

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

О. М. ХРАМЧЕНКОВА

**ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ:
ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

Практическое пособие

для студентов специальности
1-31 01 01-02 «Биология (научно-педагогическая деятельность)»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2023

УДК 581.1(076)
ББК 28.57я73
Х898

Рецензенты:

кандидат биологических наук Д. Н. Дроздов,
кандидат биологических наук О. Л. Федосенко

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Храмченкова, О. М.

Х898 Физиология растений: эколого-физиологические аспекты :
практическое пособие / О. М. Храмченкова ; Гомельский гос. ун-т
им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. – 46 с.
ISBN 978-985-577-939-2

В практическом пособии представлен перечень лабораторных работ по дисциплине «Физиология растений» по следующим разделам: «Физиология растительной клетки», «Водный обмен», «Минеральное питание», «Рост и развитие». Лабораторные занятия нацелены на приобретение навыков лабораторного изучения основных процессов жизнедеятельности растительного организма. Для закрепления учебного материала приводится перечень тестовых заданий по курсу, а также список рекомендуемой литературы.

Адресовано преподавателям и студентам очной и заочной форм обучения специальности 1-31 01 01-02 «Биология (научно-педагогическая деятельность)».

УДК 581.1(076)
ББК 28.57я73

ISBN 978-985-577-939-2

© Храмченкова О. М., 2023
© Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ.....	6
Требования к ведению лабораторного дневника и оформлению лабораторных работ.....	7
Тема 1. Основные принципы функционирования протопласта растительной клетки.....	9
1.1 Лабораторная работа 1. Свойства клеточных мембран.....	9
1.2 Лабораторная работа 2. Прижизненное окрашивание клеток нейтральным красным.....	12
Тема 2. Закономерности поступления и передвижения воды в растении.....	14
2.1 Лабораторная работа 3. Определение степени набухания семян.....	14
2.2 Лабораторная работа 4. Определение водного потенциала растительной ткани методом полосок по Лилиенштерн.....	15
2.3 Лабораторная работа 5. Зависимость сосущей силы от степени насыщения клеток водой.....	16
Тема 3. Транспирация.....	19
3.1 Лабораторная работа 6. Наблюдение за движением устьиц под микроскопом.....	19
3.2 Лабораторная работа 7. Определение интенсивности транспирации весовым методом.....	20
3.3 Лабораторная работа 8. Определение интенсивности кутикулярной транспирации.....	22
Тема 4. Механизмы поступления и передвижения минеральных элементов в растении.....	23
4.1 Лабораторная работа 9. Обнаружение отдельных элементов, входящих в состав растений.....	23
4.2 Лабораторная работа 10. Демонстрационные опыты на тему «Корень как орган поглощения воды и минеральных веществ»...	26
Тема 5. Усвоение макроэлементов растениями.....	28
5.1 Лабораторная работа 11. Обнаружение нитратов в растениях	28
5.2 Лабораторная работа 12. Влияние анионов и катионов солей на форму и время плазмолиза.....	29
Тема 6. Влияние внешних условий на поглощение и усвоение растением минеральных элементов.....	31

6.1 Лабораторная работа 13. Физиологическая реакция солей...	31
6.2 Лабораторная работа 14. Определение общей и рабочей адсорбирующей поверхности корневой системы (по И. И. Колосову).....	32
Тема 7. Рост и развитие растений.....	35
7.1 Лабораторная работа 15. Диагностика глубины покоя растений по химическим показателям (по П. А. Генкелло и Е. З. Окниной).....	35
7.2 Лабораторная работа 16. Наблюдение периодичности роста древесных побегов.....	36
7.3 Лабораторная работа 17. Обнаружение белков, крахмала и жиров в тканях растений.....	37
Тестовые задания.....	39
Литература.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Физиология растений изучает функциональную активность растительных организмов, находящуюся в тесной взаимосвязи с их средой обитания. Знание основных закономерностей жизнедеятельности растений делает физиологию растений теоретической основой рационального земледелия, лесоводства и садово-паркового хозяйства.

Изучение физиологии растений имеет большое значение для школьного учителя, так как знания о жизни растений помогают на должном уровне проводить работу на учебно-опытном участке. Только изучив жизнь растения, можно понять его биосферную роль, оценить масштабность продуцирования органического вещества на планете, роль гормонов роста и физиологически активных веществ, взаимодействие растений и ряд других аспектов. Изучив основные закономерности жизни растений в теоретическом курсе, на лабораторных занятиях, будущий специалист сможет овладеть методикой постановки опытов, что ему крайне необходимо для дальнейшей профессиональной деятельности.

В настоящем практическом пособии представлен перечень лабораторных работ по таким разделам дисциплины «Физиология растений», как «Физиология растительной клетки», «Водный обмен», «Минеральное питание», а также «Рост и развитие». Лабораторные занятия нацелены на приобретение навыков лабораторного изучения основных процессов жизнедеятельности растительного организма. Они служат для закрепления и расширения знаний студентов по теоретическому курсу.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по безопасности работы в лабораториях.

2. Выполнять лабораторные работы следует в белом халате из хлопчатобумажной ткани, застегнутом на все пуговицы.

3. Категорически запрещается держать в лаборатории пищевые продукты, принимать пищу, пить воду из химической посуды.

4. Каждый студент должен выполнять лабораторные работы на закрепленном за ним учебном месте, соблюдать порядок проведения лабораторных работ, поддерживать порядок на своем рабочем месте.

5. Перед началом работы студенты обязаны изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы, подготовить к работе рабочее место, убрать посторонние предметы.

6. Все сосуды, содержащие реактивы и продукты их взаимодействия, должны быть подписаны.

7. Запрещается пользоваться химической посудой, имеющей трещины, сколы и иные повреждения.

8. Для взятия навесок следует пользоваться бумажными подложками; запрещается насыпать и накладывать любые субстанции непосредственно на чашу весов.

9. Для отмеривания любых жидкостей следует пользоваться мерной посудой.

10. С летучими и ядовитыми веществами следует работать только под тягой.

11. Необходимо обращать особое внимание на соблюдение требований безопасности при работе с электрическими и нагревательными приборами.

12. Для нагревания горючих и летучих реактивов следует пользоваться водяными банями; запрещается нагревать их на открытом огне или вблизи пламени.

13. После окончания работы студенты должны привести в порядок свое рабочее место (убрать со стола реактивы и оборудование, удалить мусор, стол протереть).

ТРЕБОВАНИЯ К ВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ДНЕВНИКА И ОФОРМЛЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Для выполнения лабораторных работ по физиологии растений с основами микробиологии следует завести отдельную общую тетрадь (96 л), в которой выполняется работа по подготовке к лабораторному занятию, а также оформляется лабораторная работа.

К каждому лабораторному занятию студенты обязаны готовиться в соответствии с «Перечнем вопросов для подготовки к лабораторным занятиям», составляя при этом краткий конспект ответов на все предложенные вопросы в виде схем, рисунков, терминологических словарей и пр. Основанием для допуска к выполнению практической части лабораторного занятия является краткий конспект ответов на вопросы «Перечня вопросов для подготовки к лабораторным занятиям», подготовленный студентом до начала лабораторного занятия. В начале каждого лабораторного занятия студенты выполняют либо тест, либо контрольную работу по теоретическому материалу изучаемого раздела дисциплины.

Издание включает в себя опыты, иллюстрирующие теоретические положения лекционного курса, а также экспериментальные работы, связанные с количественным определением физиологических показателей растений.

Перед началом выполнения лабораторной работы студент обязан уяснить цели и задачи выполняемого эксперимента, порядок выполнения работы, явления, эффекты или количественные показатели, на которых базируется анализ и подводятся итоги полученных результатов.

Лабораторное занятие оформляется по схеме:

1. Номер по порядку название работы, дата.
2. Цель работы.
3. Объекты исследования.
4. Оборудование, материалы и реактивы.
5. Ход работы.
6. Результаты работы (таблицы, графики, рисунки).
7. Анализ результатов.
8. Выводы.

Требования к таблицам, графикам и рисункам. Все таблицы, графики и рисунки должны быть подписаны. Обязательно должны быть обозначены объекты исследования, варианты опыта, единицы измерения, название осей координат – на графиках.

Анализ результатов лабораторной работы должен включать: теоретическое обоснование изучаемой темы; сравнение полученных экспериментальных результатов с теоретическими данными; выявление закономерностей и их обсуждение.

Сформулированные выводы должны соответствовать цели лабораторной работы и полученным экспериментальным результатам.

После оформления лабораторной работы студент обязан ответить на вопросы преподавателя по теме, получить его подпись в лабораторном дневнике.

ТЕМА 1

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОТОПЛАСТА РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ

1.1 Лабораторная работа 1. Свойства клеточных мембран

Цель работы: изучить функциональные особенности мембран живых клеток.

Материалы и оборудование: микроскоп, предметные и покровные стекла – 4 шт., мерный цилиндр на 10 мл, воронка, стеклянная палочка, препаровальная игла, скальпель, пинцет, пробирки – 3 шт., штатив для пробирок, держатель для пробирок, сосуд для промывания срезов, фильтровальная бумага, спиртовка, 30 % раствор уксусной кислоты, 1М раствор сахарозы, 1М раствор нитрата калия, 0,7М раствор нитрата кальция, 1М раствор карбамида (мочевины).

