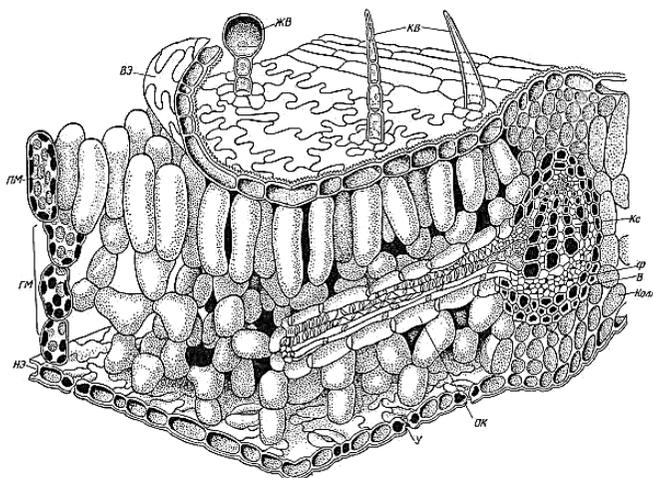


МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

В.В. Кондратенко

# ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Практикум



Благовещенск  
Издательство ДальГАУ  
2016

УДК 581.1 (075.8)

Кондратенко, В.В. Физиология растений: Практикум: учебное пособие / сост. канд.биол.наук, доц. В.В. Кондратенко. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2016. – 101 с.

Учебное пособие содержит описание лабораторных работ по основным разделам физиологии растений. Каждая работа включает цель, краткое теоретическое объяснение, список материалов и оборудования, затем подробные указания по выполнению работы (ход работы), порядок выполнения расчета полученных результатов и формулирования выводов, после чего приводятся вопросы для самоконтроля.

Пособие разработано в соответствии с программой по курсу «Физиология растений» для студентов сельскохозяйственных вузов, обучающихся по направлениям подготовки 35.03.01. – «Лесное дело» и 06.03.01. – «Биология» всех форм обучения.

Основная цель практикума – углубить и расширить знания студентов по теоретическому курсу физиологии растений, познакомить их с методами исследования, привить навыки самостоятельной работы, научить их анализировать полученные результаты, делать выводы и обобщения.

Рецензент – Н.Ю. Леусова, канд.биол.наук, ученый секретарь ИГиП ДВО РАН,

Печатается по решению методического совета факультета природопользования Дальневосточного государственного аграрного университета (Протокол №7 от 03 марта 2016 года).

Издательство Дальневосточного ГАУ  
2016

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>Раздел 1 ФИЗИОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ .....</b>	<b>6</b>
РАБОТА 1. СТРОЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ И ЕЕ ОТЛИЧИЕ ОТ ЖИВОТНОЙ КЛЕТКИ.....	8
РАБОТА 2. ЯВЛЕНИЯ ПЛАЗМОЛИЗА И ДЕПЛАЗМОЛИЗА .....	10
РАБОТА 3. РАЗНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОГРАНИЧНЫХ СЛОЕВ ЦИТОПЛАЗМЫ. КОЛПАЧКОВЫЙ ПЛАЗМОЛИЗ.....	13
РАБОТА 4. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИВОЙ И МЕРТВОЙ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ .....	16
РАБОТА 5. ВРЕМЕННЫЙ И СТОЙКИЙ ПЛАЗМОЛИЗ .....	17
РАБОТА 6. ЯВЛЕНИЕ ТУРГОРА .....	18
РАБОТА 7. ОСМОТИЧЕСКИЙ ВЫХОД ВОДЫ ИЗ ПЛАЗМОЛИЗИРОВАННЫХ КЛЕТОК .....	20
РАБОТА 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА РАСТИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ МЕТОДОМ ПОЛОСОК (ПО ЛИЛИЕНШТЕРН).....	21
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО РАЗДЕЛУ «ФИЗИОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ» .....	23
<b>Раздел 2 ВОДООБМЕН РАСТЕНИЙ .....</b>	<b>25</b>
РАБОТА 9 (ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ). КОРНЕВОЕ ДАВЛЕНИЕ У РАСТЕНИЙ .....	27
РАБОТА 10. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДВИЖЕНИЕМ УСТЬИЦ.....	28
РАБОТА 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПИРАЦИИ У СРЕЗАННЫХ ЛИСТЬЕВ ПРИ ПОМОЩИ ТОРСИОННЫХ ВЕСОВ (ПО Л.И. ИВАНОВУ).....	29
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО РАЗДЕЛУ «ВОДООБМЕН РАСТЕНИЙ».....	33
<b>Раздел 3 ФОТОСИНТЕЗ .....</b>	<b>34</b>
РАБОТА 12. ПОЛУЧЕНИЕ СПИРТОВОГО РАСТВОРА (ВЫТЯЖКИ) ПИГМЕНТОВ.....	37
РАБОТА 13. РАЗДЕЛЕНИЕ ПИГМЕНТОВ ПО КРАУСУ (РАСТВОРИМОСТЬ ПИГМЕНТОВ В ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ).....	38
РАБОТА 14. РЕАКЦИЯ ОМЫЛЕНИЯ ХЛОРОФИЛЛА ЩЕЛОЧЬЮ .....	39
РАБОТА 15. ПОЛУЧЕНИЕ ФЕОФИТИНА И ОБРАТНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В НЕМ ВОДОРОДА АТОМОМ МЕТАЛЛА .....	40
РАБОТА 16. ФОТОСЕНСИБИЛИЗИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ХЛОРОФИЛЛА НА РЕАКЦИЮ ПЕРЕНОСА ВОДОРОДА (ПО ГУРЕВИЧУ).....	42
РАБОТА 17. ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ ХЛОРОФИЛЛА .....	44
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО РАЗДЕЛУ «ФОТОСИНТЕЗ» .....	46
<b>Раздел 4 ДЫХАНИЕ .....</b>	<b>48</b>
РАБОТА 18. ОБНАРУЖЕНИЕ ДЫХАНИЯ РАСТЕНИЙ .....	49

РАБОТА 19 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЫХАТЕЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА СЕМЯН .....	51
РАБОТА 20 ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕГИДРОГЕНАЗ У ДРОЖЖЕЙ .....	54
РАБОТА 21. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРОКСИДАЗЫ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ТКАНЯХ.....	55
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО РАЗДЕЛУ «ДЫХАНИЕ».....	57
<b>Раздел 5 МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ.....</b>	<b>59</b>
РАБОТА 22. МИКРОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗОЛЫ РАСТЕНИЙ .....	60
РАБОТА 23. АНТАГОНИЗМ ИОНОВ .....	64
РАБОТА 24. ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ РАСТЕНИЙ ПРИ ГОЛОДАНИИ ПО ЭЛЕМЕНТАМ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ.....	65
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО РАЗДЕЛУ «МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ».....	68
<b>Раздел 6 РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ.....</b>	<b>70</b>
РАБОТА 25. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ РОСТА КОРНЯ.....	72
РАБОТА 26. ПЕРИОДИЧНОСТЬ РОСТА РАСТЕНИЙ.....	75
РАБОТА 27. ОБНАРУЖЕНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ГЕОТРОПИЗМА У ПОБЕГОВ И ИХ ЧАСТЕЙ.....	77
РАБОТА 28. ОБНАРУЖЕНИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ГЕОТРОПИЗМА У КОРНЯ .....	79
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО РАЗДЕЛУ «РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ» .....	80
<b>Раздел 7 УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ .....</b>	<b>82</b>
РАБОТА 29. ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ САХАРОВ НА ПРОТОПЛАЗМУ .....	84
РАБОТА 30. ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ САХАРА НА БЕЛКИ ПРОТОПЛАЗМЫ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ .....	86
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО РАЗДЕЛУ «УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ».....	86
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>88</b>
Термины по курсу «Физиология растений» .....	88
<i>Физиология растительной клетки.....</i>	88
<i>Водный обмен растений.....</i>	89
<i>Фотосинтез .....</i>	91
<i>Дыхание .....</i>	93
<i>Минеральное питание растений .....</i>	94
<i>Рост и развитие растений.....</i>	95
<i>Устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды .....</i>	96
ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРОВ.....	97
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>100</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Физиология растений – это наука о процессах, происходящих в растительном организме: почвенное, воздушное и гетеротрофное питание, синтез, транспорт и распад веществ, рост и развитие, движения растений, взаимодействие с патогенами, реакции на неблагоприятные факторы внешней среды.

Физиология растений занимается процессами, происходящими на разных уровнях организации: молекулярном, субклеточном, клеточном, тканевом, органном, организменном и биоценоотическом. В растении все процессы на любом уровне организации взаимосвязаны, изменение какого-либо процесса сказывается на всей жизнедеятельности организма.

Пособие разработано в соответствии с программой по физиологии растений для высших сельскохозяйственных учебных заведений как руководство при проведении лабораторных занятий и самостоятельной работы студентов направлений 06.03.01 – «Биология» и 35.03.01. – «Лесное дело».

Пособие включает лабораторные работы по основным разделам курса физиологии растений, ставшие классическими. Предлагаемые работы будут содействовать лучшему и более глубокому усвоению студентами учебного материала в целом и развитию у них практических навыков для самостоятельной экспериментальной деятельности.

Основная цель практикума – углубить и расширить знания студентов по теоретическому курсу физиологии растений, познакомить их с методами исследования по дисциплине, привить навыки самостоятельной работы, научить их анализировать полученные результаты, делать выводы и обобщения.

## Раздел 1

### ФИЗИОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ

Клетка представляет собой структурную и функциональную единицу всего живого. Специфическими особенностями строения растительных клеток является наличие системы пластид, крупной центральной вакуоли, а также прочной полисахаридной клеточной стенки. Растительная клетка содержит три относительно автономных, но тесно взаимодействующих между собой генетических системы – ядерную, митохондриальную и пластидную (рис. 1).

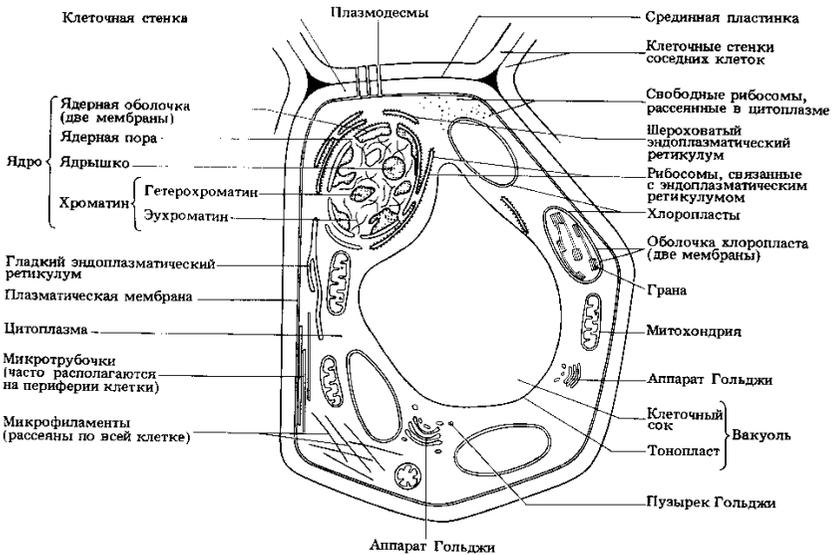


Рис. 1. Структура растительной клетки (по Полевому В. В., 1989)

Живая клетка представляет собой открытую биологическую систему, обменивающуюся с окружающей средой веществом, энергией и информацией. Ее структурную основу составляют биологические мембраны. Поверхностная мембрана – *плазмалемма* изолирует клетку от окружающей среды. Органеллы цитоплазмы имеют свои

поверхностные мембраны. Вакуоль ограничена внутренней мембраной цитоплазмы – *тонопластом*. Таким образом, мембраны осуществляют разделение клетки на отдельные участки – *компартменты*, в которых поддерживается постоянство среды – *гомеостазис*. Мембраны составляют также внутреннюю структуру таких органелл, как хлоропласты и митохондрии, увеличивая поверхность, на которой протекает трансформация энергии в клетке и образование универсальных аккумуляторов энергии – молекул АТФ.

Клеточные мембраны состоят в основном из белков и липидов. Молекулы этих веществ образуют упорядоченную структуру, благодаря водородным и ионным химическим связям. Все мембраны обладают избирательной проницаемостью.

Мембраны выполняют следующие функции: регуляцию поглощения и выделения веществ; организацию ферментных и пигментных комплексов, участвующих в фотосинтезе, дыхании, синтезе различных веществ; передачу биоэлектрических сигналов по клеткам и тканям живого организма. Функции растительной клетки в целом определяются согласованной деятельностью отдельных органелл.

Важнейший компонент клетки – ядро – хранит и передает наследственную информацию, заключенную в определенных нуклеотидных последовательностях молекулы ДНК, оно также регулирует все жизненные процессы в клетке.

Хлоропласты и митохондрии – энергетические станции клетки – являются полуавтономными органеллами. Они обладают своей, отличной от ядерной, наследственной информацией, реализующиеся в этих органеллах при синтезе специфических белков. Однако их функционирование теснейшим образом связано с деятельностью белков, кодируемых ядерной ДНК.

Каждая клеточная органелла выполняет оригинальную и незаменимую функцию. Эндоплазматическая сеть переносит вещества и передает сигналы, аппарат Гольджи выполняет секреторную функцию, снабжая строительным материалом клеточную стенку; в сферосомах происходит синтез липидов, а лизосомы изолируют гидролитические ферменты от цитозоля, предотвращая в нем неконтролируемый лизис веществ. Единственные органеллы, не имеющие мембран, – рибосомы. В них осуществляется сборка специфических белков из аминокислот согласно информации, поступающей от ДНК.

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.

Вода растительными клетками поглощается по законам осмоса. Перемещение молекул воды из внешней среды в клетку, а также от клетки к клетке происходит по градиенту уровня свободной энергии молекул воды, который определяется их химическим потенциалом. Точкой отсчета уровня свободной энергии молекул воды берется ее уровень у молекул чистой воды в стандартных условиях. Химический потенциал воды в водных растворах и клетках меньше, чем у чистой воды. Эта разница, называется водным потенциалом, отражает способность воды в данной системе совершать работу в сравнении с работой, которую при тех же условиях совершала бы чистая вода. Водный потенциал определяет способность молекул воды диффундировать, испаряться или поглощаться.

Молекулы растворенных в воде веществ снижают уровень свободной энергии молекул воды. Это снижение измеряется осмотическим потенциалом. Осмотический потенциал – компонент водного потенциала раствора, который определяется присутствием растворенных веществ, снижающих химический потенциал воды. Поэтому осмотический потенциал всегда величина отрицательная.

