесении на них растворов солей (некорневое питание).

Для нормального жизненного цикла растительного организма необходима определенная группа основных питательных элементов, функции которых в растении не могут быть заменены другими химическими элементами. Четыре элемента – С, О, Н и N называют органогенами, так углерод составляет в среднем 45% сухой массы тканей, кислород – 42%, водород – 6,5%, азот – 1,5%, а все вместе - 95% сухой массы растительных тканей и 5% приходится на зольные вещества (определяют после сжигания органического вещества растения). Макроэлементы - N, P, K, S, Ca, Mg составляют от 0,1 до 0,01%, микроэлементы – Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Co составляют от 0,001 до 0,00001%.

Первичное накопление и обменная адсорбция ионов происходят в кажущемся свободном пространстве клеточных стенок корней, затем ионы проникают через липидную фазу и ионные каналы плазмалеммы и цитоплазму. Вещества поступают в клетку пассивно или благодаря активному или вторичному активному транспорту. Главную роль в поглощательной активности растительных клеток играет H^+ -помпа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Тема: Микрохимический анализ золы растений. Взаимодействие ионов.

Цель: провести микрохимический анализ золы растений и явление антагонизма ионов.

Задачи: 1) провести микрохимический анализ золы растений;
2) изучить влияние антагонизма ионов на прорастание семян.

Работа 21. Микрохимический анализ золы растений

Объект исследования: зола печная или табачный пепел.

Материалы и оборудование: вода дистиллированная, 10%-ная соляная кислота, 1%-ный раствор серной кислоты, 1%-ный раствор фосфорнокислого натрия, 1%-ный раствор молибденовокислого аммония в 1%-ном растворе азотной кислоты, 1%-ный раствор желтой кровяной соли, стеклянные палочки, фильтровальная бумага, микроскоп, предметные стекла, пробирки, воронки.

Порядок выполнения работы.

Готовят в пробирках растворы печной золы (или табачного пепла) в 10% соляной кислоте, отфильтровывают через фильтры. Все реакции производятся на предметном стекле. В месте соединения произойдет реакция, а по краям канала - быстрая кристаллизация продуктов реакции. Кристаллический осадок рассматривают под микроскопом.

Для обнаружения кальция 1 каплю 1%-ного раствора серной кислоты соединяем с каплей вытяжки. В результате реакции выпадают пучки игольчатых кристаллов гипса.

Для открытия магния каплю вытяжки нейтрализуют аммиаком и соединяют с 1%-ным раствором фосфорнокислого натрия. Кристаллы фосфорно-аммиачно-магнезиальной соли имеют вид ящичков, крышек, звезд или крыльев.

Для открытия фосфора каплю вытяжки соединяют с 1%-ным раствором молибденовокислого аммония в 1%-ной азотной кислоте и получается красивый зеленовато-желтый скрыто-кристаллический осадок фосфорно-молибденового аммиака, принимающий все более интенсивную окраску.

Присутствие серы обнаруживают прибавлением 1%-ного раствора азотнокислого стронция к капле вытяжки. Образуются мелкие закругленные кристаллы серно-кислого стронция.

Для открытия железа железистосинеродистый калий (1%-ный раствор желтой кровяной соли) соединяют с каплей вытяжки с образованием берлинской лазури. Реакцию проводят на фарфоровой пластинке или на предметном стекле, подложив под него лист белой бумаги.

Зарисовать кристаллы солей макроэлементов.

Работа 22. Изучение взаимодействия ионов в ходе прорастания семян

Объект исследования: наклюнувшиеся семена зерновых культур.

Материалы и оборудование: растворы KCl - 9 г/л, $CaCl_2$ - 6,7 г/л, дистиллированная вода, чашки Петри, фильтровальная бумага, пипетки на 10 мл, пинцет, ножницы, линейка, пинцет.

Вводные пояснения. Антагонизмом ионов - явление, когда один ион уменьшает или устраняет вредное действие другого. Раствор с оптимальным соотношением ионов называется уравновешенным.