Растения: корнеплоды столовой свеклы, луковицы лука репчатого (синеватые или красноватые сорта).

1.1.1 Сравнение проницаемости мембран живых и мертвых клеток

В вакуолях клеток корнеплода столовой свеклы содержится бетацианины – пигменты, придающие ткани корнеплода окраску. Тонoplastы живых клеток не проницаемы для молекул этих пигментов. После гибели клеток тонoplast теряет свойство полупроницаемости, становится проницаемым, молекулы пигментов выходят из клеток и окрашивают воду.

Ход работы:

Корнеплод свеклы после удаления покровных тканей разрезать на кубики (сторона кубика 5 мм) и тщательно промыть водой, чтобы удалить пигмент, вышедший из поврежденных клеток. Затем по одному кусочку опустить в три пробирки. В первую и вторую налить по 5 мл воды, в третью – 5 мл 30 % раствора уксусной кислоты. Первую пробирку оставить для контроля. Содержимое второй прокипятить 2–3 мин на пламени спиртовки.

Во второй и третьей пробирках, где клетки были убиты кипячением или кислотой, вода окрашивается, а в первой пробирке остается неокрашенной.

Задание: зарисовать схему опыта и его результаты, выявить различия в проницаемости мембран живых и мертвых клеток и сделать вывод о причинах этих различий.

1.1.2 Сравнение проницаемости клеточных мембран для различных веществ. Стойкий и временный плазмолиз

Избирательная проницаемость мембран обеспечивает прохождение через них молекул воды, препятствует проникновению растворенных в воде веществ и обуславливает явление *плазмолиза* при действии на клетку гипертонического раствора. Если же молекулы растворенного вещества через мембрану проходят медленнее, чем молекулы воды, то начавшийся плазмолиз потом исчезает. *Деплазмолиз* происходит в результате постепенного проникновения растворенного вещества в клетку, изменения водного потенциала снаружи и внутри, а также поступления воды в клетку из наружного раствора по градиенту водного потенциала.

Ход работы:

На два предметных стекла нанести по капле раствора: на одно – 1М раствор сахарозы, на другое – 1М раствор карбамида (мочевины). В каждую каплю поместить по кусочку эпидермы лука, снятой с выпуклой поверхности одной и той же чешуи луковичы, накрыть покровным стеклом, рассмотреть под микроскопом сначала при малом, потом при большом увеличении. Найти участки эпидермиса, в которых хорошо видны плазмолизированные клетки. Отметить время начала плазмолиза (начало наблюдения), зарисовать плазмолизированные клетки и оставить препараты на 30–60 мин, затем вновь их рассмотреть и зарисовать. В растворе сахарозы плазмолиз в клетках сохранился, а в растворе карбамида произошел деплазмолиз. В растворе сахарозы наблюдается стойкий плазмолиз, а в растворе карбамида – временный. Причиной деплазмолиза в растворе карбамида является проницаемость клеточных мембран для его молекул. Так как проницаемость для карбамида меньше, чем для воды, то вода из клетки выходит быстрее, чем в нее входит карбамид. Это и вызывает плазмолиз, который потом исчезает при проникновении в клетку карбамида и поступлении воды.

Задание: зарисовать схему опыта, плазмолизированные и деплазмолизированные клетки и сформулировать выводы.

1.1.3 Влияние ионов калия и кальция на форму плазмолиза

В ходе плазмолиза форма плазмолизированного протопласта меняется. Вначале протопласт отстает от клеточной стенки лишь в отдель-

ных местах, 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. На этом этапе плазмолиз называется *вогнутым*. Постепенно протопласт отрывается от клеточных стенок по всей поверхности и принимает округлую форму. Такой плазмолиз носит название *выпуклого*. Если у протопласта связь с клеточной стенкой в отдельных местах сохраняется, то при дальнейшем уменьшении объема в ходе плазмолиза протопласт приобретает неправильную форму. Такой плазмолиз носит название *судорожного* (рисунок 1). Время, в течение которого вогнутый плазмолиз переходит в выпуклый, позволяет оценивать степень вязкости цитоплазмы.



1 – угловой; 2 – вогнутый; 3 – выпуклый;
4 – судорожный; 5 – колпачковый (a – цитоплазма; б – вакуоль)

Рисунок 1 – Формы плазмолиза

При сравнении вязкости цитоплазмы в растворах солей калия и кальция можно отметить, что ионы калия, проникая в цитоплазму, повышают ее гидрофильность, уменьшают вязкость и способствуют ее быстрому отрыву от клеточной стенки. Поэтому в растворах солей калия плазмолиз быстро принимает форму выпуклого. Ионы кальция, наоборот, повышают вязкость цитоплазмы, увеличивают силы сцепления ее с клеточной стенкой, и плазмолиз принимает форму судорожного плазмолиза.

Ход работы:

На одно предметное стекло нанести каплю 1М раствора нитрата калия, на другое – 0,7М раствора нитрата кальция. В обе капли поместить по кусочку эпидермы лука, снятой с выпуклой поверхности одной

и той же чешуи луковицы, накрыть покровными стеклами. Через 5–10 мин препараты рассмотреть под микроскопом.

Задание: зарисовать схему опыта, плазмолизированные и деплазмолизированные клетки и сформулировать выводы.

1.2 Лабораторная работа 2. Прижизненное окрашивание клеток нейтральным красным

Цитоплазма не является идеальной полупроницаемой преградой на пути веществ, поступающих в клетку: она пропускает не только воду, но и некоторые растворенные в ней вещества. К числу таких веществ относится краситель нейтральный красный, который свободно проникает в вакуоли живых клеток и окрашивает клеточный сок. Отмирание цитоплазмы при этом не происходит, в чем можно легко убедиться, вызвав плазмолиз окрашенных клеток (плазмолиз может быть только у живых клеток). Нейтральный красный – двухцветный индикатор: в кислой среде ($\text{pH} < 6$) он приобретает малиновую окраску, в щелочной – желтую.

Для понимания результатов данной работы необходимо иметь в виду, что в нейтральной реакции среды нейтральный красный не диссоциирует на ионы, поэтому хорошо растворяется в липидах мембран клетки, тогда как в кислой среде это вещество диссоциирует на ионы, поэтому плохо растворяется в липидах. Цитоплазма живой клетки имеет слабое сродство к красителю, поэтому окрашивание цитоплазмы и ядра нейтральным красным – признак повреждения клетки. Вакуоли отмерших клеток не окрашиваются, окрашивается в желто-розовый цвет цитоплазма и ядра.

Цель работы: на примере нейтрального красного убедиться в том, что цитоплазма живой клетки не является идеальной полупроницаемой преградой на пути поступления веществ.

Материалы и оборудование: микроскоп, предметные и покровные стекла – 3 шт., лезвие, препаровальная игла, стеклянная палочка, склянка с водой, кусочки фильтровальной бумаги, 0,02 % водный раствор нейтрального красного, 1М раствор нитрата калия.

Растения: луковицы лука репчатого (неокрашенные сорта).

Ход работы:

Приготовить 3 среза верхнего эпидермиса чешуи лука, поместить их на предметное стекло в большую каплю нейтрального красного.

1 срез: оставить для контроля.

2 срез: через 10 мин оттянуть краску фильтровальной бумагой, перенести в каплю воды, закрыть покровным стеклом, препарат рассмотреть под микроскопом.

3 срез: через 10 мин оттянуть краску фильтровальной бумагой, перенести в каплю воды, через 5 мин заменить воду на раствор KNO_3 , закрыть покровным стеклом, препарат рассмотреть под микроскопом.

Задание: зарисовать по одной клетке каждого среза, какая часть окрашена красителем – оболочка, цитоплазма или вакуоль и в какой цвет. Сделать вывод о проницаемости цитоплазмы для нейтрального красного и о реакции (pH) содержимого клеток.

ТЕМА 2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ И ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В РАСТЕНИИ

2.1 Лабораторная работа 3. Определение степени набухания семян

При соприкосновении с влагой сухие семена быстро поглощают воду и увеличиваются в размерах благодаря набуханию белков, пектинов и других гидрофильных веществ. В основе набухания лежит гидратация коллоидов – взаимодействие веществ с водой, приводящее к уменьшению ее подвижности.

Цель работы: определение степени набухания семян зерновых культур.

Материалы и оборудование: весы технические, чашки Петри, стакан с водой, фильтровальная бумага.

Растения: сухие семена зерновых злаков¹.

Ход работы:

Навески 2–3 г семян разных видов растений поместить в чашки Петри, залить водой, обращая внимание на полное смачивание семян. Чашки Петри закрыть крышками, оставить на 3 ч. Через 3 ч семена вынуть из чашки Петри, быстро обсушить фильтровальной бумагой, и взвесить. Результаты записать в таблицу 1.

Таблица 1 – Степень набухания семян злаковых культур

Вид растения	Масса семян, г		Увеличение массы семян	
	исходная	после набухания	г	% от исходной

Задание: описать ход работы. Сделать вывод о содержании гидрофильных коллоидов в семенах.

¹ Можно использовать семена других культур – подсолнечника, рапса, редиса и др.