### **Работа 1. Строение растительной клетки и ее отличие от животной клетки**

*Вводные пояснения.* Клетка обладает сложной структурной организацией и представляет собой систему, дифференцированную на отдельные органеллы. Растительная клетка имеет клеточную стенку и протопласт. Протопласт состоит из ядра с ядрышком, цитоплазмы и включенных в нее мембранных (вакуоль, пластиды, митохондрии, аппарат Гольджи, лизосомы, эндоплазматический ретикулум) и немембранных (микротрубочки, рибосомы) органелл. Все органеллы погружены в матрикс цитоплазмы – гиалоплазму или основную плазму (рис. 1).

Все окруженные полупроницаемой мембраной компоненты клетки представляют собой замкнутые образования, в которых про-

исходят разнообразные биохимические реакции. Цитоплазматический матрикс также разделен на отсеки эндоплазматической сетью. Тем самым достигается дополнительное пространственное разделение (компарментализация).

Растительные клетки в отличие от животных имеют ряд особенностей. В растительных клетках имеются пластиды, клеточная стенка, большая центральная вакуоль.

*Цель работы.* Ознакомиться со строением растительной клетки, ролью органоидов в ее жизнедеятельности и отличиями от животной клетки.

*Материалы и оборудование:* окрашенный лук (*Allium* сера L.), в клетках которого содержится антоциан; препаровальные иглы; покровные и предметные стекла; вода; микроскоп; полоски фильтровальной бумаги; стеклянные палочки.

*Ход работы.* Приготовить срез эпидермиса чешуи лука, положить его на предметное стекло в каплю воды, накрыть покровным стеклом, препарат рассмотреть сначала при малом, а потом – при большом увеличении. Зарисовать несколько клеток эпидермиса чешуи лука.

Затем приготовить препарат эпидермиса листа элодеи. Зарисовать 1–2 клетки листа элодеи. На рисунках обозначить клеточную оболочку, вакуоль с клеточным соком, плазмалемму, тонопласт, ядро и пластиды.

На основе наблюдений и сравнения растительной клетки со строением животной клетки сделать вывод о структурных отличиях растительной клетки от клетки животной.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. В чем проявляется структурное сходство между растительной и животной клеткой?
2. Какие различия в функциях растительной и животной клеток соответствуют их структурным различиям?
3. Какие экспериментальные гипотезы 20 века наиболее способствовали расширению наших представлений о структуре и функциях клетки?
4. Перечислите общие особенности строения и общие свойства мембран клетки.
5. Укажите различия между плазмалеммой и тонопластом. Как

связаны эти различия с их функциями?

6. У хлоропластов и митохондрий, помимо наружной мембраны, имеется еще и внутренняя. В чем заключаются функции этих внутренних мембран?

7. Опишите основные процессы, протекающие в каждой из органелл клетки зеленого листа.

8. Как формируется структура клеточной оболочки и какова ее функция?

## **Работа 2. Явления плазмолиза и деплазмолиза**

*Вводные пояснения.* Растительную клетку можно рассматривать как осмотическую систему, в которой роль одного раствора играет клеточный сок, а роль полупроницаемой перепонки – протопласт с её цитоплазматическими мембранами. Свойства ограничивающих клетку перепонки определяют законы проникновения внутрь клетки воды и питательных веществ. Клеточная оболочка представляет собой мелкопористое образование. Она лишь несколько задерживает диффузию воды и растворенных в ней веществ. Плазмалемма – наружный слой цитоплазмы, и особенно тонопласт отграничивающий протоплазму от находящегося внутри неё клеточного сока вакуоли, по своим осмотическим свойствам приближаются к полупроницаемым перепонкам. Эти перепонки легко пропускают воду и не пропускают растворенные в ней вещества, поэтому сквозь них не происходит экзоосмос (выход растворенных веществ наружу). Благодаря наличию концентрированного клеточного сока и полупроницаемой цитоплазмы клетка в растворах ведет себя как осмотическая система.

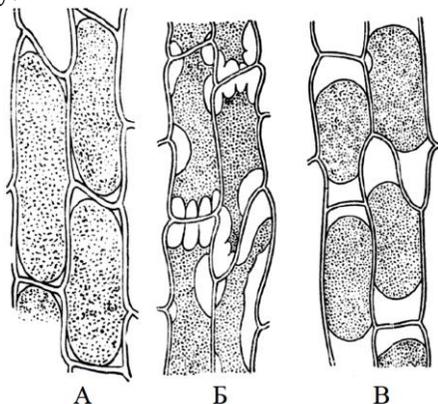
Клеточный сок, как и любой раствор, обладает потенциальным осмотическим давлением; стоит только отделить его от чистой воды полупроницаемой перепонкой, как он начнет сосать воду с силой, численно равной его осмотическому давлению, то есть давлению, которое нужно приложить, чтобы воспрепятствовать передвижению воды в сторону раствора.

При погружении клетки в гипертонический раствор вода из нее выходит наружу. При этом объем клеточного сока уменьшается, вакуоль сжимается и тянет за собой протоплазму. Протопласт отстает от клеточной оболочки.

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

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

Клеточные стенки сокращаются до полной потери тургора, после чего начинается плазмолиз, т.е. отставание цитоплазмы от оболочки клетки. В ходе плазмолиза очертания поверхности цитоплазмы меняются. Явление плазмолиза протекает в следующей последовательности (рис. 2): сначала цитоплазма отстает от оболочки в уголках (уголковый плазмолиз), затем во многих местах с образованием вогнутых поверхностей (вогнутый плазмолиз) и, наконец, принимает округлую форму (выпуклый плазмолиз). Плазмолиз – это явление отхождения цитоплазмы от клеточной стенки под действием раствора большей концентрации, чем концентрация клеточного сока. Процесс исчезновения плазмолиза называется деплазмолизом. Наблюдается в том случае, если плазмолизованную клетку поместить в воду.



**Рис. 2. Формы плазмолиза: А – уголковый; Б – вогнутый; В – выпуклый**

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

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

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

*Материалы и оборудование:* окрашенный лук (*Allium sera* L.), в клетках которого содержится антоциан; 1 М раствор сахарозы; дистиллированная вода; скальпель; кусочки фильтровальной бумаги; предметные и покровные стекла; препаровальные иглы; микроскоп.

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

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

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

Через 10–15 мин, когда плазмолиз будет хорошо заметен, ввести под покровное стекло каплю воды, отсасывая раствор сахарозы фильтровальной бумагой. В этом случае плазмолиз прекращается, и

протопласт начинает снова заполнять весь объем клетки, т.е. наступает деплазмолиз. Деплазмолиз – явление, обратное плазмолизу.

В тетради записать результаты наблюдений, сделать рисунки клетки: клетка до плазмолиза, в состоянии уголкового, вогнутого и выпуклого плазмолиза.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Почему растительную клетку можно рассматривать как осмотическую систему?

2. Какими осмотическими свойствами обладают плазмалемма, мезоплазма и тонопласт?

3. Что такое плазмолиз и в каких условиях растительная клетка его осуществляет?

4. Какова последовательность протекания плазмолиза? Виды плазмолиза.

5. Что такое деплазмолиз?

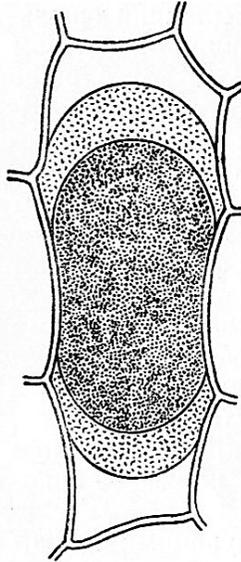
6. Можно ли с помощью плазмолиза отличить живую клетку (ткань) от мертвой?

### **Работа 3. Разная проницаемость пограничных слоев цитоплазмы. Колпачковый плазмолиз**

*Вводные пояснения.* Цитоплазма клетки включает в себя три слоя: плазмалемму, мезоплазму и тонопласт. Проникновение веществ в клетку происходит в несколько этапов. Сначала они поступают в мезоплазму через плазмалемму, затем перемещаются в клеточный сок через тонопласт. Плазмалемма и тонопласт – это две белково-липидные мембраны, обладающие различной проницаемостью для растворенных в воде веществ.

Различают два вида проникновения веществ в клетку, связанных с различной избирательной проницаемостью ее мембран: сквозную проницаемость и одностороннюю проницаемость. При сквозной проницаемости вещество проходит через всю толщу цитоплазмы и попадает в клеточный сок, то есть в вакуоль. При односторонней проницаемости вещество проходит через плазмалемму и попадает в мезоплазму, но не может пройти через тонопласт, так как эта мембрана вдвое толще и плотнее по сравнению с плазмалеммой.

В этом можно легко убедиться на примере возникновения колпачкового плазмолиза (рис. 3).



**Рис. 3. Колпачковый плазмолиз**

Колпачковый плазмолиз появляется при действии гипертонического раствора какой-либо соли калия, который повышает гидрофильность коллоидов цитоплазмы. Раствор проникает через плазмалемму, но не проходит или слабо проходит через тонопласт. В результате мезоплазма набухает в виде колпачков на узких сторонах вакуоли клетки эпидермиса чешуи лука.

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

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

*Материалы и оборудование:* лук (*Allium* сера L.), эпидермис которой содержит антоциан; 1М раствор KCNС (или  $\text{KNO}_3$ ); 1М раствор  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; предметные и покровные стекла; скальпель; препаровальные иглы; фильтровальная бумага; микроскоп.

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

Это увеличение объема цитоплазмы обуславливается разжижающим действием катионов  $\text{K}^+$ , которые относительно легко проходят через плазмалемму, хуже через мезоплазму, а тонопласт практически непроницаем для катионов  $\text{K}^+$ . Таким образом, плазмолиз в клетках наступает вследствие слабой проницаемости тонопласта, а колпачки цитоплазмы образуются вследствие набухания ее от проникших через плазмалемму катионов  $\text{K}^+$  в мезоплазму. Катион калия обладает гидрофильностью.

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

Таким образом, колпачковый плазмолиз показывает, что растворенные вещества поступают в клетку, но при своем проникновении испытывают различную проницаемость отдельных слоев цитоплазмы.

Зарисуйте одну клетку с хорошо выраженным колпачковым плазмолизом.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Что понимают под сквозной и односторонней проницаемостью веществ в клетку?
2. Почему тонопласт обладает меньшей проницаемостью для растворенных в воде веществ по сравнению с плазмалеммой?
3. Что понимают под колпачковым плазмолизом? В каких условиях его можно наблюдать?

#### **Работа 4. Способы определения живой и мертвой растительной клетки**

*Вводные пояснения.* Все организмы состоят из клеток. Каждая из них обладает такими свойствами живого, как способность к самовоспроизводству, движению, метаболизму, раздражимостью, росту, изменчивости и адаптации к внешней среде.

Мы уже познакомились с явлениями плазмолиза и деплазмолиза, свойственными живой растительной клетке. В настоящей работе рассматривается два способа определения живой и мертвой растительной клетки.

*Цель работы.* Убедиться, что цитоплазма живой клетки полупроницаема, убитой – проницаема, т.е. она свободно пропускает клеточный сок.

*Материалы и оборудование:* окрашенный лук (*Allium* сера L.), в клетках которого содержится антоциан; краситель нейтральный красный; 1М раствор  $\text{KNO}_3$ ; вода; микроскоп; предметные и покровные стекла; полоски фильтровальной бумаги; спиртовки; спички; препаровальные иглы; лезвия безопасной бритвы.

*Ход работы.* **1. Метод окрашивания клеток нейтральным красным.** Приготовить срез эпидермиса чешуи лука, положить его в каплю воды на предметное стекло и закрыть покровным. Сбоку от покровного стекла капнуть каплю красителя нейтрального красного. Отсасывая воду фильтровальной бумагой с другой стороны покровного стекла, заменить воду на краситель нейтральный красный. Наблюдения ведут под малым увеличением микроскопа и зарисовывают при помощи цветного карандаша окраску клеток. Большинство клеток окрашено не очень интенсивно (окраска бледная), небольшое число клеток окрашено интенсивно. Слабо окрашенные клетки живые, интенсивно окрашенные – мертвые.

Делается вывод: мертвая протоплазма свободно пропускает через себя краситель, живая – избирательно.

**2. Метод плазмолиза.** Приготовить два среза эпидермиса чешуи лука. Один срез положить в каплю воды на предметное стекло и накрыть покровным, другой, поместив в каплю воды на предметное стекло, снизу слегка подогреть над пламенем спиртовки, а потом воду заменить на 1М раствор  $\text{KNO}_3$  в обоих препаратах. Рассмотреть

клетки эпидермиса препаратов под микроскопом, зарисовать и сделать вывод о том, какие клетки способны к плазмолизу.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Почему мертвая протоплазма свободно пропускает через себя краситель, а живая избирательно? Объясните.
2. Какие клетки способны осуществлять плазмолиз – живые или мертвые? Почему?
3. Какими способами можно определить живые и мертвые клетки?

## **Работа 5. Временный и стойкий плазмолиз**

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

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

*Цель работы.* Убедиться на опыте, что цитоплазма клетки обладает избирательной проницаемостью или полупроницаемостью.

*Материалы и оборудование:* окрашенный лук (*Allium cepa* L.); 1М раствор сахара в капельнице; 1М раствор мочевины в капельнице; лезвие; скальпель; пинцет; препаровальная игла; микроскоп;

предметные и покровные стекла; фильтровальная бумага.

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

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

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

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

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Что такое временный плазмолиз? Когда и при каких условиях можно наблюдать временный плазмолиз?
2. Что такое проницаемость? Приведите примеры временного плазмолиза.
3. Что происходит при длительном пребывании растительной клетки в растворе мочевины?
4. Что происходит при длительном пребывании растительной клетки в растворе сахарозы?

## **Работа 6. Явление тургора**

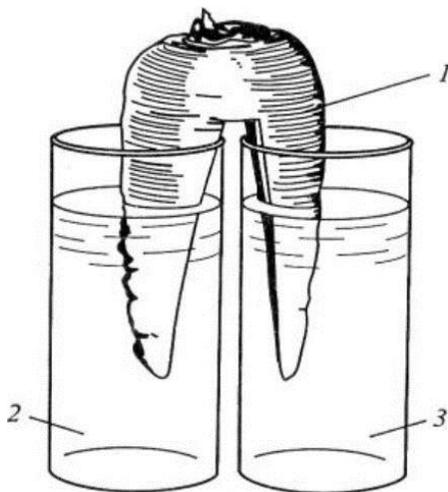
*Вводные пояснения.* Для нормального роста и развития клетки растения должны быть в состоянии напряжения клеточных оболочек, то есть в состоянии тургора, которое наблюдается при нормальном обеспечении клеток водой. Если же в клетках воды недостаточно, напряжение клеточных оболочек ослабевает и внешне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

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

*Материалы и оборудование:* корнеплод моркови; концентрированный раствор NaCl; дистиллированная вода; линейки; два стакана

на 200 мл; нож (ланцет).