Порядок выполнения работы.

Взять 4 чашки Петри, ополоснуть дистиллированной водой, положить на дно фильтровальную бумагу, вырезанную по размеру нижней чашки. Чашки пронумеровать. 40 наклюнувшихся семян зерновых культур 3 - 4 раза ополоснуть дистиллированной водой и пинцетом разложить по 10 штук в каждую чашку и добавить по 10 мл: в первую чашку – дистиллированную воду (контроль); во вторую – раствор KCl , в третью - раствор $CaCl_2$, в четвертую – 8,6 мл раствора KCl и 1,4 мл раствора $CaCl_2$. Чашки закрыть крышками и поставить на проращивание в термостат при температуре $26^{\circ}C$, через каждые 2 дня крышки приоткрывать для проветривания. Через неделю измерить длину coleoptилей и корней, вычислить средние величины в таблицу 15.

Таблица 15 - Влияние антагонизма ионов калия и кальция на параметры проростков

Вариант опыта	Длина coleoptиля		Длина корней		Число боковых корней	
	см	% к контролю	см	% к контролю	шт.	% к контролю
Контроль		100		100		100
KCl						
$CaCl_2$						
$KCl + CaCl_2$						

Сделать вывод о влиянии антагонизма ионов калия и кальция на параметры проростков зерновых культур.

Контрольные вопросы

1. Содержание в растении минеральных элементов. Классификация элементов, необходимых для растений.
2. Корень как орган поглощения минеральных элементов и воды, а также

место специфических синтезов.

3. Механизм поглощения ионов: пассивный и активный транспорт.
4. Взаимосвязь процессов поглощения веществ корнем с другими функциями растения (дыханием, фотосинтезом, водообменом, ростом и др.).
5. Макроэлементы, форма поступления в растение, пути включения в обмен, биохимическая и физиологическая роль в растении.
6. Микроэлементы, форма поступления в растение, пути включения в обмен, биохимическая и физиологическая роль в растении.
7. Круговорот азота в природе. Источники азота для растений.
Симбиотическая фиксации молекулярного азота.
8. Минеральные и органические формы азота, используемые растением.
Ферментные системы, участвующие в усвоении нитратов.
9. Накопление нитратов в тканях. Круговорот азота по растению.
10. Водная, песчаная и почвенная культуры, их применение в физиологии растений. Гидропоника. Питательные смеси.
11. Физиологически кислые и физиологически основные соли.
12. Взаимодействие ионов (антагонизм, синергизм, аддитивность).
13. Физиологические основы применения удобрений.
15. Корневое питание как важнейший фактор управления продуктивностью и качеством урожая.

РАЗДЕЛ 6. РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

Рост растения - необратимое увеличение размеров и массы, связанное с новообразованием элементов структуры организма. Он складывается из роста клеток, тканей и органов. Развитие растения - качественные изменения структуры и функций растения и его отдельных частей - органов, тканей и клеток, возникающие в процессе онтогенеза.

Рост в длину и ветвление побегов и корней происходят благодаря деятельности апикальных меристем верхушек побегов и кончиков корней; рост в толщину - результат деятельности камбия. В период роста клетки меристем и камбия непрерывно делятся: внешняя часть клеток остается в меристемном состоянии, а все остальные растут и дифференцируются в ткани и органы. Следовательно, каждая клетка в процессе роста проходит три фазы: деления, растяжения и дифференцировки.

Общая закономерность роста - его неравномерность, или периодичность, обусловленная внутренними причинами. Вначале рост органа или всего растения происходит медленно, затем быстрее и потом снова замедляется. Нарастание общей массы органа или растения графически выражают в виде плавной S-образной кривой, а скорость роста, или прирост массы, в виде плавной более или менее симметричной кривой с одним максимумом. Аналогично изменяются и линейные размеры.