2.2 Лабораторная работа 4. Определение водного потенциала растительной ткани методом полосок по Лилиенштерн

Водный потенциал характеризует сосущую силу растительной ткани. Его величина зависит от разности химических потенциалов воды в клетке и чистой воды. Водный потенциал всегда имеет отрицательный знак. Чем ниже водный потенциал, тем сильнее обезвожена растительная клетка, поэтому этот показатель используют для выбора правильного времени полива. Для конкретных культур различных почвенно-климатических зон установлены оптимальные значения водного потенциала. Это позволяет по справочным данным проводить поливы в оптимальные сроки. 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.

Цель работы: определение водного потенциала растительной ткани методом полосок.

Материалы и оборудование: штатив с одиннадцатью пробирками, мерный цилиндр на 10 мл, воронка, пинцет, скальпель, линейка, 1М раствор сахарозы.

Растения: крупные клубни картофеля.

Ход работы:

При помощи разбавления 1М раствора сахарозы в пробирках приготовить по 10 мл растворов 1,0; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1 и 0М концентрации. Из клубня картофеля вырезать 22 полоски длиной 4–6 см и сечением около 4 мм². Концы полосок срезать наискось. **Работать следует быстро, чтобы исключить подсыхание полосок.** Линейкой точно измерить их длину, поместить по две полоски в каждую пробирку с приготовленным раствором. Через 20 мин полоски вынуть, обсушить фильтровальной бумагой, снова измерить их длину. Для расчета величины водного потенциала определить концентрацию, при которой длина полосок не изменяется. Величину водного потенциала рассчитать по формуле:

$$\Psi_{\text{w ткани}} = \Psi_{\text{w раствора}} = -RTci,$$

где R – газовая постоянная, равная 8,3 Дж/моль К;

T – абсолютная температура в градусах Кельвина ($273^{\circ} +$ комнатная);

c – изотоническая концентрация, М;

i – изотонический коэффициент (для сахарозы равен 1).

Результаты записать в таблицу 2.

Таблица 2 – Определение водного потенциала методом Лилиенштерн

Концентрация раствора, моль/л	На 10 мл раствора		Длина полоски ткани, мм		Концентрация, при которой длина полосок не изменялась, М	Водный потенциал, кПа
	1 М раствора сахарозы, мл	воды, мл	перед погружением в раствор	после пребывания в растворе		
1,0	10	0				
0,9	9	1				
0,8	8	2				
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				
0	0	10				

Задание: описать ход работы. Рассчитать величину водного потенциала ткани.

2.3 Лабораторная работа 5. Зависимость сосущей силы от степени насыщения клеток водой

Силу, с которой клетка способна поглощать воду, называют сосущей силой (S) клетки. Сосущая сила растительной клетки равна разности между осмотическим давлением (P) клеточного сока и тургорным давлением (T). При погружении клетки в какой-либо раствор водообмен между ними определяется соотношением их сосущих сил: вода передвигается в ту сторону, где больше сосущая сила.

Данная работа – продолжение предыдущей. На основе полученных данных в работе 2.1 нужно начертить диаграмму, показывающую, как изменяется сосущая сила клеток, осмотическое давление клеточного сока и тургорное давление при изменении степени насыщения клеток водой. Зависимость между указанными показателями выражается следующей формулой: $S = P - T$. Если до погружения все клетки имели более или менее одинаковую степень насыщения водой, а, следовательно, и одинаковые S , P и T , то после пребывания клеток в растворах все эти показатели для разных полосок стали различными.

Материалы и оборудование: миллиметровая бумага, линейка.

Ход работы:

Заполнить таблицу 3, в которой необходимо записать показатели, характеризующие состояние клеток после пребывания в растворах (таблица 2).

Таблица 3 – Состояние клеток после пребывания в растворах

Длина полоски V , мм				
Сосущая сила S , кПа				
Осмотическое давление P , кПа				
Тургорное давление T , кПа				

Длина полосок (V). В первую строку таблицы записать длину полосок после пребывания клеток в растворах, начиная с наименьшей концентрации. При совпадении длины полосок в нескольких самых крепких растворах (например, 0,6М; 0,8М; 1,0М) взять величину, относящуюся только к наиболее слабому из этих растворов (например – 0,6М, поскольку уже в этом растворе клеточные оболочки достигли предела сокращения).

Сосущая сила (S). Исходя из того, что полоски достаточно долго пролежали в растворах и уже перестали изменяться в длине, считается, что сосущая сила клеток сравнялась с осмотическим давлением соответствующего раствора.

Осмотическое давление раствора, следовательно, и равная ему сосущая сила клеток вычисляется по уравнению Вант-Гоффа. Потенциальное осмотическое давление выражается формулой

$$P = RTci,$$

где R – газовая постоянная, равная 8,3 Дж/моль·К;

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

c – изотоническая концентрация, М.;

i – изотонический коэффициент Вант-Гоффа (для сахарозы равен единице).

Осмотическое давление клеточного сока (P). Для самой короткой полоски (V_1) характерно полное отсутствие тургора: $T_1 = 0$, откуда (по формуле $S = P - T$) $P_1 = S_1$. Остальные полоски имеют все более разбавленный клеточный сок, причем P уменьшается обратно пропорционально объему клеток (или длине полосок): $P_1 V_1 = P_n V_n$, откуда $P_n = P_1 V_1 / V_n$.

Тургорное давление (T) находят по формуле: $S = P - T$, откуда $T = P - S$.

Заполнив таблицу 3, начертить диаграмму (образец – на рисунке 2). Для этого на миллиметровой бумаге начертить систему координат: ось абсцисс (X) – миллиметры, ось ординат (Y) – кПа. На оси абсцисс отложить длину полосок (V), например, 1 мм = 1 см, причем точку пересечения осей обозначить не нулем (0), а – V_1 . На оси ординат отложить значения для P и T , соединить линиями полученные точки. Получатся графики зависимости P и T от степени насыщения клеток водой. Значения для S откладывать не придется, т. к. эти величины представлены отрезками $P - T$.

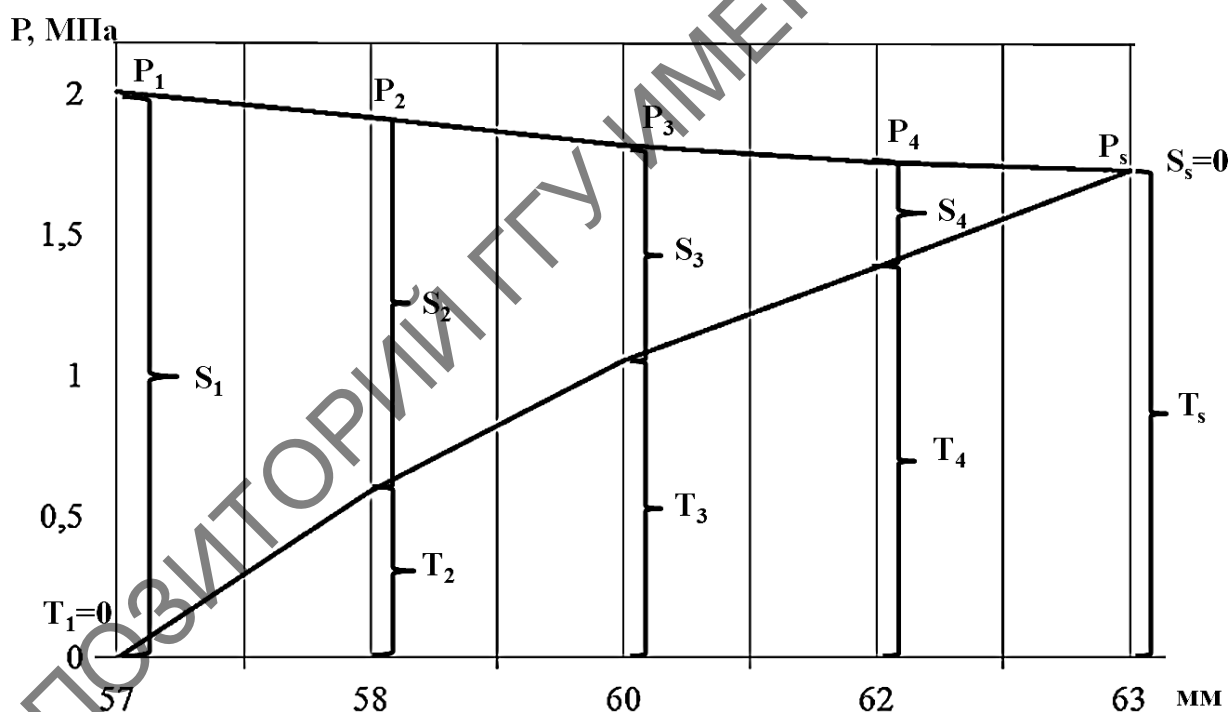


Рисунок 2 – Зависимость осмотических показателей от степени насыщения клеток водой

Задание: описать ход работы, сделать вывод о том, как изменяются P , T и S в зависимости от насыщения клеток водой.