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



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

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

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

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Что произойдет с плазмоллизированными клетками после переноса их в гипотонический раствор?

2. Чему равны сосущая сила клетки и тургорное давление: а) при полном насыщении клетки водой; б) при плазмоллизе?

## **Работа 7. Осмотический выход воды из плазмолизированных клеток**

*Вводные пояснения.* Если растительную ткань поместить в раствор, концентрация которого значительно выше концентрации клеточного сока ткани (гипертонический раствор), то на основе закона диффузии и осмоса, вода начнет выходить из клеток ткани в раствор, а протопласты сжиматься и отставать от клеточных стенок. Будет наблюдаться плазмолиз. Вода, выходящая из клеток, имеет меньшую удельную массу, чем концентрированный раствор, поэтому возникает постоянный восходящий ток струек воды, ясно видимых глазом. Опыт хорошо удаётся, если в качестве концентрированного раствора использовать глицерин.

*Цель работы.* Рассмотреть явления диффузии и осмоса на примере с помещением растительной ткани в раствор, концентрация которого выше концентрации клеточного сока.

*Материалы и оборудование:* клубень картофеля; широкая пробирка или небольшой стаканчик; пробочные сверла; концентрированный глицерин; фильтровальная бумага; канцелярские скрепки или небольшие гвозди.

*Ход работы.* Широкую пробирку или небольшой стеклянный стаканчик наполняют до половины концентрированным глицерином в качестве плазмолитика. Затем пробочным сверлом вырезают цилиндрок картофеля длиной 2–3 см и погружают его в глицерин. Перед погружением кусочек обсушивают фильтровальной бумагой и втыкают в него скрепку или небольшой гвоздь, чтобы картофель не всплывал на поверхность глицерина. Наблюдения за выделением воды из клеток начинают сразу же после погружения цилиндрика в глицерин. Пробирка (стаканчик) во время опыта должна находиться в совершенном покое. Вода, выходящая из клеток клубня картофеля, очень медленно смешивается с глицерином, так как имеет меньшую удельную массу, чем глицерин. В результате над кусочком картофеля возникает постоянный восходящий ток струек воды, ясно видимых глазом вследствие различия показателей преломления воды и глицерина.

После завершения наблюдений за выделением воды из клубня картофеля следует зарисовать постановку опыта, показав выход воды из плазмолизированной ткани.

**Вопрос для самоконтроля**

1. Как объяснить появление струек воды из кусочка клубня картофеля, помещенного в раствор, концентрация которого много выше концентрации клеточного сока?

**Работа 8. Определение водного потенциала растительной ткани методом полосок (по Лилиенштерн)**

*Вводные пояснения.* 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.

Настоящий метод основан на подборе наружного раствора такой концентрации, при погружении в который полоска растительной ткани не меняет длины. Если осмотический потенциал наружного раствора превышает водный потенциал ткани, то раствор отнимает воду от клеток, объем их и длина полоски уменьшаются. Если осмотическое потенциал раствора меньше водного потенциала ткани, то клетка поглощает воду из раствора, увеличивается в объеме и длина полоски становится больше. В растворе, где осмотический потенциал равен водному потенциалу ткани, длина полоски не изменяется.

*Цель работы.* Определить величину водного потенциала клеток клубня картофеля.

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

*Ход работы.* Приготовить в шести пробирках по 10 мл: 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1 М растворов сахарозы. Из клубня картофеля вырезать 12 брусочков длиной 4–6 см и сечением около 4 мм<sup>2</sup>. Концы брусочков срезать наискось. Работать следует быстро, чтобы исключить

подсыхание полосок.

Миллиметровой линейкой точно измерить длину брусочков и поместить их по два в каждую пробирку. Через 20 мин брусочки вынуть, обсушить фильтровальной бумагой и снова измерить длину.

Для расчета величины водного потенциала берут концентрацию, при которой длина полосок не изменяется.

Величину водного потенциала рассчитывают по формуле:

$$\psi_w \text{ ткани} = \psi_w \text{ раствора} = - RTci,$$

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 [ $i=1+\alpha(n-1)$ ].

Значения  $\alpha$  для сахарозы  $i=1$ .

Результаты опыта записывают в таблицу 1 по приведенной форме.

**Таблица 1**

**Определение водного потенциала**

Концентрация раствора сахарозы, М	Длина полоски ткани, мм		Концентрация раствора, при которой длина полоски не изменилась, М	Водный потенциал, кПа
	перед погружением в раствор	после пребывания в растворе		
0,6				
0,5				
0,4				
0,3				
0,2				
0,1				

**Вопросы для самоконтроля**

1. Что понимают под осмотическим давлением раствора?
2. В каких условиях раствор проявляет осмотическое давление?
3. Что такое водный потенциал и водный потенциал клетки?

4. Что произойдет с плазмолизированными клетками после переноса их в гипотонический раствор?

5. Чему равны сосущая сила клетки и тургорное давление: а) при полном насыщении клетки водой; б) при плазмолизе?

### **Вопросы и задачи по разделу «Физиология растительной клетки»**

1. Отличительные особенности растительной клетки от животной клетки.

2. Строение клеточной стенки. Каковы ее свойства и функции.

3. Строение биологической мембраны. Модели мембран.

4. Что понимают под полупроницаемостью мембран клетки и их избирательной проницаемостью?

5. Какая мембрана обладает более низкой проницаемостью для растворенных веществ – плазмалемма или тонопласт? Приведите доказательства.

6. Вакуоль, тонопласт и их роль в избирательной проницаемости клетки.

7. Поступление веществ в клетку, пассивный и активный транспорт.

8. Каково соотношение процессов пассивного и активного поступления ионов в клетки корневой системы в зависимости от возраста растений?

9. Осмотические свойства клетки. Понятие об осмосе, осмотическом давлении, тургоре и сосущей силе. Методы определения сосущей силы.

10. Плазмолиз. Формы и время плазмолиза. Деплазмолиз. Способны ли плазмолизироваться мертвые клетки?

11. Почему считают, что клетка – это открытая термодинамическая система? Какие законы термодинамики действуют в клетке. Приведите примеры.

12. Можете ли вы отличить живую клетку от мертвой? Как вы это сделаете?

13. После сильных морозов зимой некоторые плодовые растения или их побеги погибают. Можете ли вы отличить погибшие побеги от живых? Как вы это сделаете?

14. Диффузия и осмос. Осмотический потенциал растительной клетки.

15. Что такое антагонизм ионов? Как он проявляется, его причины?

16. Чему равно осмотическое давление клеточного сока при 17 °С, если известно, что изотонический для данной клетки раствор сахарозы имеет концентрацию 0,3 М?

17. Клетка погружена в 0,3 М раствор сахарозы. Куда пойдет вода, если известно, что осмотическое давление клеточного сока равно 1 МПа, тургорное давление 0,8 МПа, а температура раствора 17 °С?

18. Растение посажено в почву, в которой почвенный раствор имеет осмотическое давление 0,3 МПа. В момент посадки корневые волоски имели осмотическое давление клеточного сока 1 МПа, а тургорное давление – 0,8 МПа. Сможет ли это растение жить на данной почве? Объясните.

Две живые клетки соприкасаются друг с другом. Куда пойдет вода, если у первой клетки осмотическое давление клеточного сока равно 1,1 МПа и тургорное давление 0,4 МПа, а у второй клетки соответствующие показатели составляют 1,5 и 1,2 МПа? Объясните.

## Раздел 2

### ВОДООБМЕН РАСТЕНИЙ

Вода играет важную роль в жизни растений и является основной составной частью их органов. Она составляет от 80 до 95 % массы растущих тканей. Вода обладает уникальными свойствами, благодаря которым она имеет первостепенное значение во всех процессах жизнедеятельности клетки.

Именно водная фаза объединяет все клетки и ткани растительного организма в единое целое, участвует в построении и упорядочении мембранных структур, гидратирует белки, нуклеиновые кислоты и полисахариды. Вода является основным растворителем и активным метаболитом многих биохимических процессов. При фотосинтезе вода служит донором электронов и протонов, используемых на восстановительные биосинтезы. В процессе роста растения большая часть увеличения его массы обеспечивается за счет воды. При дыхании, например, в цикле Кребса, вода принимает непосредственное участие в окислительных процессах. Процессы гидролиза, а в ряде случаев и синтеза идут с участием воды. Передвижение веществ по растению в сосудах ксилемы и ситовидных трубках осуществляется в водной среде. Обладая высокой теплоемкостью и большой удельной теплотой парообразования, вода обеспечивает терморегуляцию растительного организма и защищает ткани от резких колебаний температуры. Благодаря явлениям осмоса и тургорному давлению вода обеспечивает упругое состояние клеток и тканей растительного организма, а также их защиту (как амортизатор) при механических воздействиях.

Водный режим растений зависит от соотношения поглощенной и испаренной воды. При оптимальном водном балансе расход воды должен компенсироваться поглощением воды из почвы корневой системой. Если же расход воды растением превышает её поступление, растения завядают, что приводит к нарушению обмена веществ клеток и растения в целом. Даже кратковременный недостаток влаги не проходит для растения бесследно.

Вода поступает в растение в результате корневого давления и присасывающего действия транспирации.

Деятельность нижнего концевой двигателя состоящая в активном поглощении воды корневой системой, проявляется в плаче и гуттации растений. Силу, поднимающую воду вверх по сосудам, называют корневым давлением. Величина его обычно составляет 50...150 кПа. Корневое давление имеет большое значение в поглощении воды растением при подземном прорастании и в весеннее время до распускания листьев.

Работа верхнего концевой двигателя обусловлена испарением воды с поверхности листа (транспирацией). В основе транспирации лежит физиологический процесс испарения воды надземными органами. Основным органом транспирации является лист. Различают устьичную и кутикулярную транспирацию.

Процесс транспирации состоит из ряда этапов:

- 1) переход воды из клеточных оболочек в межклетники;
- 2) выход паров воды из межклетников через устьичные щели;
- 3) диффузия паров воды от поверхности листа в атмосферу.

Основное значение в регулировании этого процесса принадлежит устьицам. Устьица представляют собой отверстия (щели) в эпидермисе, образованные двумя замыкающими клетками. В отличие от клеток эпидермиса замыкающие клетки устьичного аппарата имеют бобовидную форму, содержат хлоропласты.

Устьица обладают способностью открываться и закрываться в зависимости от насыщенности замыкающих клеток водой. Количество устьиц варьирует в зависимости от возраста листа и условий среды и составляет от 50 до 500 на 1 мм<sup>2</sup>. В листьях устьица могут располагаться или на обеих сторонах, или только на нижней.

Испарение воды в атмосферу из клеточных стенок эпидермиса листа называют кутикулярной транспирацией. При открытых устьицах потери водяного пара через кутикулу листа обычно незначительны по сравнению с общей транспирацией. Однако если устьица закрыты, например, во время засухи, кутикулярная транспирация приобретает важное значение в водном режиме растения.

Интенсивность кутикулярной транспирации зависит от толщины кутикулы: у молодых листьев с тонкой кутикулой она составляет 50 %, а у зрелых листьев с мощной кутикулой – 10 % от всей транспирации. В стареющих листьях кутикулярное испарение воды вновь возрастает из-за разрушения и растрескивания кутикулы.

Транспирация предохраняет лист от перегрева; способствует поступлению воды и растворимых минеральных веществ; создает непрерывный ток воды из корневой системы к листьям, который связывается все органы растения в единое целое.

### **Работа 9 (демонстрационная). Корневое давление у растений**

*Вводные пояснения.* Корневое давление у растений – это давление в проводящих сосудах корней, обеспечивающее (наряду с транспирацией) снабжение водой надземных органов. Корневое давление возникает главным образом в результате превышения осмотического давления в сосудах корня над осмотическим давлением почвенного раствора. Это превышение обычно составляет от 1 до 3-х атмосфер. Существование корневого давления можно наблюдать по явлениям – плача растений и гуттации.

Плач растений – это выделение пасоки (сока) из срезанного или повреждённого стебля под действием корневого давления. У древесных растений сок – плача можно наблюдать во время весеннего сокотдвижения (например, выделение берёзового сока), у травянистых – в течение всей вегетации. Максимум плача растений можно наблюдать в полуденные часы, минимум – в предутренние часы. По плачу растений судят о физиологической активности корней.

*Цель работы.* Продемонстрировать корневое давление у растений («плач» растений) путем выделения пасоки (сока) из срезанного стебля.

*Материалы и оборудование:* 3-недельные растения тыквы, огурца, томатов, картофеля, фуксии, амарантуса; каучуковая трубка, нитки, стеклянная трубка с делениями, пластилин.

*Ход работы.* У растения срезают стебель на расстоянии трёх см от поверхности почвы. На оставшуюся часть стебля (пенёк) надевают резиновую трубку, которую соединяют с отрезком градуированной стеклянной трубки. Место соединения резиновой трубки с оставшимся стеблем плотно обвязывают ниткой и заделывают пластилином, чтобы избежать вытекания пасоки.

В трубку наливают немного воды и отмечают её уровень. Затем растение обильно поливают и наблюдают за изменением уровня

воды в трубке. Сначала он немного снизится, а затем постепенно будет повышаться благодаря нагнетанию воды корневой системой из почвы. Результаты наблюдений записывают, а установку зарисовывают. По результатам наблюдений делают выводы.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Что такое корневое давление? Как оно возникает и какую роль имеет в жизни растений?
2. Что называют «плачем» растения? Что он доказывает?
3. Что собой представляет пасока и каково ее значение в жизни растения?

## **Работа 10. Наблюдение за движением устьиц**

*Вводные пояснения.* У замыкающих клеток устьиц стенки, прилегающие к устьичной щели, утолщены, а наружные стенки тоньше. Неодинаковая толщина стенок замыкающих клеток приводит к тому, что при изменении тургора замыкающие клетки способны менять форму, открывая или закрывая при этом устьичную щель. Следовательно, степень насыщения клеток водой оказывает очень большое влияние на движение устьиц. Различают три типа устьичных движений: гидropассивные, гидроактивные, фотоактивные.

Гидropассивные движения закрывания связаны с насыщением водой клеток, которые окружают устьица. Гидроактивное закрывание устьиц связано с увеличением в самих клетках устьиц водного дефицита и с повышением в них содержания абсцизовой кислоты, которая подавляет работу  $H^+$ -насосов на мембранах замыкающих клеток. Это приводит к снижению тургора замыкающих клеток и, следовательно, к закрыванию устьиц. Фотоактивное открывание устьиц состоит в увеличении ширины устьичной щели при повышении интенсивности освещения (главная роль при этом отводится синему свету). Механизм фотоактивных движений еще пока не совсем ясен.

*Цель работы.* Наблюдать за устьичными движениями в воде и в растворе глицерина.