К числу важных внутренних факторов регуляции роста и развития растений относятся образующиеся в растении химические соединения с высокой физиологической активностью, называемые ростовыми веществами, или фитогормонами. Это ауксины, гиббереллины, цитокинины и ингибиторы роста (абсцизовая кислота и этилен). Для указанных веществ характерно образование в одних тканях и органах растения, в то время как их физиологическое действие, как правило, проявляется в других тканях-мишенях или органах (этилен является исключением). Физиологическое действие фитогормонов проявляется при очень небольших концентрациях. В зависимости от физиологического состояния растения, концентрации и соотношения (баланса) фитогормонов, последние могут оказывать стимулирующее или тормозящее действие на тот или иной физиологический процесс и общий уровень функциональной активности растения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Тема: Рост и развитие растений.

Цель: изучить закономерности роста и развития растений и физиологическое действие фитогормонов.

Задачи: 1) изучить основной закон роста - неравномерность или периодичность роста;

- 2) изучить зависимость силы роста от массы семян (зерновок), длительности хранения семян;
- 3) изучить физиологическое действие ИУК.

Работа 23. Наблюдение периодичности роста побега

Объект исследования: побеги травянистых и древесных растений.

Материалы и оборудование: линейки.

Вводные пояснения. Побег растет неравномерно. Вначале наблюдается медленный рост, затем скорость роста увеличивается, достигает максимума, снова замедляется, и, наконец, рост прекращается. Таким образом, наблюдается периодичность роста побега, которая характеризуется законом большого периода роста.

Периодичность роста проявляется в том, что междоузлия, образующиеся по мере нарастания побега, имеют неодинаковую длину. В большинстве случаев она увеличивается от основания к середине побега, где достигает максимума, а к верхушке побега опять уменьшается.

Порядок выполнения работы.

Измеряют линейкой длину междоузлий годичного побега какого-либо травянистого или древесного растения. На основании полученных данных строят графики прироста междоузлий и побега. По оси ординат откладывают длину междоузлий и длину побега, по оси абсцисс - номера междоузлий, считая от основания побега. Делают вывод о периодичности роста побега.

Результаты измерений записывают в таблицу 16 по приведенной форме.

Таблица 16 - Наблюдение за ростом древесных побегов

Длина, см	Номер междоузлия от основания побега														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Междоузлия															
Побега															

Зарисовать графики прироста междоузлий и побега.

Сделать вывод о периодичности роста побега.

Работа 24. Определение силы роста семян методом морфофизиологической оценки проростков

Объект исследования: зерновки пшеницы разных лет уборки урожая (крупная,

средняя и мелкая фракции семян).

Материалы и оборудовании: полоски полиэтиленовой пленки и фильтровальной бумаги, шпагат, метеорологические данные трех последних лет.

Вводные пояснения. Процесс прорастания семян, сопровождаемый образованием органов (корней, побегов) будущего взрослого растения зависит от комплекса внутренних (вид растения, количество запасных веществ, зрелость и выполненность семян) и внешних (температура, влажность среды, пораженность фитопатогенами) факторов. Кроме этого на процесс прорастания оказывают влияние сроки хранения семян. Морфофизиологическая оценка представляет собой измерение следующих параметров органов прорастающих семян: у корней: количество корней, длина, внешнее состояние, масса; у coleoptilya: длина, состояние, масса.

Наиболее полно истинные посевные качества семян характеризуются силой роста, т.е. способностью проростков к быстрому, дружному прорастанию и интенсивному росту. Для посева используют семена с силой роста не менее 80%.

Силу роста определяют путем проращивания семян в рулонах и выражают в процентах относительной доли сильных проростков к общему числу семян в пробе.

Порядок выполнения работы.