ТЕМА 3 ТРАНСПИРАЦИЯ

3.1 Лабораторная работа 6. Наблюдение за движением устьиц под микроскопом

Транспирация, как и испарение, – диффузионный процесс, а потому определяется градиентом водного потенциала в системе «растение – воздух». Транспирация как физический процесс зависит от дефицита насыщения воздуха водяными парами, температуры, освещенности, ветра (движения воздуха), а также величины и формы испаряющей поверхности, определяемой особенностями строения растения.

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

Материалы и оборудование: микроскоп, предметные и покровные стекла – 2 шт., препаровальные иглы, лезвие, стакан с водой, фильтровальная бумага, 5 % раствор глицерина в капельнице.

Растения: листья традесканции.

Газообмен между межклетниками листа и атмосферой регулируется устьицами. Устьице состоит из двух специализированных клеток эпидермиса, называемых замыкающими, между которыми находится устьичная щель (рисунок 3).

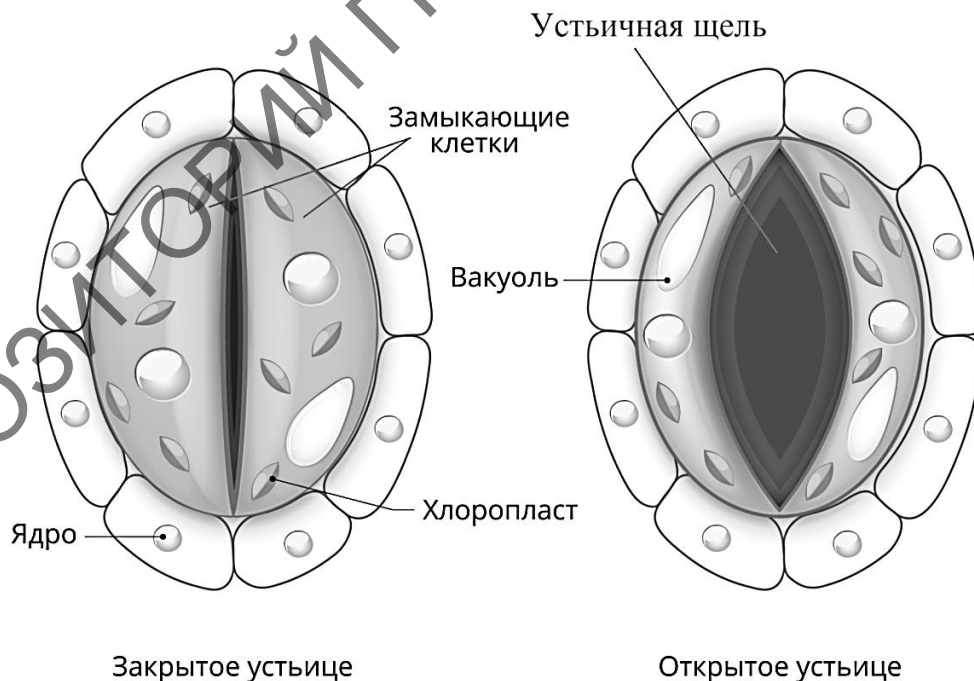


Рисунок 3 – Строение устьиц

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

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

Ход работы:

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

Наблюдение за открыванием и закрыванием устьиц. Приготовить срез эпидермиса с нижней стороны листа традесканции виргинской, поместить его в каплю 5 % раствора глицерина на предметное стекло, накрыть покровным стеклом и сразу начать наблюдения плазмолиза под микроскопом, как в замыкающих клетках, так и в остальных клетках эпидермиса. Устьичные щели при этом закрываются. Заменить глицерин водой, для этого нанести рядом с покровным стеклом каплю воды, а с другой стороны покровного стекла оттянуть глицерин фильтровальной бумагой. При этом устьица открываются.

Задание: зарисовать схему опыта и его результаты: открытое и закрытое устьице, объяснить причины устьичных движений.

3.2 Лабораторная работа 7. Определение интенсивности транспирации весовым методом

Интенсивность транспирации – количество воды, испарившейся с единицы листовой поверхности в единицу времени. Метод основан на учете изменений массы срезанного транспирирующего листа за короткие промежутки времени, что дает возможность наблюдать транспирацию при том состоянии насыщения листа водой, в каком он находился на растении. Интервал между взвешиваниями не должен превышать 5 мин. При более длительной экспозиции уменьшается содержание воды в листе и снижается интенсивность транспирации.

Цель работы: определить среднюю интенсивность транспирации листьев трех видов растений.

Материалы и оборудование: технические весы, ножницы, тетрадная бумага, пинцет, предметные стекла, покровные стекла, склянка с водой, пипетка, микроскоп.

Растения: листья пеларгонии, гибискуса и традесканции.

Ход работы:

Наблюдения ведутся за листьями с одного стебля растения. Каждый студент получает лист определенного яруса. Срезать лист, взять его пинцетом, положить на чашку весов, взвесить. Через 5 мин после взвешивания первого листа повторно взвесить все листья в первоначальном порядке.

Убыль в массе листьев за время между первым и вторым взвешиваниями показывает, сколько воды испарилось за этот период. Все расчеты выполнить по суммарной массе и площади всех листьев.

Определение площади листа. Лист растения наложить на тетрадную бумагу, обвести контур остро отточенным карандашом, получить отпечаток листа. Вырезать бумагу по контуру листовой пластинки и взвесить. Одновременно из такой же бумаги вырезать квадрат площадью 100 см^2 ($10 \times 10 \text{ см}$), и взвесить. Площадь исследуемого листа считать по формуле:

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

где a – масса контура листа, г;

b – масса квадрата бумаги, г;

c – площадь квадрата бумаги, см^2 .

Рассчитать количество воды, испарившейся из 1 г сырых листьев за 1 ч. Интенсивность транспирации [$\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$] рассчитать по формуле:

$$T = \frac{10\,000 \cdot c}{S \cdot t},$$

где C – убыль в массе за время опыта, г;

S – площадь листа, см^2 ,

t – продолжительность опыта, ч.

Определить количество устьиц на нижнем эпидермисе. Приготовить водный препарат нижнего эпидермиса каждого вида растений. Посчитать количество устьиц в поле зрения на малом увеличении. Вычислить среднее значение по результатам, полученным каждой парой студентов для каждого вида растений.

Задание: описать схему опыта, вычислить среднее значение интенсивности транспирации листьев трех видов растений, связать полученный результат со средним количеством устьиц на нижнем эпидермисе.

3.3 Лабораторная работа 8. Определение интенсивности кутикулярной транспирации

Различают транспирацию устьичную и кутикулярную. *Устьичная транспирация* осуществляется через устьичные щели, *кутикулярная* – клетками эпидермиса. При открытых устьицах одновременно осуществляются обе формы транспирации, при закрытых – только кутикулярная. Если у листа, имеющего устьица только на нижней стороне, замазать эту сторону вазелином, можно определить интенсивность кутикулярной транспирации. С листьями, имеющими устьица на обеих сторонах (кукуруза, бобы, подсолнечник и др.), этот опыт провести нельзя.

Цель работы: провести определение интенсивности кутикулярной транспирации листьев разных растений и листьев одного растения, но разного возраста.

Материалы и оборудование: свежие листья традесканции, аналитические весы, пробирки – 2 шт., штатив для пробирок, скальпель, водяная баня, вазелин.

Растения: традесканции виргинской.

Ход работы: срезать по возможности два одинаковых листа, имеющих устьица на нижней стороне, смазать нижнюю сторону одного из них тонким слоем вазелина, слегка разогретого на водяной бане. Взвесить листья на весах с точностью до сотых долей грамма, отметить время и поставить их черешками в пустые пробирки. Через 20–30 мин повторить взвешивание.

Результаты взвешивания записать в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчет вклада кутикулярной транспирации листьев традесканции

Вариант опыта	Масса листа, г		Испарилось воды, г	Транспирация, % от общей	
	исходная	в конце опыта		кутикулярная	устьичная
без вазелина			а		
с вазелином			б		

Уменьшение массы не обработанного листа (а) характеризует общую транспирацию (устьичная + кутикулярная), обработанного вазелином (б) – кутикулярную транспирацию. Составив пропорцию, находим кутикулярную транспирацию листа, выраженную в процентах.

Задание: сопоставить интенсивность кутикулярной транспирации листьев разных растений, а также листьев разного возраста одного и того же растения.

ТЕМА 4

МЕХАНИЗМЫ ПОСТУПЛЕНИЯ И ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИИ

4.1 Лабораторная работа 9. Обнаружение отдельных элементов, входящих в состав растений

Минеральные элементы поглощаются главным образом корнями растений. В природной обстановке источником минерального питания является почва, в искусственных условиях растения могут выращиваться на жидких питательных средах. Но в любом случае в составе питательного раствора должны содержаться макроэлементы и микроэлементы, которые называются *необходимыми*. К необходимым макроэлементам относятся азот, фосфор, калий, кальций, магний и сера. Из микроэлементов наиболее изучена физиологическая роль железа, бора, цинка, меди, марганца и молибдена. В почвенном растворе ионы либо находятся в свободном состоянии, либо связаны с почвенными коллоидами. Поглощаются элементы минерального питания чаще всего в ионной форме. При сжигании растений поглощенные ими минеральные элементы остаются в несгораемой части – золе, которая может составлять от 5 до 20 % от общей массы растений. Качественный состав золы неодинаков и зависит от видовых особенностей растений и условий произрастания.