*Материалы и оборудование:* листья любых растений; растворы глицерина (5%- и 20%-ный); 1М раствор сахарозы; микроскопы;

предметные и покровные стекла; препаровальные иглы; фильтровальная бумага; бюксы.

*Ход работы.* Приготавливают несколько срезов нижней эпидермы листа и помещают их на 2 ч в 5 %-ный раствор глицерина. Глицерин проникает в вакуоли замыкающих клеток, понижает их водный потенциал и, следовательно, повышает их способность насыщать воду. Срезы помещают на предметное стекло в том же растворе, отмечают состояние клеток и зарисовывают их.

Затем заменяют глицерин на воду, оттягивая его из-под стекла фильтровальной бумагой. При этом наблюдается открывание устьичных щелей. Препарат зарисовывают.

После этого воду заменяют сильным осмотиком – 20%-ным раствором глицерина или 1М раствором сахарозы. Наблюдают закрытие устьиц.

*Задание:* зарисовать устьица в воде и в растворах 5 %- и 20 %-ного глицерина. Объяснить причину устьичных движений.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Чем отличаются друг от друга устьичная и кутикулярная транспирации?
2. Как устроено устьице?
3. Чем отличаются устьица двудольных и однодольных растений?

## **Работа 11. Определение интенсивности транспирации у срезанных листьев при помощи торсионных весов (по Л. И. Иванову)**

*Вводные пояснения.* Интенсивность транспирации – количество воды, испарённое с единицы листовой поверхности в единицу времени. Величина этого показателя зависит от внешних факторов – освещённости, температуры, ветра, времени суток и колеблется в пределах 15–250 г/м<sup>2</sup>х час. Основной метод определения интенсивности транспирации – весовой.

*Метод Иванова* основан на учёте потерь воды срезанного транспирирующего листа за короткие промежутки времени, что даёт возможность наблюдать транспирацию при том состоянии насыщенности листа водой, в каком он находился на растении. Интервал между

взвешиваниями не должен превышать 5 минут, так как при более длительной экспозиции уменьшается содержание воды в листе и интенсивность транспирации снижается. Для быстрого взвешивания используют торсионные весы.

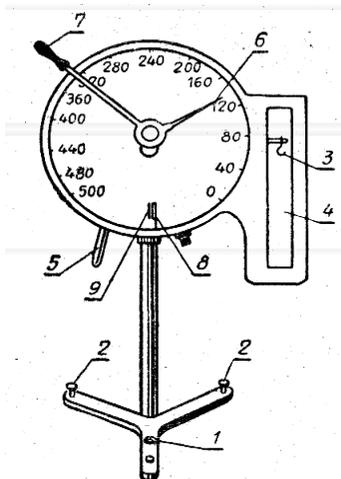
*Цель работы.* Убедиться в том, что интенсивность транспирации зависит от внешних условий и возрастает при сухом ветре.

*Материалы и оборудование:* десятидневные проростки ржи или пшеницы; листья растений различных экологических групп; торсионные весы; фены; ножницы; подставки для подвешивания растений.

*Ход работы.* Торсионные весы (рис. 5) устанавливают строго горизонтально по уровню 1 при помощи двух винтов 2 на подставке. Проверяют нулевую точку: устанавливают указатель массы 6 рычагом натяжения 5 в положение «0», освобождают коромысло весов передвиганием закрепительного рычага 4 вправо, при этом указатель равновесия 9 должен совместиться с чертой равновесия 3, закрывают весы передвиганием закрепительного рычага 4 влево. Затем приступают к взвешиванию. На крючок коромысла 7, находящийся сбоку весов в закрытой камере 8, подвешивают другой крючок и определяют его массу. Для этого освобождают коромысло весов передвиганием закрепительного рычага 4 вправо. Поворачивают указатель массы 6 рычагом натяжения 5 влево до совмещения указателя равновесия 9 с чертой равновесия 3. В таком положении указатель массы показывает на шкале массу груза. Поворачивают закрепительный рычаг влево (стрелка показывает «закрыто») и возвращают указатель массы к нулевому делению на шкале.

Затем определяют интенсивность транспирации. Для этого срезают лист, надевают на крючок и подвешивают на коромысло весов. Лист быстро взвешивают и помещают на наколку. Таким образом взвешивают листья одного и того же яруса с десяти растений. Через 5 мин после взвешивания первого листа повторно взвешивают все листья в первоначальном порядке.

Массу листьев определяют вычитанием из показаний шкалы массы крючка. Убыль в массе листьев за время между первым и вторым взвешиваниями показывает, сколько воды испарилось за этот период. Все расчеты выполняют по суммарной массе десяти листьев каждого варианта.



**Рис. 5. Торсионные весы:**

- 1 – уровень, 2 – регулировочные винты уровня,  
 3 – крючок коромысла, 4 – камера, 5 – рычаг включения весов,  
 6 – указатель веса, 7 – рычаг указателя веса,  
 8 – указатель равновесия, 9 – черта указателя равновесия

Рассчитывают количество воды, испарившейся из 1 г сырых листьев за 1 ч. Определяют интенсивность транспирации в комнатных условиях (контроль) и при сухом теплом ветре (с использованием фена).

Результаты опыта записывают в таблицу 2.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Какие формы почвенной влаги доступны для растения?
2. Какие условия создают физиологическую сухость почвы?
3. Как растение регулирует транспирацию?
4. Что лежит в основе устьичных движений?
5. Как изменяется водный дефицит растений в летний день на хорошо увлажнённой почве?
6. Какие физиологические показатели наиболее точно определяют необходимость полива?
7. Какими агротехническими мероприятиями можно повысить эффективность использования воды растениями?

**Таблица 2**

**Схема и результаты опыта**

Вариант	Масса листьев, мг	Повторности										Суммарная масса, мг	Потеря воды, мг	Интенсивность транспирации, мг/г час	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Контроль	Начальная														
	Через 5 мин														
Сухой теплый ветер	Начальная														
	Через 5 мин														

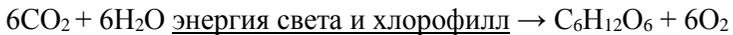
### **Вопросы и задачи по разделу «Водообмен растений»**

1. Из чего складывается водный режим растения?
2. Какие органы служат для поглощения воды?
3. Что такое нижний концевой двигатель водного тока?
4. Зависимость поглощения воды корнями от внутренних и внешних факторов.
5. Передвижение воды по растению. Симпластный и апопластный пути движения воды.
6. Что представляет собой верхний концевой двигатель водного тока?
7. Какой процесс называется транспирацией и каково ее биологическое значение?
8. Какие особенности строения листа способствуют транспирации?
9. Виды транспирации
10. Чем отличаются друг от друга устьичная и кутикулярная транспирации?
11. Как работают верхний и нижний концевые двигатели водного тока?
12. От каких внешних факторов зависит интенсивность транспирации?
13. Показатели транспирации.
14. Какие типы устьичных движений вам известны? Каков их механизм?
15. Какое значение имеют устьичные движения в жизни растений?
16. Как объяснить подъем воды в деревьях высотой до 100 и более метров, если известно, что верхний и нижний концевые двигатели водного тока у растений способны поднимать воду лишь на несколько метров?
17. Водный баланс и водный дефицит.

### Раздел 3

## ФОТОСИНТЕЗ

Фотосинтез растений заключается в преобразовании и запасании солнечной энергии, в результате чего из простых веществ – углекислого газа и воды – синтезируются углеводы и выделяется молекулярный кислород. В общем виде этот процесс можно описать реакцией:



Масштабы фотосинтетического преобразования и запасания солнечной энергии огромны: каждый год за счёт фотосинтеза на Земле образуется около 200 млрд. т биомассы, что эквивалентно энергии, равной  $3 \cdot 10^{21}$  Дж.

В ходе процесса фотосинтеза выделяют две стадии: световую, или фотохимическую и темновую, или химическую. Первая включает реакции поглощения хлорофиллом и другими фотосинтетическими пигментами света и последующую трансформацию световой энергии в химическую (АТФ и НАДФ\*Н). В темновой стадии акцептированный углекислый газ восстанавливается до углеводов, благодаря энергии, ранее накопленной в форме АТФ и НАДФ\*Н.

У высших растений фотосинтез протекает в специальных клеточных органеллах – хлоропластах, количество которых сильно варьирует в зависимости от вида растения и ткани. В среднем, в листьях оно составляет 20–30 хлоропластов на одну клетку. Снаружи хлоропласты окружены оболочкой, состоящей из двух мембран. Внутренняя мембрана ограничивает бесцветную строму, в которой располагаются уплощённые тилакоиды, собранные в граны. Число гран может составлять 40–50 и более. Число тилакоидов в гране колеблется от 5–6 до нескольких десятков. Отдельные тилакоиды соседних гран соединены между собой ламеллами – мембранами стромы. В тилакоидных мембранах локализованы фотосинтетические пигменты и ферменты, необходимые для осуществления световых реакций фотосинтеза. В строме содержатся ферменты темновой

стадии, ДНК, белок-синтезирующие системы. Образующиеся в пластидах сахара транспортируются в другие органы и ткани растения, где потребляются в процессах метаболизма и роста. В конечном итоге вся совокупность процессов растения оказывается тесно связанной с фотосинтезом. Кроме того, синтезированные зелёными растениями органические вещества служат пищей для всех остальных организмов, в том числе и человека, а кислород, выделяемый в процессе фотосинтеза, обеспечивает существование жизни на Земле.

Пигментная система хлоропласта представлена двумя типами пигментов: зелёными – хлорофиллами *a* и *b*, и жёлтыми – каротинами и ксантофиллами.

Хлорофилл по своей химической природе является сложным эфиром дикарбоновой кислоты хлорофиллина и двух спиртов – высокомолекулярного одноатомного спирта фитола  $C_{20}H_{39}OH$  и метилового спирта  $CH_3OH$ . Структурной основой хлорофиллина служит порфириновое ядро, состоящее из четырёх пиррольных колец, связанных метиновыми мостиками (рис. 6). В центре ядра находится атом магния. Порфириновое кольцо придаёт молекуле гидрофильные свойства, остаток спирта фитола – гидрофобные.

Хлорофилл *b* отличается от хлорофилла *a* тем, что у третьего углеродного атома во втором пиррольном кольце его молекулы метильная группа заменена на альдегидную.

*Каротиноиды* подразделяются на *каротины* (ненасыщенные углеводороды с эмпирической формулой  $C_{40}H_{56}$ ) и *ксантофиллы*, отличающиеся от каротиноидов присутствием кислорода. *Каротины* по химической структуре могут быть ациклическими, моноциклическими и бициклическими соединениями. В листьях основным каротином является  $\beta$ -каротин. В его молекуле находятся два симметрично расположенных иононовых кольца, соединённых длинной углеводородной цепью с системой регулярно чередующихся двойных связей. Каротины являются гидрофобными соединениями и хорошо растворяются в липофильных растворителях – бензине, бензоле.



## **Работа 12. Получение спиртового раствора (вытяжки) пигментов**

*Вводные пояснения.* Пигменты не растворимы в воде, поэтому из растительной ткани их извлекают полярными растворителями (этиловый спирт, ацетон), которые разрушают связь хлорофиллов и ксантофиллов с липопротеидами пластид и тем самым обеспечивают их полное экстрагирование. Неполярные растворители (петролейный эфир, гексан, бензин и др.) не нарушают связи этих пигментов с белками, поэтому не могут их извлечь из свежих листьев. Для получения вытяжки пигментов используют как сырой, так и сухой материал. В последнем случае высушенные листья предварительно обрабатывают горячей водой, чтобы облегчить последующее извлечение пигментов.

*Цель работы.* Извлечение пигментов из клеток растений с помощью этилового спирта.

*Материалы и оборудование:* листья герани, 96 %-ный этиловый спирт; ступка с пестиком, воронка с мерной колбочкой, бумажные фильтры; ножницы; весы.

*Ход работы.* Для получения вытяжки пигментов используют как сырой, так и сухой материалы. В последнем случае высушенные листья предварительно обрабатывают горячей водой, чтобы облегчить последующее извлечение пигментов.

Около 1 г свежих листьев помещают в фарфоровую ступку, измельчают, приливают несколько капель этилового спирта, растирают в течение нескольких минут до получения однородной массы. Затем зеленый раствор осторожно сливают в мерную колбочку на 25 мл с воронкой.

К оставшейся в ступке растительной массе прибавляют 3–4 мл спирта, смесь растирают и снова жидкость сливают в колбу. Эту операцию повторяют до тех пор, пока хлорофилл не будет полностью извлечен. Далее содержимое колбочки доводят растворителем до метки, закрывают пробкой и тщательно взбалтывают. Полученный фильтрат темно-зеленого цвета содержит смесь зеленых и желтых пигментов. Его используют для дальнейших анализов.

Если спиртовую вытяжку нужно сохранить в течение нескольких дней, то сосуд, в котором она находится, надо закрыть пробкой и поставить в темное место, так как на свету и при доступе воздуха вытяжка хлорофилла быстро разрушается, теряет свою зеленую

окраску и делается бурой.

***Вопросы для самоконтроля***

1. Какие пигменты имеются у высших растений? Какова их химическая природа?
2. Почему пигменты выделяют этиловым спиртом и ацетоном, а не водой, петролейным эфиром или бензином?
3. Почему вытяжку пигментов хранят в закрытой таре и темном месте?

**Работа 13. Разделение пигментов по Краусу  
(растворимость пигментов в органических растворителях)**

*Вводные пояснения.* Метод основан на различной растворимости пигментов в спирте и бензине. Указанные растворители в одном сосуде не смешиваются, а образуют два слоя: верхний – бензиновый и нижний – спиртовой, благодаря чему и происходит разделение компонентов смеси.

*Цель работы.* Используя различную растворимость пигментов зеленого листа в спирте и бензине, разделить хлорофилл и каротин от ксантофилла (метод Крауса).

*Материалы и оборудование:* спиртовая вытяжка пигментов; штатив с пробирками; бензин; вода.

*Ход работы.* Добавить к спиртовой вытяжке пигментов несколько больший объем бензина и 2–3 капли воды (чтобы спирт смешивался с бензином). Закрывать пробирку пробкой или большим пальцем, несколько раз сильно встряхнуть, поставить в штатив и дать отстояться. Если разделение пигментов будет недостаточно четким (оба слоя окрашены в зеленый цвет), то необходимо прилить еще бензина и продолжить взбалтывание. Если нижний раствор мутного цвета (от избытка воды), следует добавить немного спирта и слегка встряхнуть.

Отметить окраску нижнего спиртового слоя и верхнего бензинового, зарисовать и указать распределение пигментов, сделать выводы о различной степени растворимости пигментов в спирте и бензине.