Для каждого варианта берут полоску полиэтиленовой пленки размером 60x15 см, накрывают ее такой же полоской фильтровальной бумаги, смоченной в воде. Во всю длину проводят линию карандашом на расстоянии 5 см от верхнего края. На эту линию укладывают 50 семян зародышем вниз на расстоянии 1 см одно от другого. Накрывают семена по всей длине второй полоской фильтровальной бумаги, смоченной в воде, ширина которой 5 см, свертывают в рулон, связывают шпагатом, снабжают этикеткой и ставят вертикально в сосуд, на дно которого налита вода.

Проращивают семена в темноте в течение 7 дней при температуре 20°C. Затем разворачивают рулон, оценивают проростки по пятибалльной шкале, определяют сырую массу надземной части и корней для всех 50 проростков вместе.

Качество проростков оценивают по следующей шкале.

<i>Сильные проростки</i>	<i>Балл</i>
Длина ростка превышает 5 см, лист вышел из coleoptilya или равен его длине, число зародышевых корешков пять и более	5
Длина ростка не менее 4 см, лист в coleoptilye превышает 3/4 его размера, число зародышевых корешков не менее 4	4
Длина ростка не менее 2,5 см, лист в coleoptilye более 1/2 его размера, число зародышевых корешков не менее трех	3

Слабые проростки

Балл

Длина ростка менее 2,5 см, лист в coleoptile менее $\frac{1}{2}$ длины coleoptile, число зародышевых корешков два и более 2

Росток по длине менее двух длин зерновки, число зародышевых корешков два и более 1

Силу роста семян выражают в процентах сильных проростков к общему числу семян в пробе. Кроме того, учитывают количество ненормально проросших и непроросших (набухших, загнивших твердых) семян.

Результаты наблюдений записать в таблицу 17 по приведенной форме.

Таблица 17 - Морфофизиологическая оценка проростков

Вариант опыта	Оценка в баллах					Сумма баллов	Сила роста, %	Сырая масса, г		Отношение массы надземной части к массе корней
	5	4	3	2	1			надземной части	корней	

Сделать вывод о влиянии условий выращивания, длительности хранения семян на силу роста семян.

Работа 25. Изучение влияния индолилуксусной кислоты на укоренение черенков фасоли

Объект исследования: десятидневные проростки фасоли.

Материалы и оборудование: 0,01%-ный раствор ИУК. Конические колбы на 200 мл, химические стаканы на 200 мл, ножницы.

Вводные пояснения. Индолилуксусная кислота (ИУК) вызывает усиленное образование корней у черенков травянистых (особенно фасоли) и древесных растений. На этом основано применение ее в сельском хозяйстве для размножения черенков трудно укореняющихся растений.

На практике чаще используют синтетические аналоги ИУК, такие как α -нафтилуксусная и индолилмасляная кислоты).

Порядок выполнения работы.

Берут 10-тидневные растения фасоли высотой 11 – 13 см. Срезают у основания четыре одинаковых по высоте и общему развитию проростка, подрезают их под водой примерно на 1 см. Два черенка помещают в стакан с водопроводной водой (контроль), два других - в стакан с 0,01%-ным

раствором ИУК (опыт).

Через 3 часа черенки вынимают из раствора ИУК. Ополаскивают основание черенка водопроводной водой и погружают в воду. Оставляют оба варианта на свету при комнатной температуре (20°C) до образования корней.

В конце опыта учитывают число появившихся корней у черенков (контроль и опыт).

Результаты записывают в таблицу 18 по приведенной форме.

Таблица 18 - Влияние ИУК на укоренение черенков

Вариант опыта	Число образовавшихся корешков	Стимулирование корнеобразования под действием гетероауксина, % к контролю
Водопроводная вода		
0,01%-ный раствор ИУК		

Сделать вывод о физиологическом действии ИУК.

Работа 26. Выявление апикального доминирования у гороха.

Объект исследования: растения гороха.

Материалы и оборудование: сосуды с растениями гороха (песчаная или водная культура): на каждого студента два сосуда с тремя-четырьмя растениями в каждом. Бритвы, линейки.