Цель работы: познакомиться с методами обнаружения минеральных веществ в растительной клетке.

Материалы и оборудование: штативы с пробирками, пипетки на 5 мл, колбы на 100 мл, электрическая плитка, технические весы, микроскоп, предметные стекла, стеклянные палочки, фильтры, воронки стеклянные, универсальная индикаторная бумага, дистиллированная вода, концентрированная HNO_3 , 5 % раствор NaOH , 2 % раствор HCl , 5 % раствор щавелевой кислоты, 10 % раствор $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$, 1 % раствор уксусной кислоты, 10 % раствор BaCl_2 , 10 % раствор HNO_3 , 5 % раствор NH_4CNS , 10 % раствор аммиака, 1 % раствор Na_2HPO_4 , этиловый спирт – 5 мл на одну пару студентов, кобальт нитрит натрия $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ кристаллический, надсерноокислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ (или перекись свинца PbO_2) кристаллический, азотнокислый аммоний NH_4NO_3 кристаллический.

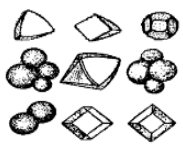
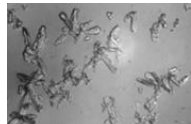
Растения: зола растений.

Ход работы:

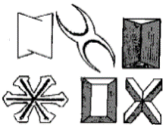
Навеску золы 1 г поместить в фарфоровый тигель, добавить 1 мл концентрированной HNO_3 , перемешать, прилить 15 мл воды, нагреть до кипения, быстро отфильтровать горячий раствор от нерастворимых частиц угля и кремнезема. Фильтрат разделить на две части. Одну часть разлить в три пробирки по 2–3 мл для открытия макроэлементов (калия, фосфора и серы). Другую часть фильтрата довести 5 % раствором NaOH (приливая его по каплям) до слабо щелочной реакции и отфильтровать выпавший студенистый осадок. Осадок сохранить для определения микроэлементов, а щелочной раствор после его нейтрализации 2 % HCl и слабого подкисления несколькими каплями уксусной кислоты перелить в четвертую пробирку, и использовать для открытия кальция.

Для открытия макроэлементов проделать с растворами следующие реакции (таблица 5). Приведенные ниже реакции проводят и в пробирках, и на предметных стеклах.

Таблица 5 – Открытие макроэлементов в золе*

Откры- тый ион	Проведение реакции, уравнение реакции	Результат
1	2	3
K^+	Прибавить на кончике смоченной стеклянной палочки сухого кобальт-нитрита и 1–2 мл этилового спирта. Оставить на 30 минут $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] + 2\text{KNO}_3 \rightarrow \text{NaK}_2[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]\downarrow + 2\text{NaNO}_3$	Желтый осадок 
Ca^{2+}	Прилить 0,5–1 мл 5 % раствора щавелевой кислоты $\text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4\downarrow$	Белая муть или белый осадок 
PO_4^{3-}	Внести небольшой кристалл NH_4NO_3 , нагреть до кипения и прибавить 1 мл 10 % раствора $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ $\text{H}_3\text{PO}_4 + 12(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 + 21\text{HNO}_3 \rightarrow (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3\downarrow + 21\text{NH}_4\text{NO}_3 + 12\text{H}_2\text{O}$	Золотисто-желтый осадок 
SO_4^{2-}	Прилить 1 мл 10 % раствора BaCl_2 $\text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow$	Белая муть или белый осадок 

Окончание таблицы 5

1	2	3
Mg^{2+}	Прилить 1 мл 10 % раствора аммиака, затем – 2 мл 1 % раствора Na_2HPO_4 $Mg(NO_3)_2 + Na_2HPO_4 + NH_3 \rightarrow NH_4MgPO_4\downarrow + 2NaNO_3$	Белая муть или белый осадок 

Одновременно с операциями в пробирках провести те же реакции на предметных стеклах, после чего рассмотреть кристаллы выпавших осадков под микроскопом при малом увеличении и без покровного стекла, и зарисовать их.

На предметном стекле: маленькие капли исследуемого раствора и реактива нанести на расстоянии 1 см друг от друга. Затем чистой стеклянной палочкой соединить капли тонким дугообразным каналцем. В месте соединения произойдет реакция, а по краям каналца раньше, чем на других участках, начнется кристаллизация продуктов реакции (рисунок 4).

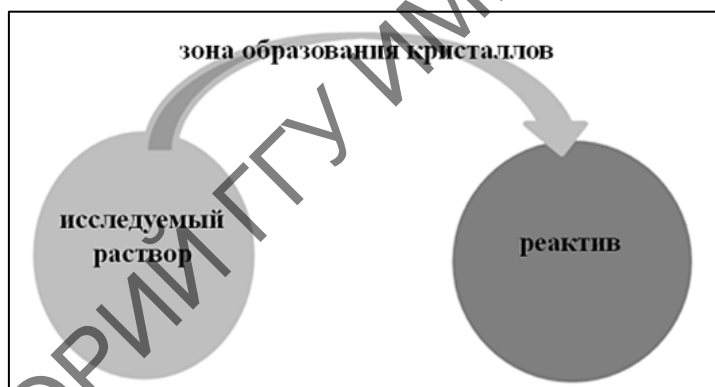
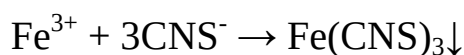


Рисунок 4 – Схема выполнения реакций на предметных стеклах

Следующие реакции провести только в пробирках.

Облить осадок, оставшийся на фильтре, 10 мл 10 % раствора HNO_3 и разлить раствор в две пробирки по 2–3 мл.

Для открытия железа в одну пробирку прилить 2–3 капли 5 % раствора NH_4CNS – при наличии железа появляется красное окрашивание раствора – выпадает осадок роданида железа.



Для открытия марганца прилить к осадку 0,5 мл концентрированной HNO_3 и добавить около 0,1 г надсернистого аммония (или 0,5 г перекиси свинца), нагреть в течение 4–5 мин в кипящей воде. При наличии марганца раствор окрашивается в фиолетовый цвет.

Задание: описать ход работы, в таблицу вставить собственные рисунки, сделанные по результатам микроскопии полученных продуктов реакции. Сделать вывод о химическом составе золы.

4.2 Лабораторная работа 10. Демонстрационные опыты на тему «Корень как орган поглощения воды и минеральных веществ»

Корневая система поглощает минеральные вещества из почвы в виде растворов вместе с водой. Корневые волоски принимают непосредственное участие в их поглощении.

4.2.1 Наблюдение корневых волосков

Цель работы: описать внешнее строение первичного корня.

Материалы и оборудование: лупа, стеклянные бюксы – 3 шт., предметные стекла, покровные стекла, растворы метиленовой сини и эозина, склянка с водой, пинцет.

Растения: 10-дневные проростки любых зерновых культур.

Ход работы:

В стеклянные бюксы налить воду, растворы метиленовой сини и эозина на высоту около 1 мм. Поместить проростки, долить жидкости так, чтобы была покрыта вся корневая система. Через 15 мин промыть корневые системы проростков, находившихся в растворах метиленовой сини и эозина, под лупой рассмотреть внешний вид корневой системы проростков, выделить зоны корня, зарисовать. Пинцетом отделить один корешок, поместить на предметное стекло, добавить каплю воды, накрыть покровным стеклом, под микроскопом рассмотреть зоны перемещения красителей.

Задание: описать ход работы, зарисовать строение первичного корня. Сделать вывод о роли корневых волосков в поглощении веществ из внешней среды.

4.2.2 Выделение воды из корня

Цель работы: описать реакцию первичного корня на помещение в гипертонический раствор.

Материалы и оборудование: стеклянные бюксы – 2 шт., насыщенный раствор NaCl .

Растения: 10-дневные проростки гороха или фасоли.

Ход работы:

В стеклянные бюксы налить воду и насыщенный раствор NaCl, отобрать два более или менее одинаковых проростка, поместить их в бюксы, долить жидкости так, чтобы был покрыт весь корень. Через 15 мин проростки вынуть из бюксов, определить наличие тургора в их корнях.

Задание: описать ход работы. Сделать вывод о причине потери тургора корнем одного из проростков.

ТЕМА 5

УСВОЕНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ РАСТЕНИЯМИ

5.1 Лабораторная работа 11. Обнаружение нитратов в растениях

Соли азотной кислоты (нитраты), поглощаемые корнями из почвы, восстанавливаются в растении до аммиака через ряд этапов, каждый из которых катализирует особый фермент. Аммиак связывается кетокислотами (α -кетоглутаровой, щавелевоуксусной и пировиноградной), образуя в процессе восстановительного аминирования первичные аминокислоты – глутаминовую, аспарагиновую и аланин. Другие аминокислоты образуются путем трансаминирования или ферментативного превращения одних аминокислот в другие. При достаточном содержании растворимых углеводов и высокой активности соответствующих ферментов перечисленные биохимические процессы происходят в корнях. Однако часть нитратов (нередко весьма значительная) может пройти через паренхиму корня в неизменном виде. В этом случае нитраты попадают в сосуды ксилемы и поднимаются с восходящим током к листьям, где и происходит их восстановление. Для восстановления нитратов требуется АТФ, образующаяся в процессе окислительного фосфорилирования или фотофосфорилирования. Определение содержания нитратов в соке, отжатом из стеблей или черешков, позволяет судить о восстановлении нитратов в корнях: чем меньше обнаруживается ионов NO_3^- в соке, тем полнее проходит этот процесс в клетках корня. Сопоставление содержания нитратов в черешках и листовых пластинках дает представление о нитратредуктазной активности клеток мезофилла. Для обнаружения нитратов можно использовать реакцию с дифениламином, который в присутствии иона NO_3^- образует синюю анилиновую краску. По интенсивности посинения можно приблизительно судить о количестве нитратов в исследуемом объекте.