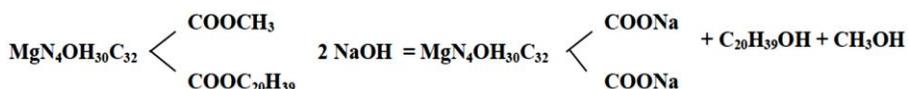
***Вопросы для самоконтроля***

1. Какой принцип положен в основу разделения пигментов по Краусу?

2. Какие пигменты будут находиться в бензине и спирте?
3. Почему спиртовой слой может быть мутным?
4. Что является структурной основой молекулы хлорофилла?

### Работа 14. Реакция омыления хлорофилла щелочью

*Вводные пояснения.* Обработывая хлорофилл щелочью, можно вызвать омыление эфирных групп, то есть отщепление остатков метилового спирта и фитола.



Образующаяся при этом соль хлорофиллиновой кислоты сохраняет зеленую окраску и определенные оптические свойства хлорофилла, но отличается от него большей гидрофильностью по сравнению с неизменным пигментом.

*Цель работы.* Провести реакцию омыления хлорофилла. Ознакомиться со строением молекулы хлорофилла.

*Материалы и оборудование:* пробирка с пигментами, разделенными по Краусу; кристаллическая щелочь КОН или NaOH.

*Ход работы.* В пробирку с 2–3 мл спиртового раствора пигментов приливают 1 мл 20-процентного раствора NaOH и взбалтывают. После смешивания экстракта со щелочью пробирку помещают в кипящую водяную баню. Как только раствор закипит, пробирку вынимают и охлаждают. К охлажденному раствору добавляют равный объем бензина и несколько капель воды для лучшего разделения смеси. Затем содержимое пробирки резко встряхивают и дают отстояться. В бензиновый слой переходят каротин и ксантофилл, а в спиртовой – натриевая соль хлорофилловой кислоты.

Зарисовать окраску слоев, указать распределение пигментов. Объяснить, какая часть молекулы хлорофилла выполняет: а) гидрофильные свойства, б) гидрофобные свойства?

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. К какому классу химических соединений относится хлорофилл?
2. Как называется реакция хлорофилла со щелочью?

3. Почему натриевая соль дикарбоновой хлорофиллиновой кислоты сохраняет зеленую окраску?
4. Как распределяются пигменты в спирте и бензине?

### **Работа 15. Получение феофитина и обратное замещение в нем водорода атомом металла**

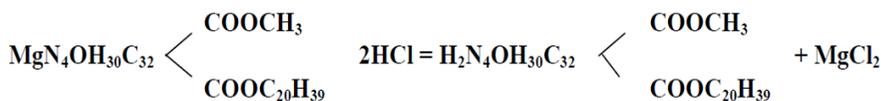
*Вводные пояснения.* Феофитин присутствует в растениях в незначительных количествах, но выполняет важную функцию в цепи переноса электронов. Его легко получить и изучить его химические свойства. При взаимодействии хлорофилла с концентрированной кислотой атом магния в нем замещается атомами водорода, в результате образуется нестойкое соединение бурого цвета – феофитин. Если к его раствору добавить несколько кристалликов ацетата цинка  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$  или 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 (цинка или меди) вытесняют водород в молекуле феофитина и занимают центральное положение в его молекуле, образуя очень стойкое соединение – металлозамещенный хлорофилл.

Свойство металлозамещенного хлорофилла – долго сохранять зеленую окраску и не окисляться на воздухе – используют, когда хотят приготовить постоянный препарат из зеленых органов (листьев, плодов) растений и сохранить его на длительный период. Для этого заливают препарат формалином, к которому прибавляют 10 %-ный раствор медного купороса. Выдерживают препарат в растворе 10–15 дней. За этот период хлорофилл в клетках листа превращается в стойкое соединение – металлозамещенный хлорофилл. Через 10 дней раствор формалина с медным купоросом заменяют чистым раствором формалина. Такой препарат можно хранить годами, а листья все равно останутся зелеными.

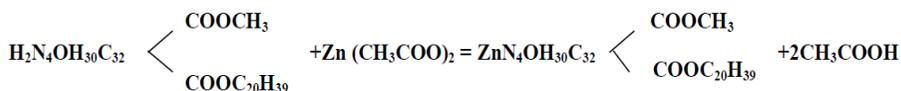
*Цель работы.* Путем проведения реакции хлорофилла с соляной кислотой получить феофитин, разрушив металлоорганическую связь в молекуле хлорофилла, действием на феофитин солями цинка или меди восстановить металлоорганическую связь в молекуле хлорофилла.

*Материалы и оборудование:* спиртовая вытяжка пигментов; 10%-ная соляная кислота; кристаллическая уксуснокислая медь или цинк; штатив с пробирками; спиртовка; держатель для пробирок.

*Ход работы.* В три пробирки отливают по 2 мл спиртовой вытяжки пигментов. Одну пробирку оставляют для контроля. В двух других готовят феофитин. Для этого в пробирки добавляют по 2–3 капли 10 %-ной соляной кислоты или в пробирки с растворами пигментов погружают стеклянные палочки, смоченные в концентрированной соляной кислоте. При этом окраска вытяжки становится бурой, так как хлорофилл превращается в феофитин:



Одну пробирку с феофитином оставляют для сравнения, а в другой феофитин переводят в металлозамещенный хлорофилл, добавляя в нее 2 кристаллика ацетата цинка или ацетата меди, затем подогревают. Зеленый цвет пигмента восстанавливается:



Записать уравнения реакций получения щелочной соли хлорофиллина и металлозамещенного хлорофилла. Сравнить по цвету пробирки с растворами хлорофилла и металлозамещенного хлорофилла, закрыть их пробками, снабдить этикетками и оставить в штативе на свету. Через неделю сделать выводы о стойкости хлорофилла и металлозамещенного хлорофилла, отмечая изменения цвета раствора.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Как выделить из спиртовой вытяжки пигменты зеленого листа ксантофилл и каротин?
2. Чем обусловлена зеленая окраска хлорофилла? Напишите реакцию.
3. Какое вещество получится при вытеснении водородом магния из молекулы хлорофилла?
4. Какие металлы можно ввести в молекулу хлорофилла вместо магния?

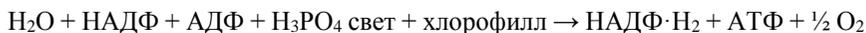
## Работа 16. Фотосенсибилизирующее действие хлорофилла на реакцию переноса водорода (по Гуревичу)

*Вводные пояснения.* Сущность световой фазы фотосинтеза заключается в окислении воды до молекулярного кислорода с помощью световой энергии, поглощенной хлорофиллом. Освобождающиеся при этом электроны передаются затем через цепь промежуточных переносчиков к НАДФ, который восстанавливается до НАДФ · Н<sub>2</sub>. Кроме того, при переносе электронов часть энергии расходуется на образование АТФ, т.е. на фотосинтетическое фосфорилирование.

Считают, что в переносе электронов воды к НАДФ участвуют последовательно две пигментные системы, которые содержат различные формы хлорофилла *a*, отличающиеся максимумами поглощения в длинноволновой части спектра. В первую систему входят также каротиноиды, а во вторую – хлорофилл *b* и ряд других вспомогательных пигментов.

Итак, конечный результат фотоокисления воды – выделение молекулярного кислорода и образование богатых энергией и восстановительной силой соединений – АТФ и НАДФ Н<sub>2</sub>, необходимых для последующего восстановления углекислого газа.

Упрощенно фотолиз воды можно представить следующим образом:



Как видно из уравнения, хлорофилл выполняет здесь функцию фотосенсибилизатора, способствующего переносу электрона (водорода) к НАДФ.

Фотосенсибилизирующая роль хлорофилла может быть продемонстрирована в модельных реакциях с выделенным из растений пигментом. Для этого в качестве источника водорода берут аскорбиновую кислоту, а акцептора водорода – метиловый красный, который, присоединяя водород, восстанавливается в неокрашенное лейкосоединение. Аскорбиновая кислота окисляется в дегидро аскорбиновую кислоту.

Эту реакцию легко наблюдать, поскольку она связана с обесцвечиванием метилового красного; окраска же хлорофилла остается без изменения

*Цель.* Продемонстрировать фотосенсибилизирующее действие

хлорофилла в модельном опыте с выделенным из растений пигментом.

*Материалы и оборудование:* метиловый красный (насыщенный раствор в этиловом спирте), раствор хлорофилла (спиртовая вытяжка из листьев), аскорбиновая кислота (кристаллическая), штативы с пробирками.

*Ход работы.* Берут 4 пробирки: в три наливают по 5 мл спиртовой вытяжки пигментов, в четвертую-5 мл этилового спирта. В первую, вторую и четвертую пробирки вносят аскорбиновую кислоту по 50 мг. Во все пробирки с пигментами добавляют по каплям раствор метилового красного до тех пор, пока зеленая окраска не перейдет в красно-бурую. В четвертой пробирке окраску раствора при помощи индикатора доводят до ярко – розовой. Вторую пробирку ставят в темное место, а остальные пробирки ставят в штатив на хорошо освещенное окно. После 10–20-минутного освещения в первой пробирке, в результате восстановления, метиленовый красный обесцвечивается, раствор вновь приобретает зеленую окраску. В остальных пробирках окраска раствора не будет изменяться, так как без света, аскорбиновой кислоты или хлорофилла метиленовый красный не восстанавливается. Результаты опыта записать в таблицу 3.

Таблица 3

Схема и результаты опыта

Вариант	Состав смеси в пробирках				Условия	Результат
	Хлорофилл	Этиловый спирт	Аскорбиновая кислота	Метиловый красный		
1	+	-	+	+	Свет	
2	+	-	+	+	Темнота	
3	+	-	-	+	Свет	
4	-	+	+	+	Свет	

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Назовите конечный результат фотоокисления воды
2. Объясните результаты опыта.
3. Почему только в первой пробирке раствор становится вновь зеленым?

## Работа 17. Флуоресценция хлорофилла

*Вводные пояснения.* Флуоресценция – испускание света возбужденной молекулой хлорофилла. Суть явления состоит в следующем. При комнатной температуре и в темноте молекула хлорофилла находится в основном состоянии, т. е. энергия ее соответствует нижнему синглетному уровню ( $S_0$ ). Поглощение кванта света сопровождается переходом одного из пи-электронов на более высокий энергетический уровень. В результате возникает синглетное электронно-возбужденное состояние молекулы.

*Синглетным* называют такое возбужденное состояние, при котором переход электрона на более высокий энергетический уровень не сопровождается изменением знака спина. В спектрах поглощения ему соответствует одна линия. Если при этом поглощается квант красного света, то электрон переходит на первый синглетный уровень ( $S_1$ ) с энергией 176 кДж/моль квантов (42 ккал/моль) и временем жизни  $10^{-8} - 10^{-9}$  с. В случае захвата кванта синего света электрон оказывается на втором синглетном уровне ( $S_2$ ) с энергией 293 кДж/моль квантов (65 ккал/моль), а время жизни электрона в таком состоянии уменьшается до  $10^{-12} - 10^{-13}$  с.

Независимо от того, в какое электронно-возбужденное состояние молекула была переведена поглощенным квантом, она, в конечном счете, переходит на низший колебательный подуровень первого синглетного возбужденного состояния ( $S_1$ ). Энергия этого состояния может использоваться на осуществление фотохимических процессов, мигрировать от одной молекулы хлорофилла к другой, растрачиваться в виде тепла или флуоресцентного излучения. В последнем случае электрон возвращается в исходное положение.

Таким образом, независимо от длины возбуждающего света хлорофилл флуоресцирует только в красной части спектра. Уменьшение энергии кванта, излученного возбужденной молекулой, по сравнению с энергией поглощенного кванта получило название *стоксового сдвига*.

Флуоресцируют только хлорофилл *a* и хлорофилл *b*; каротиноиды не обладают этой способностью. В этиловом спирте у хлорофилла *a* наблюдается рубиново-красная флуоресценция с максимумом 668 нм, у хлорофилла *b* – 648 нм.

В живом листе основным флуоресцирующим пигментом слу-

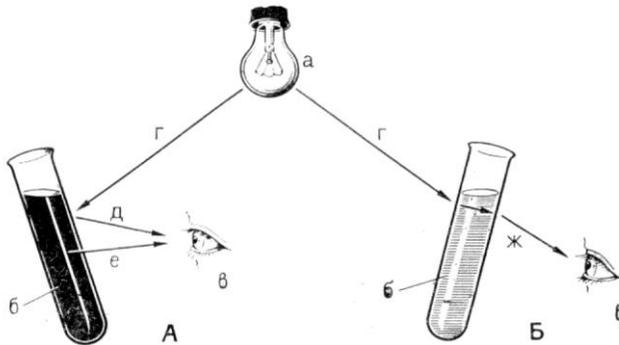
жит хлорофилл *a*. При этом в листьях флуоресценция выражена гораздо слабее, чем в растворе. Поэтому возрастание интенсивности фотосинтеза, как правило, влечет за собой ослабление флуоресценции. Изучение флуоресценции дает ценные сведения не только об использовании энергии в фотохимических процессах, но и о характере взаимодействия молекул различных пигментов в ламеллах тилакоидов хлоропласта, миграции энергии в фотосистемах и др.

*Цель работы.* Провести наблюдение за флуоресценцией хлорофилла, разобраться в сути этого процесса и его значении в энергетическом обмене клетки.

*Материалы и оборудование:* спиртовая вытяжка пигментов; пигменты, разделенные по Краусу и путем омыления; спектроскоп; лампа с направленным светом.

*Ход работы.* Спиртовую вытяжку пигментов или раствор хлорофилла в бензине, полученный при разделении пигментов по Краусу, помещают на темную бумагу у источника освещения и рассматривают в отраженном свете. Вытяжка хлорофилла будет темно-красного цвета. Если рассмотреть ее в проходящем свете, то она будет иметь изумрудно-зеленый цвет (рис. 7).

После рассмотрения вытяжки хлорофилла следует отметить окраску раствора и записать выводы о способности хлорофилла к флуоресценции.



**Рис. 7. Рассмотрение спиртовой вытяжки хлорофилла:**  
**А** – в отраженных лучах; **Б** – в проходящих лучах;  
**а** – источник света; **б** – пробирка с вытяжкой; **в** – глаз;  
**г** – падающие лучи; **д, е** – отраженные лучи;  
**ж** – лучи, прошедшие через хлорофилл

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Что такое флуоресценция хлорофилла?
2. Почему флуоресценция хлорофилла в спиртовой вытяжке сильнее, чем в листе?
3. Работники какой профессии часто встречаются с явлением флуоресценции, не задумываясь об этом?
4. Как объяснить разную окраску спиртовой вытяжки из зеленого листа при рассматривании ее в проходящем и отраженном свете?