Вводные пояснения. У многих растений верхушка побега подавляет пробуждение спящих почек и рост боковых побегов. Это явление называют *апикальным доминированием*, оно отражает коррелятивные взаимоотношения между главным и боковыми побегами растения. Удаление или повреждение верхушки главного побега снимает апикальное доминирование, что вызывает пробуждение спящих почек и рост боковых побегов.

Горох принадлежит к растениям, у которых сильно выражено апикальное доминирование. Для обнаружения этого явления верхушку побега гороха удаляют и через несколько дней у *декапитированных* растений отмечают появление боковых побегов.

Порядок выполнения работы.

Берут сосуд с растениями гороха. Одни растения оставляют *интактными* (контроль), у других срезают верхушки побега. Сосуд с растениями ставят в тепличку.

На следующем занятии сравнивают контрольные и опытные растения, для чего подсчитывают число боковых побегов и измеряют их длину у каждого растения. Находят отдельно средние значения для интактных и декапитированных растений.

Данные записывают в таблицу 19 по приведенной форме.

Таблица 19 – Динамика роста боковых побегов

Вариант опыта	Число боковых побегов	Длина боковых побегов, см

Сделать вывод о коррелятивных взаимоотношениях между главным и боковыми побегами растения.

Контрольные вопросы

1. Определение понятий «рост» и «развитие» растений.
2. Общие закономерности роста, типы роста у растений.
3. Фазы роста клеток и их характеристики.
4. Кинетика ростовых процессов. Ритмика, биологические часы. Корреляции. Полярность. Регенерация.
5. Дифференцировка клеток и тканей: компетенция и детерминация. Тотипотентность растительной клетки.
6. Строение, биосинтез и физиологическое действие ауксинов, гиббереллинов, цитокининов, абсцизовой кислоты, этилена, брассиностероидов.
7. Синтетические регуляторы и ингибиторы роста (гербициды, ретарданты), их практическое применение.
8. Влияние света на процессы роста и развития растений. Фитохромная система регуляции.
9. Фотопериодизм. Типы фотопериодической реакции.
10. Яровизация.
11. Ростовые и тургорные движения растений. Тропизмы (фото-, гео-, электро-, термотропизмы) и настии.
12. Основные этапы онтогенеза, их морфологические, физиологические и метаболические особенности.
13. Состояние покоя у растений. Типы покоя и их значение для жизнедеятельности растений.
14. Культура изолированных зародышей, органов, тканей, клеток, протопластов как модель для изучения процессов роста и развития. Пути практического использования культуры растительных клеток.

РАЗДЕЛ 7. ПРИСПОСОБЛЕНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ

Способность к защите от действия неблагоприятных абиотических и биотических факторов среды – столь же обязательное свойство любого организма, как питание, движение, размножение и т.д. Эта функция появилась одновременно с возникновением первых живых организмов и в ходе дальнейшей эволюции развивалась и совершенствовалась.

Устойчивость теплолюбивых растений к низким положительным температурам называется холодостойкостью. Способность растений переносить температуры ниже нуля, т.е. низкие отрицательные температуры, называется морозостойкостью. Зимостойкость – устойчивость растений к комплексу неблагоприятных факторов перезимовки (выпревание, вымокание, действие ледяной корки и зимняя засуха (у древесных растений и к солнечным ожогам)).

Жаростойчивость – способность растений переносить действие высоких температур, перегрев. Засухостойчивость – способность растений переносить длительные засушливые периоды, значительный водный дефицит, обезвоживание клеток, тканей и органов.

Солеустойчивость - способность растений переносить засоленность почв. Растения, приспособленные к существованию в условиях избыточного засоления, называют галофитами.

Адаптация – приспособление организма к конкретным условиям существования, у индивидуума достигается за счет физиологических механизмов (физиологическая адаптация), а у популяции организмов (вида) – благодаря механизмам генетической изменчивости и наследственности (генетическая адаптация).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Тема: Устойчивость растений к неблагоприятным условиям

Цель: познакомиться с важнейшими видами устойчивости и методами ее диагностики.