Цель работы: обнаружение нитратов в тканях комнатных растений.

Материалы и оборудование: белая пластиковая тарелка, ножницы, стеклянная палочка, стакан с водой, фильтровальная бумага, штатив, три пробирки, три резиновые пробки для пробирок, 1М раствор нитрата калия, 0,7М раствор нитрата кальция, 1М раствор нитрата аммония, раствор дифениламина в серной кислоте.

Растения: стебли и листья пеларгонии, подкормленной азотными удобрениями за 2–3 дня до проведения опыта, стебли и листья пеларгонии, помещенной в темноту за 2–3 дня до проведения опыта, стебли и листья других комнатных растений (гибискус, традесканция), выращенных без дополнительной подкормки.

Ход работы:

Отрезать часть стебля с листом. На белую пластиковую тарелку поместить кусочки стебля, черешка и листовой пластинки испытуемого вида растения, размять эти кусочки стеклянной палочкой (палочку каждый раз споласкивать чистой водой и вытирать). Подготовленные фрагменты растительных тканей облить раствором дифениламина в серной кислоте, наблюдать появление синей окраски. Результаты наблюдений записать в таблицу 6, оценивая интенсивность окраски по пятибалльной шкале. В качестве образца для сравнения в трех пробирках провести реакции растворов KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и NH_4NO_3 с дифениламином, принимая за оценку «5» результат реакции с наиболее интенсивным окрашиванием – в пробирку прилить 1 мл раствора испытуемой соли, добавить 0,5 мл раствора дифениламина, пробирку закрыть пробкой, взболтать содержимое.

Таблица 6 – Количество нитратов в растениях

Объект исследования	Условия выращивания	Количество нитратов, баллов		
		в стебле	в черешке	в листе
Пеларгония	с подкормкой			
Пеларгония	на свету			
Пеларгония	в темноте			
Традесканция	на свету			
Гибискус	на свету			

Задание: описать схему опыта, сделать выводы о наличии (или отсутствии) нитратной формы азота в различных органах растения.

5.2 Лабораторная работа 12. Влияние анионов и катионов солей на форму и время плазмолиза

Одной из причин антагонизма одновалентных и двухвалентных катионов считается их противоположное действие на вязкость и гидрофильность протоплазмы клеток. Например, калий повышает гидрофильность и понижает вязкость плазмы. Преобладание кальция приво-

дит к увеличению вязкости и снижению гидрофильности. О вязкости плазмы можно судить по времени плазмолиза клеток в растворах солей. *Временем плазмолиза* называется период с момента помещения ткани растения в раствор до наступления выпуклого плазмолиза. Оно зависит от природы как катиона, так и аниона.

Цель работы: изучить влияние катионов и анионов на вязкость цитоплазмы.

Материалы и оборудование: микроскоп, предметные и покровные стекла, препаровальная игла, скальпель, склянка с водой, 1М раствор нитрата калия, 1М раствор хлорида калия, 0,7М раствор нитрата кальция, 1М раствор хлорида аммония, 1М раствор нитрата аммония.

Растения: луковица лука репчатого (синеватые или красноватые сорта).

Ход работы:

На предметное стекло в каплю исследуемого раствора поместить кусочек эпидермиса с выпуклой стороны окрашенной чешуи лука, отметить время начала опыта. Препарат накрыть покровным стеклом и рассмотреть под микроскопом при малом увеличении. Наблюдать изменение формы плазмолиза. Сначала он может быть вогнутым и даже судорожным, а потом принимает выпуклую форму. Чем меньше вязкость плазмы, тем быстрее достигается выпуклый плазмолиз. Отметить время наступления выпуклого плазмолиза у большинства клеток препарата. Результаты наблюдения записать в таблицу 7.

Таблица 7 – Влияние катионов и анионов на форму и время плазмолиза

Варианты опыта	Концентрация растворов, М	Время погружения ткани в раствор	Время наступления выпуклого плазмолиза	Время плазмолиза, мин
KNO ₃	1			
KCl	1			
Ca(NO ₃) ₂	0,7			
NH ₄ Cl	1			
NH ₄ NO ₃	1			

Задание: описать схему опыта, определить время плазмолиза и сделать выводы о влиянии катионов и анионов солей на вязкость цитоплазмы.

ТЕМА 6

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА ПОГЛОЩЕНИЕ И УСВОЕНИЕ РАСТЕНИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

6.1 Лабораторная работа 13. Физиологическая реакция солей

Корневые системы растений способны поглощать катионы и анионы избирательно, т. е. не в том соотношении, в котором они находятся в питательном растворе. При этом происходит изменение pH среды. Если из растворов солей растение поглощает больше катионов, а анионы накапливаются в среде, то pH раствора смещается в кислую сторону. Такая соль называется *физиологически кислой*. *Физиологически щелочной солью* называется такая соль, из раствора которой корни берут анионы, а катионы накапливаются в среде и подщелачивают ее. Физиологическую реакцию солей необходимо учитывать при выращивании растений на искусственных питательных смесях и внесении удобрений в полевых условиях. В последнем случае надо знать реакцию почвенного раствора.

Цель работы: установить физиологическую реакцию солей.

Материалы и оборудование: штатив, пробирки – 3 шт., индикаторная бумага, 0,1М растворы $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 и NaNO_3 .

Растения: 10-дневные проростки любых зерновых культур.

Ход работы:

В пробирки на 2/3 их объема налить 0,1М растворов $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 и NaNO_3 . При помощи индикаторной бумаги определить pH растворов. Затем в растворы поместить 6–8 проростков испытуемых культур. Через 2–2,5 ч снова определить значение pH исследуемых растворов и сделать вывод о физиологической реакции солей. Результаты опыта записать в таблицу 8.

Таблица 8 – Физиологическая реакция солей

Растворы солей	Исходное значение pH	Конечное значение pH	Физиологическая реакция солей
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$			
NH_4NO_3			
NaNO_3			

Задание: описать схему опыта, на основании полученных данных сделать вывод о физиологической реакции солей.

6.2 Лабораторная работа 14. Определение общей и рабочей адсорбирующей поверхности корневой системы (по И. И. Колосову)

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

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

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

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

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

Материалы и оборудование: спектрофотометр, 4 кюветы к нему, раствор метиленовой сини (6,4 мг в 1 л дистиллированной воды), дистиллированная вода, фильтровальная бумага, 4 стакана, 0,2н раствор CaCl_2 , мерный цилиндр, пинцет.

Растения (на 1 рабочий стол): двухнедельные проростки любых сельскохозяйственных культур с развитыми корнями.

Ход работы:

Определить объем корневой системы. Корневую систему исследуемого растения пинцетом погрузить в мерный цилиндр с известным количеством воды. После погружения корня объем воды в цилиндре увеличится. Увеличение количества воды и будет составлять объем корня (в мл).

Затем налить в 3 стакана раствор метиленовой сини, объем которой должен быть примерно в 10 раз больше объема корней.

Корни просушить фильтровальной бумагой и погрузить последовательно в 3 стакана с метиленовой синью, выдерживая по 2 мин в каждом стакане.

Далее при помощи спектрофотометра установить концентрацию метиленовой сини во всех стаканах, начиная со стандартного раствора, при длине волны 668 нм. В качестве стандартного раствора использовать исходный раствор метиленовой сини.

Концентрацию метиленовой сини в стаканах рассчитать по формуле:

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

где C_x – концентрация метиленовой сини, соответственно в 1, 2, 3-ем стаканах;

C_1 – концентрация метиленовой сини в стандартном растворе;

D_1 – оптическая плотность стандартного раствора;

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

При поглощении метиленовой сини из 1-го и 2-го стаканов происходит адсорбционное насыщение всей поверхности корней. Из 3-го стакана краска поглощается только рабочей адсорбирующей поверхностью. Следовательно, умножая $1,1 \text{ м}^2$ на число миллиграммов метиленовой сини, поглощенной из 1-го и 2-го стаканов вместе, можно получить величину общей адсорбирующей поверхности корня. Величину *рабочей адсорбирующей поверхности* можно найти, умножая $1,1 \text{ м}^2$ на количество миллиграммов краски, поглощенной из 3-го стакана.

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

Окрашенные корни после извлечения их из 3-го стакана промыть водой и поместить в стакан с раствором CaCl_2 . Наблюдается выделение метиленовой сини в обмен на адсорбированные катионы кальция. Это доказывает наличие обменной адсорбции поглощающей поверхностью корней.