### **Вопросы и задачи по разделу «Фотосинтез»**

1. Что такое фотосинтез? Напишите общую схему фотосинтеза.
2. Какие анатомические особенности листа обеспечивают эффективный фотосинтез?
3. Известно, что днем зеленые растения обогащают атмосферу кислородом, а ночью диоксидом углерода. Как это объяснить?
4. Какова химическая природа хлорофилла и его роль в фотосинтезе?
5. При помощи, какой реакции можно доказать, что хлорофилл является сложным эфиром? Напишите уравнение этой реакции.
6. Каково происхождение кислорода, выделяемого при фотосинтезе?
7. Как поставить опыт, доказывающий необходимость диоксида углерода для фотосинтеза?
8. Какие продукты образуются в световой фазе фотосинтеза?
9. В каких реакциях они используются?
10. Как влияет интенсивность света на процесс фотосинтеза?
11. Почему очень концентрированные растворы хлорофилла имеют темно-красный цвет?
12. Какие пигменты входят в светопоглощающий комплекс растения?
13. Каковы физиологические особенности листьев светолюбивых и теневыносливых растений?
14. Световая и темновая фазы фотосинтеза.
15. Биохимия фотосинтеза: цикл Кальвина.

16. Можно ли вырастить нормальные растения при искусственном освещении?

17. Есть ли зависимость между оттоком ассимилятов и интенсивностью фотосинтеза?

18. Какова связь фотосинтеза с урожайностью?

19. При помощи, какой реакции можно доказать, что в молекуле хлорофилла содержится атом магния? Напишите уравнение этой реакции.

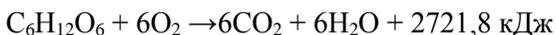
20. Как объяснить отмирание нижних ветвей деревьев в сомкнутом насаждении? У какой породы ствол очищается от сучьев быстрее – у лиственницы или у ели? Почему?

21. Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере наших широт зимой на 1,5 % выше, чем летом, почему?

## Раздел 4

### ДЫХАНИЕ

Дыхание – процесс окисления органических веществ до углекислого газа и воды при участии кислорода воздуха. Суммарно его выражают уравнением:



Важную роль в дыхании играют окислительно-восстановительные ферменты – дегидрогеназы и оксидазы. В результате окисления органических веществ освобождается энергия, значительная часть которой фиксируется в макроэргических фосфатных связях АТФ и в этой форме используется на различные жизненные процессы растений – биосинтез, активное поглощение и транспорт веществ, поддержание клеточной структуры и др. Образование АТФ за счет энергии окисления называют окислительным фосфорилированием. Этот процесс в основном протекает в митохондриях при окислении водорода, отнятого от дыхательного субстрата, до воды с участием цитохромной системы.

В клетках имеются и побочные пути окисления, связанные с участием других оксидазных систем (полифенолоксидазной, аскорбатоксидазной). Физиологическое значение этих путей в основном состоит в окислении избытка некоторых продуктов обмена веществ, например, полифенолов и их производных, являющихся ингибиторами метаболизма.

Часть образующихся в процессе дыхания восстановленных коферментов (НАД · Н и особенно НАДФ · Н) используется на восстановительные процессы: восстановление нитратов до аммиака, восстановительное аминирование кетокислот и др.

Постепенный распад сахаров сопровождается образованием разнообразных промежуточных продуктов, являющихся исходными соединениями для синтеза аминокислот, белков, жиров, углеводов и других веществ.

Будучи тесно связано со всей жизнедеятельностью растений, дыхание наряду с фотосинтезом оказывает непосредственное влияние на их продуктивность. Дыханию принадлежит важная роль в

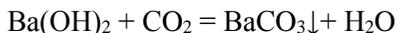
обеспечении защитных реакций организма. Многие заболевания растений сопровождаются повышением интенсивности дыхания и активированием дыхательных ферментов, например, пероксидазы, полифеноллоксидазы, аскорбиноксидазы.

Наиболее общий показатель скорости окисления – интенсивность дыхания, о которой можно судить по поглощению кислорода, выделению углекислого газа и окислению органического вещества. Другими показателями дыхательного метаболизма являются: величина дыхательного коэффициента, соотношение гликолитического и пентозофосфатного путей распада сахаров, активность окислительно-восстановительных ферментов. Об энергетической эффективности дыхания можно судить по интенсивности окислительного фосфорилирования митохондрий.

Эти показатели могут быть использованы для характеристики физиологических свойств и состояния растений в зависимости от условий их выращивания.

### **Работа 18. Обнаружение дыхания растений**

*Вводные пояснения.* Дыхание – это сложный, многоступенчатый, ферментативный процесс, протекающий в каждой живой клетке растения и являющийся источником энергии и метаболитов для нее. Дыхание характеризуется постепенным окислением органических веществ – субстратов дыхания. Одновременно происходит поглощение кислорода и выделение углекислого газа. Поэтому большинство методов обнаружения дыхания основаны на учете изменения состава воздуха в замкнутом сосуде после выдерживания в нем живых растений. Содержание углекислого газа, выделяемого при дыхании, определяют по помутнению баритовой воды:



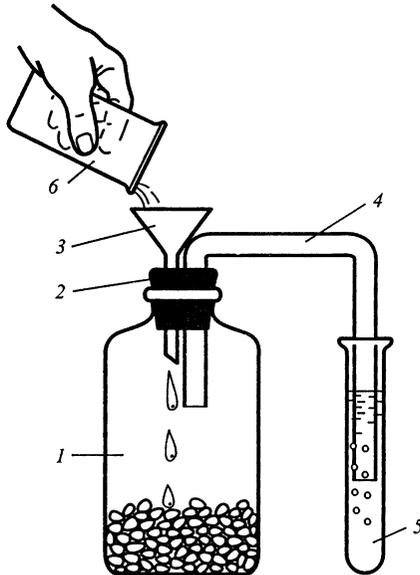
Отсутствие кислорода в сосуде с растениями проверяют введением в сосуд горящей лучинки, которая в данных условиях гаснет.

*Цель работы:* доказать, что при дыхании растений выделяется  $\text{CO}_2$ .

*Материалы и оборудование:* проросшие семена пшеницы, подсолнечника, кукурузы, гороха или др.; 2 стеклянные банки вместимостью 300–400 мл; 2 резиновые пробки с отверстиями для воронки и трубки; 2 воронки; 2 изогнутые в виде буквы «П» стеклянные

трубки длиной 18–20 см и диаметром 4–5 мм; 2 пробирки; химический стакан; раствор  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ .

*Ход работы.* В стеклянную банку насыпают 50–60 г проросших семян, плотно закрывают ее пробкой, в которую вставлены воронка и изогнутая стеклянная трубка (рис. 8) и оставляют на 1–1,5 ч. За это время в результате дыхания семян в банке накопится диоксид углерода. Он тяжелее воздуха, поэтому сосредоточен в нижней части банки и не попадает в атмосферу через воронку или трубку. Одновременно берут контрольную банку без семян, также закрывают ее резиновой пробкой с воронкой и стеклянной трубкой и ставят рядом с первой банкой.



**Рис. 8 – Обнаружение углекислого газа, выделившегося при дыхании растений: 1 – банка с проросшими семенами; 2 – резиновая пробка; 3 – воронка; 4 – изогнутая трубка; 5 – пробирка с баритовой водой; 6 – стакан с водой**

По окончании опыта свободные концы стеклянных трубок опускают в две пробирки с баритовой водой. В обе банки через воронки начинают понемногу наливать воду. Вода вытесняет из банок воздух, обогащенный  $\text{CO}_2$ , который поступает в пробирки с раствором  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ . В результате баритовая вода мутнеет. Сравнивают степень

помутнения  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  в обеих пробирках.

Зарисовать прибор, который помогает обнаруживать дыхание по выделению  $\text{CO}_2$ , сделать подписи к рисунку и вывод о выделении  $\text{CO}_2$  в процессе дыхания.

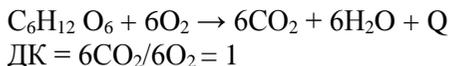
### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Что такое дыхание?
2. Напишите суммарное уравнение процесса дыхания.
3. Какими способами можно доказать дыхание растений?

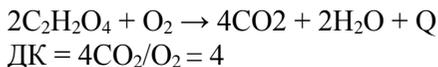
## **Работа 19 Определение дыхательного коэффициента семян**

*Вводные пояснения.* Дыхательным коэффициентом (ДК) называется отношение объема выделенного при дыхании диоксида углерода к объему поглощенного кислорода. Величина дыхательного коэффициента зависит, прежде всего, от того, какие вещества используются при дыхании.

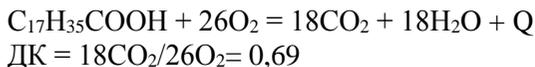
При окислении сахаров отношение  $\text{CO}_2$  к  $\text{O}_2$  равно единице:



Если дыхательным материалом служат вещества более окисленные, чем углеводы (например, щавелевая кислота), то величина дыхательного коэффициента будет больше единицы:



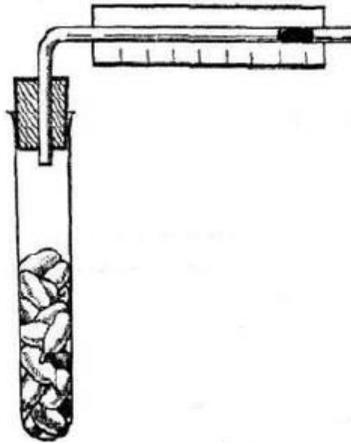
Дыхательный коэффициент будет меньше единицы, если на дыхание используют соединения менее окисленные, чем углеводы, например жирные кислоты:



Для ориентировочного определения дыхательного коэффициента исследуемый материал помещают в пробирку, соединенную с

градуированной трубкой (рис. 9), в которую введена капля жидкости. Если объемы обмениваемых при дыхании газов равны, то капля в трубке передвигаться не будет. Если же величина дыхательного коэффициента меньше или больше единицы, то будет наблюдаться перемещение жидкости в трубке, соответствующее разности между объемами поглощенного  $O_2$  и выделенного  $CO_2$ . Затем с тем же материалом продельвают второй опыт, вводя в пробирку крепкий раствор щелочи для поглощения выделяемого при дыхании  $CO_2$ . Наблюдающееся при этом передвижение капли в трубке соответствует объему поглощенного материалом кислорода.

*Цель работы.* Определить дыхательный коэффициент наклюнувшихся семян подсолнечника и пшеницы.



**Рис. 9. Установка для определения дыхательного коэффициента**

*Материалы и оборудование:* наклюнувшиеся семена клещевины (или подсолнечника) и пшеницы; 20 %-ный раствор КОН; метиленовая синь; пробирка с хорошо пригнанной резиновой пробкой, в которую вставлена изогнутая под прямым углом тонкая стеклянная трубка; горизонтальное колено трубки градуируют, прикрепляя к ней при помощи резиновых колечек полоску миллиметровой бумаги; пинцет; пипетка с оттянутым концом; фильтровальная бумага.

*Ход работы.* Для определения дыхательного коэффициента



### **Вопросы для самоконтроля**

1. Написать уравнения реакции окисления следующих органических соединений:
  - линоленовой кислоты –  $C_{18}H_{32}O_2$ ;
  - сахарозы  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ;
  - щавелево-уксусной кислоты  $C_4H_4O_5$ .
2. Рассчитать дыхательные коэффициенты при окислении до  $CO_2$  и  $H_2O$  этих органических субстратов.
3. Сделать вывод о зависимости величины дыхательного коэффициента от характера окисляемых веществ.
4. Как практически найти объем поглощенного  $O_2$  при дыхании?
5. Как найти разницу между поглощенным кислородом и выделенным при дыхании углекислым газом?

### **Работа 20 Обнаружение дегидрогеназ у дрожжей**

*Вводные пояснения.* Дыхание – это сложный окислительно-восстановительный процесс, который осуществляется при участии комплексной системы ферментов. Ферменты, катализирующие непосредственно окислительно-восстановительные превращения дыхательного субстрата, разделяются на ряд групп. Дегидрогеназы (дегидразы), ферменты катализирующие дегидрирование субстрата, т.е. отнятие водорода и электрона от субстрата дыхания. Они активируют водород субстрата. Другие способствуют его переходу на соответствующий акцептор с более высоким редокс-потенциалом, например, кислород. Такие дегидрогеназы называют аэробными дегидразами или оксидазами, т.к. они выполняют оксидазные функции, переводя протон водорода и электрон на кислород. Анаэробные дегидрогеназы переносят водород и электрон на промежуточные переносчики водорода.

Растительные дегидрогеназы можно обнаружить с помощью некоторых химических соединений, например, метиленовая синь, имеющих в окисленном состоянии цветные молекулы. В восстановленном состоянии (т.е. присоединив водород) молекулы этих веществ становятся бесцветными. Эти соединения используются для обнаружения дегидраз.

*Цель.* Изучить действие дегидрогеназы у дрожжей с помощью

метиленовой сини.

*Материал и оборудование:* дрожжи; 5-процентный раствор сахарозы; раствор метиленовой сини; водяная баня; термометр; пипетка на 1 мл.

*Ход работы.* Берут 5 г прессованных дрожжей, растворяют в 100 мл 5-процентного раствора сахарозы. Взвесь дрожжей разливают в 2 пробирки (заполнить объем на  $\frac{3}{4}$  раствором). Содержимое одной пробирки (контрольной) кипятят в течение пяти минут, считая от начала кипения. При кипячении ферменты разрушаются. После охлаждения контрольной пробирки в обе пробирки прибавляют по 2–3 капли метиленовой сини. Затем обе пробирки этикетировывают и ставят на водяную баню при температуре 45 °С.

Через 20–30 минут пробирки вынимают и обнаруживают, что жидкость в контрольной пробирке осталась по-прежнему ярко-голубой, а в опытной – совершенно обесцветилась. Метиленовая синь в опытной пробирке под влиянием водорода, активированного дегидрогеназами, обесцветилась. Образовалось бесцветное лейкосоединение, отличающееся от окрашенной формы тем, что в молекуле сини появились два лишних атома водорода (путем встряхивания опытной пробирки), лейкомолекула сини опять станет окрашенной.

Описать результаты опыта и объяснить полученные результаты о работе дегидразы у дрожжей.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Какие реакции катализируются дегидрогеназами?
2. Почему в опытной пробирке метиленовая синь обесцветилась?
3. Как объяснить, что жидкость в контрольной пробирке осталась по-прежнему ярко-голубой.

## **Работа 21. Определение пероксидазы в растительных тканях**

*Вводные пояснения.* Пероксидаза играет важную роль в окислительно-восстановительных процессах, протекающих в растительном организме при дыхании и брожении, т.е. она является дыхательным ферментом. Она способна окислять органические соединения лишь с помощью каких-либо органических перекисей. В растениях пере-

кись водорода образуется под действием оксидаз (полифенолоксидаза, монофенолоксидаза). Пероксидаза вместе с перекисью водорода образует комплексные соединения, в результате чего перекись активируется и приобретает способность действовать как акцептор водорода. Она может окислять полифенолы и некоторые органические амины. Например, под действием пероксидазы и перекиси водорода гидрохинон переходит в интенсивно буро окрашенный хинон.