Задачи: 1) изучить защитное действие сахаров на протоплазму при отрицательных температурах;
2) изучить защитное действие сахаров на белки протоплазмы при отрицательных температурах;

Работа 27. Выявление защитного действия сахаров на протоплазму

Объект исследования: корнеплоды свеклы.

Материалы и оборудование: 0,5 и 1 М растворы сахарозы, поваренная соль, лед колотый или снег. Термометр, нож, пробочные сверла диаметром 6 мм, бритвы, пробирки, микроскопы, предметные и покровные стекла, кисточки, карандаши по стеклу, фильтровальная бумага, лопатка для охладительной смеси, стакан.

Вводные пояснения. При воздействии отрицательных температур на растительные ткани в межклетниках образуется лед, который, оттягивая воду из клеток, обезвоживает протоплазму. При определенной степени обезвоживания, индивидуальной для каждого организма, протоплазма коагулирует. Кристаллы льда, образующиеся непосредственно в клетках, оказывают механическое воздействие, в результате 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.

Порядок выполнения работы.

Из поперечного среза столовой свеклы толщиной 0,5 см при помощи пробочного сверла диаметром 5 - 6 мм делают высечки. Тщательно промывают их под водопроводной водой и помещают в три пробирки по три высечки в каждую. В первую пробирку наливают 5 мл дистиллированной воды, во вторую - 0,5 мл 0,5 М раствора сахарозы, в третью - 0,5 мл 1 М раствора сахарозы. Пробирки этикетировывают и на 20 мин. погружают в охладительную смесь, состоящую из трех частей льда или снега и одной части поваренной соли. Затем пробирки вынимают из охладительной смеси и размораживают в стакане воды комнатной температуры.

После оттаивания пробирки встряхивают. Отмечают различия в интенсивности окрашивания жидкости в пробирках и объясняют их. Из анализируемых высечек готовят тонкие срезы и рассматривают их под микроскопом при малом увеличении в капле раствора, в котором они находились. Подсчитывают общее число клеток в поле зрения и число обесцвеченных клеток, из которых вышел антоциан.

Результаты опыта записывают в таблицу 20 по приведенной форме.

Таблица 20 - Определение защитного действия сахаров на протоплазму

Условия	Степень окраски раствора в пробирке (по 5-балльной системе)
Вода	
Сахароза 0,5 М	
Сахароза 1 М	

Сделать вывод о защитном действии сахаров на протоплазму при воздействии отрицательных температур.

Работа 28. Изучение действия сахарозы на белки протоплазмы при отрицательных температурах

Объект исследования: клубни картофеля.

Материалы и оборудование: 0,5 М и 1 М растворы сахарозы, снег, поваренная соль; терка, марля, коническая колба, пробирки, пипетки на 5 мл, чашка для охлаждающей смеси, термометр, стакан.

Вводные пояснения. При действии на растение экстремальных температур белки коагулируют. Выпадение хлопьевидного осадка белка из вытяжки растительной ткани - показатель ее повреждения. Сахароза стабилизирует нативную структуру белка, тем самым защищая ее от губительного действия отрицательных температур.

Порядок выполнения работы.

Очищенный клубень картофеля натирают на терке. Полученную мезгу через двойной слой марли отжимают в коническую колбу и дают отстояться крахмалу. 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 0,5 М раствора сахарозы, в третью - 2,5 мл 1 М раствора сахарозы. Содержимое в пробирках перемешивают, этикетируют и ставят в охлаждающую смесь на 20 мин.

Оттаивают пробирки в стакане с водопроводной водой: в пробирке с 1 М сахарозой содержимое останется в том же состоянии золя, а в пробирке с дистиллированной водой выпадет хлопьевидный осадок свернувшихся белковых веществ.