Результаты опыта записать в таблицы 9, 10. Вариантами опыта являются результаты, полученные студентами на всех рабочих столах, и усредненные по видам растений.

Таблица 9 – Определение объема корней и концентрации метиленовой сини

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

Таблица 10 – Определение адсорбирующей поверхности корней

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

Задание: описать схему опыта, произвести расчеты, на основании полученных данных сделать вывод о величине общей и рабочей адсорбирующей поверхности корневой системы.

ТЕМА 7

РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

7.1 Лабораторная работа 15. Диагностика глубины покоя растений по химическим показателям (по П. А. Генкелю и Е. З. Окниной)

При переходе древесных и кустарниковых растений в состояние покоя происходит превращение запасов крахмала, накопленных в течение лета, в масла, дающие окраску с таким реактивом, как Судан-3 (красно-оранжевое окрашивание). В весеннее время и к моменту сокодвижения происходит образование сахаров. Поэтому, исследуя химизм древесины или почек, можно диагностировать состояние покоя растений (предварительный, глубокий и вынужденный). Так как в разные периоды покоя неодинакова и морозоустойчивость растений (наивысшая морозоустойчивость приходится на период глубокого покоя), то одновременно это и метод диагностики морозоустойчивости растений.

Цель работы: определить глубину покоя древесных растений.

Материалы и оборудование: бритвы, предметное стекло, концентрированная H_2SO_4 , глицерин, растворы: йода в KI, Судан-3 (20 мг судана в 10 мл спирта и 10 мл глицерина), 2 % раствор α -нафтола (2 г α -нафтола растворить в 100 мл этанола), 70 % этанол (10 мл на одну пару студентов).

Растения: свежесрезанные ветки деревьев диаметром не менее 0,5 см.

Ход работы:

Сделать поперечные срезы однолетних зимующих ветвей древесных растений и продольные срезы их почек. Поместить срезы на предметные стекла и нанести (раздельно) капли следующих реактивов:

1. Йод-калий-йод: почернение с крахмалом.
2. Судан-3. Через 5–10 мин промыть срезы 70 % спиртом: оранжево-красное окрашивание с маслами.
3. Альфа-нафтол и далее 1–2 капли концентрированной серной кислоты: темно-малиновое окрашивание в присутствии сахаров.

При проведении этих проб в осенний период в древесине и почках обнаруживается крахмал, а масла, как правило, отсутствуют. В период глубокого покоя, наоборот, отсутствует крахмал, но получается интенсивная реакция на масла и сахара. Ближе к весне реакция на сахара усиливается, а на масла ослабевает. Отметить особенности реакции у разных пород, сравниваемых одновременно.

Чем более морозоустойчиво растение, тем более яркое окрашивание получается при использовании реактива Судан-3. При этом у почек следует обращать внимание на интенсивность окрашивания клеток зачаточных листьев и зоны под меристемой. Чем интенсивнее окрашивание этих тканей и чем больше клеток дает это окрашивание, тем более устойчиво растение к действию низких температур.

Задание: описать схему опыта. Сделать вывод о глубине покоя ветвей и почек древесных растений.

7.2 Лабораторная работа 16. Наблюдение периодичности роста древесных побегов

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.

Цель работы: оценить периодичность роста побегов древесных растений.

Материалы и оборудование: линейка, миллиметровая бумага.

Растения: ветки 3–4 видов деревьев (береза повислая, ива остролистная, туя западная и др.) длиной не менее 1,0 м.

Ход работы:

Измерить линейкой длину междоузлий побегов древесных растений. Результаты измерения занести в таблицу 11.

Таблица 11 – Ход роста древесных побегов

Номер междоузлия от основания побега	Береза повислая		Туя западная	
	длина междоузлия	длина побега	длина междоузлия	длина побега
1				
2				
3				
4				
5 и т. д.				

На листах миллиметровой бумаги построить графики прироста междоузлий и побега каждого вида деревьев. По оси абсцисс отложить номера междоузлий, считая от основания побега, по оси ординат – длину междоузлий и длину побега.

Задание: описать ход работы. Сделать вывод о периодичности роста побегов разных видов деревьев.

7.3 Лабораторная работа 17. Обнаружение белков, крахмала и жиров в тканях растений

Цель работы: экспресс-определение белков, крахмала и жиров в тканях растений.

7.3.1 Экспресс-метод обнаружения белка в семенах разных видов растений

Материалы и оборудование: ступки и пестики, мерный цилиндр на 10 мл, пробирки, стаканчики с водой, 30 % раствор NaOH, 5 % раствор CuSO₄.

Растения (на 1 рабочий стол): семена арахиса², фасоли (или гороха), овса (или другой зерновой культуры).

Ход работы:

Навеску 0,1 г семян растереть в ступке с 2 мл 30 % раствора NaOH, прилить 2 мл 5 % CuSO₄ и продолжить растирание. Смыть кашицу 10 мл воды в пробирку и оставить отстаиваться на 20–30 мин. Раствор над осадком окрашивается в фиолетовый цвет, пропорциональный по интенсивности содержанию белков (биуретовая реакция на белки).

Задание: описать схему опыта. По интенсивности фиолетовой окраски смесей в пробирках сделать вывод о содержании белка в семенах изучаемых видов растений.

7.3.2 Экспресс-метод обнаружения крахмала в семенах и древесине

Материалы и оборудование: мерный цилиндр на 10 мл, ступки и пестики, выпарительные чашки, электроплитка, йодная спиртовая настойка, этанол для ее разбавления – 10 мл на подгруппу, нож.

Растения (на 1 рабочий стол): семена арахиса, фасоли (или гороха), овса (или другой зерновой культуры), свежесрезанные ветки деревьев диаметром не менее 0,5 см.

² Можно предложить студентам принести для анализа любимые ими орехи и/или семечки – обязательно не жаренные.

Ход работы:

Навеску 0,1 г семян растереть в ступке с 2 мл воды, перенести в выпарительную чашку, прилить еще 2 мл воды, довести до кипения, охладить, добавить каплю йодной настойки. Определить по окрашиванию, имеется ли крахмал в семенах.

Снять с веток кору и приготовить 1 г стружек заболонной³ древесины ветвей изучаемых видов деревьев. Стружки поместить в выпарительную чашку, прилить 5 мл воды, прокипятить для извлечения крахмала. Слить раствор в другую чашку и упарить до 0,5–1,0 мл, затем охладить. Прибавить каплю разбавленной спиртом йодной настойки. При наличии крахмала раствор окрашивается в синий или черный цвет.

Задание: описать схему опыта. По наличию окраски и ее интенсивности сделать вывод о содержании крахмала в семенах и древесине изучаемых видов растений.

7.3.3 Экспресс-метод открытия масел в семенах

Материалы и оборудование: писчая бумага размером 10x10 см, пестик.

Растения (на 1 рабочий стол): семена арахиса, фасоли (или гороха), овса (или другой зерновой культуры).

Ход работы:

Поместить на листке бумаги навеску 0,1 г семян. Пестиком раздавить каждое семя, выдавливая из него масло. Просмотреть бумагу на свет. Подсчитать количество пятен масла, окрашенных в буроватый цвет, и рассчитать процент семян, давших эти пятна. В бурый цвет окрашено масло семян, утративших всхожесть.

Задание: описать схему опыта. Сделать вывод о содержании жира в семенах изучаемых видов растений и их всхожести.

³ Заболонь, или подкорье – наружные молодые, физиологически активные слои древесины стволов, ветвей и корней, примыкающие к образовательной ткани – камбию. Часть клеток заболони содержит запасные вещества.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Ответьте на вопросы, выбрав верный ответ.

1. Транспортная система клетки включает...

- а) эндоплазматический ретикулум и аппарат Гольджи;
- б) эндоплазматический ретикулум и цитоскелет;
- в) эндоплазматический ретикулум и плазмодесмы;
- г) эндоплазматический ретикулум и вакуоли;
- д) эндоплазматический ретикулум и пластиды.

2. Вакуоль растительной клетки...

- а) производит элементы цитоскелета;
- б) накапливает конечные продукты метаболизма;
- в) содержит ферменты β -окисления жирных кислот;
- г) модифицирует пигменты фотосинтеза;
- д) осуществляет биосинтез липидов.

3. К функциям пероксисом относят...

- а) фотодыхание и гидролиз белков;
- б) β -окисление жирных кислот;
- в) окисление гликолевой кислоты;
- г) окислительное фосфорилирование;
- д) биосинтез жирных кислот.

4. К функциям глиоксисом относят...

- а) фотодыхание и гидролиз белков;
- б) β -окисление жирных кислот;
- в) окисление гликолевой кислоты;
- г) окислительное фосфорилирование;
- д) биосинтез жирных кислот.

5. Липидные рафты – это...

- а) микродомены мембраны, обогащенные рецепторными белками;
- б) микродомены мембраны, обогащенные гликофинголипидами и фитостеринами;
- в) микродомены плазматической мембраны, обогащенные хлорофиллом;

г) микродомены плазматической мембраны, обогащенные фитогормонами;

д) микродомены плазматической мембраны, обогащенные каротиноидами.

6. В процессе синтеза плазмалеммы активно участвует(-ют)...