Гидрохинон +  $\text{H}_2\text{O}_2$  пероксидаза хинон +  $\text{H}_2\text{O}$

*Цель.* Показать действие фермента пероксидазы в окислительно-восстановительном процессе.

*Материал и оборудование:* клубни картофеля; 1 %-ный раствор гидрохинона; 3 %-ный раствор перекиси водорода; нож; пипетки.

*Ход работы.* Из клубня картофеля поперек нарезать 4 пластинки толщиной 3–4 мм и разложить на пластиковой тарелке. На срез первой пластинки картофеля (носитель пероксидазы) нанести только воду, на 2-ю только гидрохинон, на 3-ю только  $\text{H}_2\text{O}_2$ , на 4-ю перекись водорода и гидрохинон. При окислении гидрохинона в хинон происходит интенсивное побурение среза. Слабое побурение среза наблюдается и без нанесения гидрохинона и перекиси водорода, оно не связано с действием пероксидазы, которая проявляет активность только в присутствии перекиси водорода, это происходит в связи с действием полифенолоксидазы, окисляющей полифенолы с участием молекулярного кислорода.

Результаты наблюдений записать, отметить окраску срезов в таблице 5.

**Таблица 5**

Вариант	Картофельный срез (носитель пероксидазы)	Гидрохинон	$\text{H}_2\text{O}_2$	Окраска среза
1	+	–	–	
2	+	+	–	
3	+	–	+	
4	+	+	+	

Объяснить особенности работы фермента пероксидазы, исходя из результатов опыта.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Какие реакции катализирует фермент пероксидаза?
2. Механизм действия пероксидазы. Почему пероксидаза способна действовать как акцептор водорода?
3. На чем основан метод определения активности пероксидазы?
4. Как можно определить активность пероксидазы?
5. В каком варианте опыта и почему наблюдалось наиболее энергичное окисление гидрохинона в хинон?

**Вопросы и задачи по разделу  
«Дыхание»**

1. Общая характеристика и этапы дыхания.
2. Что можно сказать о субстратах дыхания по дыхательному коэффициенту? У каких соединений дыхательный коэффициент равен 1?
3. Клеточные структуры, участвующие в дыхании.
4. Приведите примеры ферментов, принимающих участие в дыхании.
5. В чем состоит роль дыхания в жизни растений?
6. Какое количество АТФ образуется при распаде одной молекулы глюкозы: а) в анаэробную фазу дыхания; б) в аэробную? На каком этапе аэробной фазы дыхания требуется кислород?
7. Что является субстратом анаэробной фазы дыхания?
8. Как происходит гликолиз? Каково его значение? В каких частях клетки осуществляется этот процесс?
9. На каких этапах гликолиза и за счет энергии каких реакций накапливается АТФ?
10. Цикл ди- и трикарбоновых кислот (цикл Кребса). Почему цикл Кребса называют «метаболическим котлом» клетки?
11. Что такое окислительное фосфорилирование?
12. Зависимость дыхания от факторов внешней и внутренней среды.
13. Чем дыхание отличается от горения?

14. Чем брожение отличается от дыхания? Назвать основные типы брожения.

15. Почему высшие растения не могут длительно поддерживать свою жизнь в анаэробных условиях, хотя и не погибают сразу после попадания в среду без кислорода?

16. Объясните, почему интенсивность дыхания растений резко возрастает при увеличении содержания  $O_2$  от 1 до 5–6 %, а при дальнейшем повышении содержания  $O_2$  почти не изменяется.

17. Зеленый лист на свету при температуре 25 °С интенсивно поглощает  $CO_2$ , а при повышении температуры до 40 °С начал выделять  $CO_2$ . Как объяснить отмеченное изменение газообмена листа?

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

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

## Раздел 5

### МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

В состав растений входят почти все известные элементы, однако многие из них не относятся к необходимым и незаменимым. Элемент считается необходимым, если: 1) его отсутствие исключает нормальный жизненный цикл растения; 2) недостаток элемента вызывает специфические нарушения жизнедеятельности растения, предотвращаемые или устраняемые внесением этого элемента; 3) элемент непосредственно участвует в процессах превращения веществ и энергии.

К необходимым для высших зеленых растений элементами (кроме углерода, водорода и кислорода) относятся *макроэлементы* – азот, фосфор, сера, калий, кальций и магний; *микроэлементы* – железо, марганец, медь, цинк, бор, молибден, кобальт.

Макро- и микроэлементы растения поглощают с помощью корней из почвенного раствора в виде соответствующих ионов. Макроэлементы входят в состав важных молекул и компонентов клетки. Микроэлементы либо входят в состав ферментов, либо обеспечивают необходимые условия для протекания биохимических реакций в клетке.

Недостаток любого из 13 элементов минерального питания вызывает отклонение в росте и развитии в виде различных специфических симптомов типа изменения окраски, хрупкости листьев, деформации, некроза, повреждения коры, плодов, развития корней и т.п. По симптомам, специфичным при недостатке каждого элемента, можно установить его дефицит у растений.

Действительные потребности растений в необходимых минеральных элементах можно установить только при выращивании их на искусственных питательных средах (водные и песчаные культуры). Для этого используют дистиллированную воду и химически чистые кварцевый песок, соли, химически стойкие сосуды и посуду для приготовления и хранения растворов. Такие опыты проводят в специальных сооружениях – вегетационных домиках. В холодные

сезоны домики оборудуют отопительными устройствами (такие домики называют теплицами или оранжереями). В последнее время для выращивания растений используют искусственные источники света: обычные лампы накаливания, люминесцентные, ксеноновые лампы и др. Сооружения, в которых регулируются все факторы роста и развития растений, называются лабораториями, или станциями искусственного климата, а наиболее оборудованные из них – фитотронами.

## **Работа 22. Микрохимический анализ золы растений**

*Вводные пояснения.* Основным приемом элементарного анализа растений является сжигание. При сжигании углерод, азот, водород и кислород улетучиваются в виде  $\text{CO}_2$ , воды и молекулярного азота. Это органогены, так как все органические вещества состоят преимущественно из этих 4-х элементов. Однако после сжигания растительного материала всегда остается некоторый нелетучий остаток, называемый золой, который содержит элементы, называемые зольными. Содержание зольных элементов в разных растениях и в разных частях одного и того же растения неодинаково и зависит от состава почвы, физиологических особенностей и возраста растения. На количество золы влияет также соотношение между живыми и мертвыми клетками: мертвые клетки состоят из одних клеточных стенок, в которых находится небольшое количество Ca и Si, тогда как в цитоплазме и органоидах живых клеток содержится много зольных элементов как в составе органических веществ (сера – в белках, фосфор – в нуклеиновых кислотах и фосфолипидах, магний – в хлорофилле и т. п.), так и в форме минеральных ионов.

К наиболее распространенным в растениях зольным элементам относятся: P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, Al, Si и др.

Для изучения химического состава золы можно использовать микрохимический метод, для которого требуется небольшое количество материала. В основе микрохимического анализа лежит свойство некоторых солей образовывать характерной формы кристаллы, по которым можно судить о наличии в составе золы того или иного элемента.

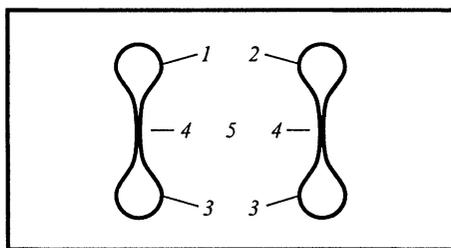
*Цель работы.* Провести обнаружение зольных элементов Ca,

Mg, P и Fe в золе растений микрохимическим методом.

*Материалы и оборудование:* зола, полученная при сжигании листьев, или табачный пепел; 10 %-ный раствор соляной кислоты; 1 %-ная  $H_2SO_4$ ; 10 %-ный раствор  $NH_3$ ; 1 %-ный раствор  $Na_2HPO_4$ ; 1 %-ный раствор молибдата аммония в 1 %-ной  $HNO_3$ ; 1 %-ный раствор желтой кровяной соли в капельнице; дистиллированная вода в стакане; пробирки (2 шт.); воронка маленькая; бумажный фильтр; стеклянные палочки с заостренным кончиком (2 шт.); предметные стекла (3 шт.) микроскоп; кусочки фильтровальной бумаги.

*Ход работы.* Насыпать в пробирку небольшое количество золы и залить ее примерно 4-х-кратным объемом 10 %-ного раствора соляной кислоты. Полученный раствор отфильтровать в чистую пробирку через небольшой фильтр.

Провести на предметных стеклах реакции на Ca, Mg, и P. Для этого тупым концом стеклянной палочки нанести на предметное стекло небольшую каплю вытяжки и на расстоянии 4–5 мм от неё – каплю соответствующего раствора (рис. 10). Затем заостренным концом палочки соединить капли дугообразным каналом. В месте соединения произойдет реакция, причем по краям канала будет наблюдаться быстрая кристаллизация продуктов реакции. Образующиеся кристаллы рассматривают под микроскопом.



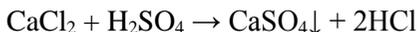
**Рис. 10. Техника проведения реакции:**

- 1 – вытяжка из золы; 2 – раствор, содержащий обнаруживаемый элемент; 3 – реактив на обнаруживаемый элемент;**
- 4 – «мостик» между раствором и реактивом; 5 – предметное стекло**

Стеклянные палочки после нанесения каждого реактива необходимо ополоснуть водой и вытереть фильтровальной бумагой.

*Реактивом на ион  $Ca^{2+}$  служит 1 %-ная  $H_2SO_4$ . При этом хлорид*

кальция, содержащийся в вытяжке, реагирует с серной кислотой по уравнению:

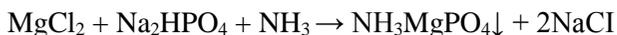


Образующийся гипс ( $\text{CaSO}_4$ ) осаждается в виде игольчатых кристаллов (рис. 11 «а»)



**Рис. 11. Кристаллы солей кальция и магния**

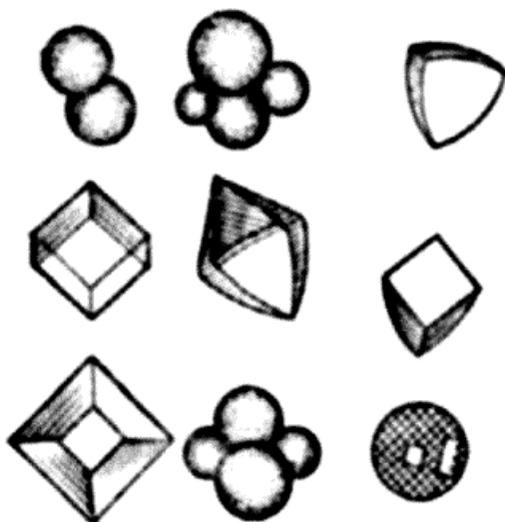
Для обнаружения  $\text{Mg}^+$  к капле испытуемого раствора следует сначала добавить каплю раствора аммиака, а затем соединить канальцем с реактивом, которым служит 1%-ный раствор фосфорнокислого натрия. Образуется фосфорноаммиачномагнезиальная соль, кристаллизующаяся в виде прямоугольников, крышечек, звезд или крыльев (рис. 11 «б»), в результате следующей реакции:



Для обнаружения фосфора соединить каплю вытяжки с 1 %-ным раствором молибдата аммония в азотной кислоте.

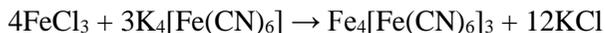
Получается зеленовато-жёлтый осадок фосфорно-молибденово-кислого аммония (рис. 12).





**Рис. 12. Кристаллы фосфорномолибденокислого аммония**

*Железо* можно обнаружить с помощью раствора жёлтой кровяной соли. В результате реакции образуется берлинская лазурь:



Реакцию на железо рекомендуется проводить в пробирке: к остатку зольной вытяжки добавляют по каплям раствор жёлтой кровяной соли до появления синей окраски.

Результаты работы оформляют в виде рисунков кристаллов гипса, фосфорноаммиачномагнезиальной соли и фосфорномолибденовокислого аммония. Уравнения реакции записывают в тетрадь.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Какие химические элементы называются органогенами? Почему?
2. Назовите химические элементы, составляющие золу растений?
3. Перечислите химические элементы, являющиеся абсолютно необходимыми для жизни растений?

4. Почему одни химические элементы называют макроэлементами, другие – микроэлементами?

5. Как можно обнаружить в золе микрохимическим методом наличие ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{+}$ ,  $\text{P}^{+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ ?

### Работа 23. Антагонизм ионов

*Вводные пояснения.* Антагонизмом ионов называют такое явление, когда один ион уменьшает или устраняет действие другого. Например, отдельные соли могут проявлять токсичное действие на живые клетки, тогда как их смесь оказывается нейтральной. Раствор с оптимальным соотношением ионов называется уравновешенным.

Антагонизм ионов проявляется и в конкуренции за переносчиков на поверхности плазмалеммы, за активные центры ферментов, а также в противоположном воздействии на гидратацию белков, на вязкость и проницаемость цитоплазмы.

Опыты по антагонизму ионов необходимо проводить с очень чистыми реактивами и посудой, так как даже небольшое загрязнение посторонними ионами может быть причиной получения неправильных результатов.

*Цель работы.* Ознакомиться с явлением антагонизма ионов.

*Материалы и оборудование:* наклюнувшиеся семена пшеницы или ячменя; растворы  $\text{KCl}$  – 9 г/л и  $\text{CaCl}_2$  – 6,7 г/л (оба раствора должны быть приготовлены из химически чистых солей на бидистиллированной воде); бидистиллированная вода; кристаллизатор; чашки Петри (4 шт.); пипетки, градуированные на 10 мл (3 шт.); пинцет; ножницы; фильтровальная бумага; маркер; миллиметровая бумага или линейка.

*Ход работы.* Отобрать 30 – 40 семян, находящихся на одинаковой стадии прорастания, промыть их 3–4 раза бидистиллированной водой. В четыре чашки Петри, сполоснутые также бидистиллированной водой, положить фильтровальную бумагу. На боковой стенке нижней половины чашки написать вариант опыта, а затем пинцетом в каждой из них разложить по 12 проростков и добавить по 10 мл: в первую чашку – бидистиллята (контроль); во вторую – раствор  $\text{KCl}$ ; в третью – раствор  $\text{CaCl}_2$ ; в четвертую – 8,6 мл раствора  $\text{KCl}$  и 1,4 мл

раствора  $\text{CaCl}_2$ . Чашки Петри поместить в термостат при температуре  $26^\circ\text{C}$ . Через неделю измерить длину coleoptилей и корней, вычислить средние величины, данные занести в таблицу 6.