Сделать вывод о защитном действии сахарозы при замерзании растительных тканей.

Работа 29. Защитное действие сахара на протоплазму при низких температурах

Объект исследования: луковица с пигментированными чешуями.

Материалы и оборудование: 0,5 М и 1 М растворы NaCl, снег, поваренная соль. Лезвие, предметные и покровные стекла, охлаждающая смесь, лопатка для охлаждающей смеси, стакан, микроскоп.

Вводные пояснения. Гибель клеток при отрицательных температурах происходит в результате коагуляции протоплазмы. Сахар предохраняет белковые вещества от свертывания при промораживании.

Порядок выполнения работы.

Лезвием с хорошо окрашенных участков луковицы делают несколько поверхностных срезов площадью примерно 25 мм и толщиной до 1 мм, помещают их в три пробирки: в первой 2 мл дистиллированной воды, во второй и в третьей, соответственно, по 2 мл 0,5 и 1 М раствора сахарозы. Пробирки этикетировывают и помещают на 20 мин. в охлаждающую смесь.

После оттаивания жизнеспособность клеток проверяют методом плазмолиза. Наносят каплю 1 М раствора NaCl на предметное стекло, помещают срез первого варианта и рассматривают под микроскопом. В клетках этого варианта плазмолиз не наблюдается, так как произошло их отмирание. Затем в капле 1 М раствора NaCl просматривают срезы, которые промораживались в 1 М растворе сахарозы - в клетках происходит плазмолиз, следовательно, после промораживания клетки остались живыми. В 0,5 М растворе сахарозы плазмолиз наблюдается не во всех клетках.

Сделать вывод о защитном действии сахара при отрицательных температурах на ткани растений.

Контрольные вопросы

1. Общие принципы адаптивных реакций растений на экологический стресс.
2. Влияние низких положительных температур (холодоустойчивость растений). Закаливание растений.
3. Влияние низких отрицательных температур (морозоустойчивость растений). Закаливание растений.
4. Влияние почвенно-климатических факторов (зимостойкость растений). Способы борьбы с неблагоприятными факторами перезимовки. Закаливание растений.
5. Влияние высоких положительных температур (жароустойчивость растений). Закаливание растений.
6. Реакция растений на водный дефицит (засухоустойчивость растений).
7. Реакция растений на высокое содержание солей в почве (солеустойчивость растений).
8. Радиоустойчивость растений и ее механизмы.
9. Особенности загрязнения почв тяжелыми металлами, токсичность их для высших растений.
10. Устойчивость растений в условиях загазованности атмосферы вредными соединениями промышленности и транспорта.
11. Физиологические и биохимические основы устойчивости растений к патогенным микроорганизмам. Формирование иммунитета растений.
12. Применение физиологических тестов для выявления токсичности среды. Физиологические основы токсикологии нормирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, В.П. Лекции по физиологии растений: учебное пособие / В.П. Андреев; науч. ред. Г.А. Воробейков; Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена. – Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена (РГПУ), 2012. – 300 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428272> – Библиогр.: с. 281. – ISBN 978-5-8064-1666-8. – Текст: электронный.
2. Карасев, В.Н. Физиология растений: экспериментальные исследования / В.Н. Карасев, М.А. Карасева; Поволжский государственный технологический университет. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. – 312 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494310> – Библиогр.: с. 291-297. – ISBN 978-5-8158-1999-3. – Текст: электронный.
1. Физиологические основы устойчивости растений: учебное пособие: [16+] / сост. Е.Н. Жидкова; Липецкий государственный педагогический университет имени П. П. Семенова-Тян-Шанского. – Липецк: Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2017. – 50 с.: ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576864> – Библиогр.: с. 38 - 39. – Текст: электронный.
2. Шамров, И.И. Эмбриология и воспроизведение растений: учебное пособие / И.И. Шамров. – Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена (РГПУ), 2015. – 200 с.: ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=435455> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-8064-0000-0. – Текст: электронный