а) пероксисомы;

б) вакуоли;

в) аппарат Гольджи;

г) глиоксисомы;

д) лизосомы.

7. Микрофиламенты обеспечивают...

а) синтез углеводов;

б) дыхание;

в) тургорное давление;

г) внутриклеточные движения и переменную вязкость гиалоплазмы;

д) поглощение минеральных веществ.

8. В состав клеточных оболочек входят...

а) углеводы, белки, жиры, нуклеиновые кислоты;

б) целлюлоза, гемицеллюлозы, пектиновые вещества, белки;

в) целлюлоза, углеводы, белки, жиры;

г) целлюлоза, ферменты, пектиновые вещества, гормоны;

д) аминокислоты, гемицеллюлоза, рибоза.

9. Рост клеток растяжением обеспечивается...

а) отложением лигнина в клеточной оболочке;

б) активацией систем рецепции сигналов;

в) увеличением объема вакуоли;

г) отложением суберина в клеточной оболочке;

д) усиленным биосинтезом белков.

10. Дедифференцировка клеток – это...

а) переход специализированных клеток к делению;

б) формирование различий между клетками;

в) запрограммированная гибель (апоптоз);

г) начало оплодотворения;

д) реакция на продолжительность дня.

11. В состав сигнальной системы клеток не входят...

- а) рецепторы;
- б) эффекторы;
- в) вторичные мессенджеры;
- г) G-белки;
- д) вторичные метаболиты.

12. К вторичным мессенджерам не относится...

- а) инозитолтрифосфат;
- б) ионы Ca^{2+} ;
- в) диацилглицерол;
- г) фосфоенолпируват;
- д) циклический аденозинмонофосфат.

13. Движение воды от клеток эпидермиса к сосудам коры, проходящее по цитоплазме и плазмодесмам, называется...

- а) апопластным путем;
- б) комбинированным путем;
- в) трансмембранным путем;
- г) симпластным путем;
- д) сигнальным путем.

14. Циторриз – это разновидность плазмолиза, при котором...

- а) протопласт отделяется от клеточной стенки;
- б) протопласт не отделяется от клеточной стенки;
- в) протопласт не принимает участия;
- г) происходит гуттация;
- д) происходит плач растений.

15. Плазмолиз можно наблюдать при погружении ткани в... раствор.

- а) гипотонический;
- б) изотонический;
- в) гипертонический;
- г) насыщенный;
- д) уравновешенный.

16. Состояние клетки, при котором ее водный потенциал равен нулю, называется...

- а) насыщением;
- б) циторризом;

- в) плазмолизом;
- г) завяданием;
- д) гомеостазом.

17. Водный обмен растения включает в себя следующие процессы:...

- а) поглощение и расходование воды;
- б) поглощение воды, перемещение ее по растению и расходование;
- в) поглощение и перемещение воды по растению;
- г) перемещение воды по растению и ее расходование;
- д) поглощение воды и ее метаболизация.

18. Проявлением корневого давления у растений является...

- а) плазмолиз и циторриз;
- б) плазмолиз и гуттация;
- в) плач растений и гуттация;
- г) плач растений и циторриз;
- д) гуттация и циторриз.

19. Транспорт веществ через мембрану растительной клетки в унипорте – это...

- а) трансмембранное перемещение веществ против электрохимического градиента с затратой метаболической энергии;
- б) транспорт веществ по химическому градиенту в ту же сторону, что и транспорт ионов H^+ ;
- в) транспорт веществ в направлении, противоположном транспорту H^+ ;
- г) транспорт веществ через ионные насосы;
- д) перемещение веществ в одном направлении по электрическому и концентрационному градиенту.

20. Дальний транспорт веществ у растений – это...

- а) передвижение веществ между органами в целом растении;
- б) передвижение ионов, метаболитов и воды между клетками и тканями;
- в) передвижение веществ от корней к стеблям;
- г) передвижение веществ от листьев к зонам потребления или отложения их в запас;
- д) передвижение веществ к аттрагирующим зонам.

21. Основная часть ионов поступает в оболочку растительной клетки путем...

- а) активного транспорта;
- б) диффузии;
- в) адсорбции;
- г) пиноцитоза;
- д) фагоцитоза.

22. Молибден в жизни растений...

- а) является компонентом активного центра нитрогеназы;
- б) катализирует начальные этапы фотосинтеза;
- в) является обязательным элементом хлорофилла;
- г) входит в состав углеводов;
- д) необходим для роста клеток как кофактор РНК-полимеразы.

23. В результате первичной ассимиляции аммония растениями в ГС/ГОГАТ-пути образуется(-ются)...

- а) только глутаминовая кислота;
- б) только глутамин;
- в) глутаминовая кислота и глутамин;
- г) любые аминокислоты;
- д) любые аминокислоты и амиды.

24. ГДГ путь ассимиляции аммония протекает в следующих компартментах клетки:...

- а) в цитозоле и пластидах;
- б) в вакуолях и митохондриях;
- в) в цитозоле и лизосомах;
- г) в цитозоле и пероксисомах;
- д) в пластидах и митохондриях.

25. Элементами минерального питания, образующими макроэргические соединения, являются...

- а) железо и медь;
- б) цинк и алюминий;
- в) кремний и кальций;
- г) азот и кислород;
- д) сера и фосфор.

26. Восстановление нитратного азота происходит в следующих компартментах клетки:...

- а) в цитозоле, хлоропластах и лейкопластах;
- б) в вакуолях, хлоропластах и митохондриях;
- в) в цитозоле, митохондриях и лизосомах;
- г) в цитозоле, хлоропластах и пероксисомах;
- д) в вакуолях, пероксисомах и митохондриях.

27. Фосфор в растениях...

- а) входит в состав целлюлозы;
- б) является обязательным элементом хлорофилла;
- в) входит в состав ядерных белков, нуклеиновых кислот, АТФ;
- г) входит в состав всех аминокислот, белков и нуклеиновых кислот;
- д) входит в состав всех углеводов клетки.

28. Фитогормоны гиббереллины...

- а) являются фактором физиологического покоя, процессов старения и отторжения органов;
- б) задерживают процессы старения;
- в) обеспечивают апикальное доминирование, тропизмы;
- г) ингибируют рост, регулируют длительность покоя;
- д) способствуют удлинению цветоножки (стрелкованию).

29. Рецепторный белок растений, воспринимающий красный свет и регулирующий фотопериодическую реакцию, называется...

- а) зеаксантином;
- б) фукоксантином;
- в) фитохромом;
- г) фикоцианином;
- д) фикоэритрином.

30. Фитогормоны стероидной природы называют...

- а) ауксинами;
- б) гиббереллинами;
- в) фунгицидами;
- г) цитокининами;
- д) брассинами.

31. Состояние растения, или отдельного органа, когда нет видимого роста в благоприятных условиях окружающей среды, называется...

- а) корреляцией;
- б) компетенцией;
- в) глубоким покоем;
- г) вынужденным покоем;
- д) полярностью.

32. Скарификация относится к... способам выведения семян из состояния покоя.

- а) механическим;
- б) биохимическим;
- в) химическим;
- г) морфологическим;
- д) физиологическим.

33. Регуляцию перехода растения от вегетации к цветению с помощью внешних факторов называют...

- а) яровизацией;
- б) экологическим контролем зацветания;
- в) фотопериодизмом;
- г) этиоляцией;
- д) корреляцией.

34. Растения с длинными междоузлиями, недоразвитыми листовыми пластинками, лишенные хлорофилла, называются...

- а) больными;
- б) уродливыми;
- в) этиолированными;
- г) недоразвитыми;
- д) модифицированными.

35. Поликарпические растения...

- а) цветут один раз, но образуют много цветков и плодов;
- б) живут много лет и цветут много раз в жизни;
- в) живут много лет, но цветут один раз в жизни;
- г) живут один год и цветут один раз;
- д) являются эфемерами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, В. В. Физиология растений : учебник : в 2 т. Т. 1 / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – М. : Юрайт, 2019. – 437 с.
2. Кузнецов, В. В. Физиология растений : учебник. и 2 т. Т. 2 / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – М. : Юрайт, 2019. – 459 с.
3. Юрин, В. М. Физиология растений : учеб. пособие / В. М. Юрин. – Минск : БГУ, 2010. – 455 с.
4. Хелдт, Г.-В. Биохимия растений / Г.-В. Хелдт. – М. : Бинном. Лаборатория знаний, 2011. – 463 с.
5. Крючков, В. А. Практикум по физиологии древесных растений : учебное пособие / В. А. Крючков, И. К. Булатова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2006. – 248 с.
6. Практикум по физиологии растений : учебное пособие / В. Б. Иванов [и др.]. – М. : Академия, 2004. – 144 с.
7. Практикум по физиологии растений : учебно-методическое пособие / В. Н. Воробьев [и др.]. – Казань : Казанский университет, 2013. – 80 с.
8. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М. : Академия, 2006. – 256 с.

Производственно-практическое издание

Храмченкова Ольга Михайловна

**ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ:
ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

Практическое пособие

Редактор А. А. Банчук
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 18.09.2023. Формат 60х84 1/16.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,8. Уч.-изд. л. 3,1.

Тираж 10 экз. Заказ 477.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования

«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017.

Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.

Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.