**Таблица 6**  
**Результаты опыта по изучению антагонизма ионов**

Вариант опыта	Длина coleoptиля		Длина главного корня		Число боковых корней	
	см	% к контролю	см	% к контролю	см	% к контролю
Контроль (бидистиллят)						
$\text{KCl}$						
$\text{CaCl}_2$						
$\text{KCl} + \text{CaCl}_2$						

*Задание:* построить диаграммы по данным таблицы; проанализировать данные таблицы и диаграмм и сформулировать выводы.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Что такое антагонизм ионов?
2. Какой раствор называют уравновешенным?
3. Чем объясняется неодинаковый рост корней на растворах отдельных солей и на смеси, содержащей одно- и двухвалентный катион?

## **Работа 24. Диагностика заболеваний растений при голодании по элементам минерального питания**

*Вводные пояснения.* Распознавание признаков голодания растений, вызываемых недостатком тех или иных элементов минерального питания, крайне важно для устранения признаков заболевания путем своевременной подкормки. Внимательное изучение признаков голодания у растений парка, леса, окрестных полей поможет сделать вывод о дефиците тех или иных элементов в данном районе и дать рекомендации о состоянии почв и внесении недостающих удобрений под культурные растения.

*Цель работы.* Научиться определять признаки голодания растений при недостатке того или иного элемента питания.

*Материалы и оборудование:* гербарные листья больных растений; цветные карандаши; атласы и книги с иллюстрациями признаков голодания. Из них можно рекомендовать: больные листья и побеги комнатных растений в зимний период; растения сада, огорода, поля, леса, пустырей и т.д. в период вегетации.

*Ход работы.* Рассмотреть картинки с изображением признаков недостатка элементов минерального питания у растений: азота, фосфора, калия, магния, серы, железа, марганца, меди, цинка, бора, молибдена и кобальта.

С помощью имеющихся атласов, книг, пособий и таблицы 7 определить диагноз заболевания растений, какого элемента минерального питания недостаточно.

Таблица 7

**Признаки заболеваний растений при голодании  
по элементам питания**

Элемент	Симптомы недостаточности
1	2
N	Слабый рост, карликовость, склероморфизм. Отношение побеги / корни сдвинуто в пользу корней. Преждевременное пожелтение более старых листьев, их некротические концы.
P	Задержка цветения, отсутствие роста, фиолетовая окраска листьев и стеблей, тенденция к скручиванию и перевертыванию листьев
K	Белые и бурые пятна, рваный край листа, дырки, отверстия в листе, краевой ожог листьев (запал). По мере возрастания дефицита элемента повреждения увеличиваются
S	Сходны с симптомами азотной недостаточности. Отставание в росте растений. Листья от бледно-зеленой до кремовой и желтой окраски. При голодании по сере отсутствует характерный признак азотистого голодания – общее пожелтение всего растения
Mg	Белые или желтые пятна на листьях сливаются, лист буреет и отмирает. При глубоком дефиците листья узкие, по цвету – красные, оранжевые, пурпурные. Наблюдается слабый рост и межжилковый хлороз старых листьев

Продолжение табл.7

1	2
Ca	Гофрированные, сморщенные листья с некротическими зонами. Отсутствие верхушечных почек. Нарушение роста, связанного с делением и растяжением клеток.
Fe	Бледно-желтая окраска ткани листьев между жилками у молодых листьев, жилки остаются зелеными. Хлороз. Малая мощность растения, неурожай. Старые листья поражаются позже сходным образом
Mn	Однородная желтизна старых и молодых листьев, а также верхушечной почки. Межжилкового хлороза на поздних стадиях нет. На ранних – имеется угнетение роста и межжилковый хлороз
B	Отмирание верхушечных почек, закрученные, деформированные листья; черная гниль у корнеплодов свеклы, моркови; полые кочерыжки капусты.
Zn	Ярко-желтая окраска всей поверхности листьев и зеленый цвет жилок. Желтые полосы на листьях злаков. Мелколистность верхушечных побегов. «Розеточность», «желтуха», «мелколистность», «пятнистость листьев» – так называется дефицит Zn
Si	Бледно-желтая окраска листьев или полосатые закрученные листья. Вдоль краев листьев хлороз с последующим некрозом.
Mo	Узкие, длинные, скрученные листья, выемки на листовой пластинке, хлороз сложных листьев, включая черешок.
Na	Растения не испытывают недостатка. Избыток проявляется в виде неоднородной пестроты, некроза верхушек листьев, краев и тканей между жилками.
Cl	Из видимых симптомов – увядание растений, остальные симптомы специфичны для отдельных видов растений. Дефицит встречается редко.

Заполнить таблицу 8; сделать рисунки; отметить расположение больных листьев на побеге (верхние, нижние); сделать выводы о типичных видах голодания у растений огорода, сада, леса, поля данного района.

Таблица 8

**Признаки заболеваний растений при голодании  
по элементам питания**

Вид растения и место обитания	Орган (побег, лист: верхний, нижний)	Описание признаков голодания	Рисунок	Диагноз	Способы устранения заболевания

***Вопросы для самоконтроля***

1. Перечислите необходимые растению элементы, указав, какие из них являются макроэлементами и какие микроэлементами?
2. Что такое признаки голодания у растений?
3. По каким органам и каким образом могут проявляться признаки недостатка того или иного элемента минерального питания?

**Вопросы и задачи по разделу  
«Минеральное питание»**

1. Какие элементы минерального питания необходимы растению?
2. В чем заключается структурообразующая роль Са и Mg в клетке?
3. С чем связано явление хлороза у растений?
4. В каких частях дерева наблюдается более высокое процентное содержание золы: а) в древесине или в листьях? б) в молодых или старых листьях? Как объяснить эти различия?
5. Что такое физиологически кислые и физиологически щелочные соли? Приведите примеры.
6. Каково значение микоризы для древесных растений?
7. Как установить необходимость того или иного элемента для

жизни растений?

8. С какими физиологическими процессами наиболее связана поглотительная функция корня

9. Какое значение имеет азот в жизни растений? Перечислите формы почвенного азота и укажите, какие из них являются пригодными для питания растений?

10. Какие бактерии называются азотофиксирующими? Приведите примеры бактерий, относящихся к этой группе.

11. Какие организмы могут усваивать азот из воздуха?

12. Каковы взаимоотношения между бобовыми растениями и клубеньковыми бактериями?

13. Каковы причины накопления избыточных количеств нитратов в растениях?

14. Какие физиологические нарушения возникают в растении при недостатке азота?

15. Что такое бактериальные удобрения? Приведите примеры.

16. С чем связана специфическая физиологическая роль фосфора? Фосфор, доступные формы фосфора, круговорот, значение для растений?

17. Сера, доступные формы, круговорот, значение для растений.

18. Что называется реутилизацией элементов минерального питания?

19. Почему не следует практиковать сбор опавшей листвы в лесу?

20. Физиологические основы применения удобрений.

## Раздел 6

### РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

Жизненный цикл (онтогенез) или индивидуальное развитие – комплекс последовательных и необратимых изменений жизнедеятельности и структуры растений от возникновения из зиготы, зачаточной или вегетативной почки, до естественной смерти. Онтогенез – это последовательная реализация наследственной генетической программы развития организма в конкретных условиях внешней среды.

По продолжительности онтогенеза все растения делятся на три группы; однолетние, двулетние и многолетние. Однолетние растения подразделяются на:

1) эфемеры, вегетационный период которых составляет 3–6 недель (редис, мокрица);

2) яровые ранние (овес, ячмень, яровая пшеница, горох, лебеда) их всходы появляются при температуре 2–5 °С, созревают в конце лета;

3) яровые поздние (кукуруза, просо, щирца), всходы появляются при температуре не менее 10 °С на глубине почвы 10 см;

4) на зимующие (василек, ярутка, пастушья сумка), если всходы появляются весной, растение развивается по типу яровых и плодоносит в этом же году, а если всходы появляются в конце лета или осенью, растение не успевает закончить вегетацию, зимует в любой фазе и заканчивает её в следующем году;

5) озимые (озимая рожь и пшеница, костер ржаной) требуют для своего развития действия пониженных отрицательных температур, поэтому высевают их в конце лета, растения зимуют в фазе кущения и заканчивают вегетацию в следующем году.

Двулетние растения для своего развития требуют два вегетационных периода. В первый год жизни они образуют вегетативные и зачатки генеративных органов, и во второй год происходит цветение и плодоношение (морковь, свекла, капуста кочанная, донник).

Многолетние растения (злаковые и бобовые кормовые травы, плодовые деревья и ягодные кустарники) имеют продолжительность

онтогенеза от трех до нескольких десятков лет.

Однолетние и двулетние сельскохозяйственные растения относятся к монокарпическим, которые плодоносят один раз и после плодоношения погибают. Большинство двулетников могут плодоносить один раз после перезимовки. Многолетние растения относятся к поликарпическим, плодоношение их повторяется много лет. Деление растений на монокарпические и поликарпические условно и зависит от условий выращивания. Томаты и клецелина в тропиках развиваются как многолетние поликарпические формы, а в умеренных широтах – как однолетние. Пшеница и рожь – однолетние растения, но среди них есть и многолетние формы.

В зависимости от конкретных целей в онтогенезе можно выделить вегетативный и репродуктивный периоды, фенологические фазы развития, этапы онтогенеза, возрастные периоды.

Вегетативный период характеризуется усиленным ростом корней и надземной части, их ветвлением, накоплением массы и закладкой органов цветка.

Репродуктивный период включает цветение и плодоношение.

Фенологические фазы – это четко выраженные морфологические изменения растений и зависят от их биологических особенностей. Например, для всех злаковых различают следующие фазы: прорастание семян, всходы, появление третьего листа, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, фазы молочной, восковой и полной спелости.

На протяжении жизни растение формирует новые органы. М.Ф. Куперман (1955) выделила 12 этапов органогенеза, отражающих морфологические процессы в онтогенезе растений. Нахождение органогенеза влияют погодные условия и технология возделывания, которые можно регулировать с целью повышения продуктивности растений.

В онтогенезе растений можно выделить пять этапов:

- эмбриональный – образование зиготы;
- ювенильный – прорастание зародыша и образование вегетативных органов;
- зрелость – появление зачатков цветков, формирование репродуктивных органов;
- размножение (плодоношение) – однократное или многократное образование плодов;

– старение – преобладание процессов распада и низкая активность структур.

Изучение закономерностей онтогенеза сельскохозяйственных растений – одна из главных задач физиологии растений и растениеводства.

Рост – это новообразование цитоплазмы и клеточных структур, приводящее к увеличению числа и размеров клеток, тканей, органов и всего растения в целом. Рост – не только количественный процесс, но и качественный, так как новые приросты отличаются друг от друга.

Развитие – качественные изменения структуры и функций растения в целом и его отдельных частей – органов, тканей и клеток, возникающих в процессе онтогенеза.

Процессы роста и развития тесно взаимосвязаны, и зависят от погоды и агротехники. При прохладной, влажной погоде ростовые процессы преобладают над развитием, и растения имеют мощную вегетативную массу, при этом созревание задерживается. При сухой и жаркой погоде развитие преобладает над ростом (растения низкорослые), созревание ускоряется. Внесение азотных удобрений усиливает ростовые процессы и задерживает развитие, при внесении фосфорных удобрений развитие преобладает над ростом, созревание при этом ускоряется. Для нормального развития требуется определенное соотношение азота и фосфора, в зависимости от биологических особенностей растений. Зная эти особенности, можно регулировать рост и развитие, эффективно применять удобрения, повышать продуктивность растений и качество продукции.

### **Работа 25. Определение зоны роста корня**

*Вводные пояснения.* Основой роста растения является образование и рост клеток меристемной ткани. Апикальная меристема – верхушечная образовательная ткань стеблей и корней. Латеральная меристема (камбий) расположена параллельно боковой поверхности органа. Интеркалярная (вставочная) меристема расположена в междоузлиях стебля и в основании листа растений злаков.

Клетка проходит ряд последовательных этапов (фаз) своего роста и развития.

*Эмбриональная фаза (деление)* – это деление клеток, увеличение

массы их протоплазмы и ядра. Клетки мелкие, с очень тонкими стенками, вакуолей нет или зачаточные. Дочерние клетки, достигая размеров материнской, могут вновь делиться. Эмбриональные клетки точек роста синтезируют ауксин. После 3-5 делений клетки периферийной зоны переходят в фазу растяжения. Инициальные клетки меристемы продолжают делиться на протяжении всего периода роста, оставаясь эмбриональными.

*Фаза растяжения* характеризуется быстрым увеличением объема клеток, который возрастает в 50–100 раз. Рост клеток происходит благодаря увеличению вакуоли, растягивающей клетку. Концентрация клеточного сока повышается за счет сахаров, аминокислот, ионов. В конце фазы растяжения происходит лигнификация клеточных стенок, повышается содержание фенольных ингибиторов и абсцизовой кислоты, снижается содержание ауксинов. Рост растяжением обеспечивает увеличение площади листовых пластинок, длины стебля и корневой системы растений.

*В фазе дифференциации* в структуре и функциях клетки появляются характерные особенности, определяющие ее принадлежность к конкретной специализированной ткани. Специализация клеток происходит уже в меристематической зоне под влиянием местоположения: клеточного окружения, полярности и др.

*Старение и отмирание* завершает онтогенез клеток. В результате преобладания гидролитических процессов над синтетическими в стареющих клетках снижается содержание РНК, белков, повышается активность пероксидаз и протеаз, проницаемость мембран, разрушаются хлорофиллы и хлоропласты.

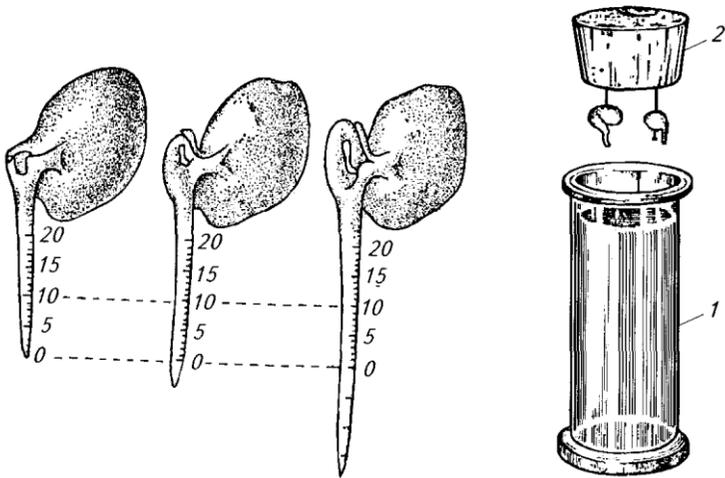
*Цель работы.* Поставить опыт и провести наблюдение за ростом корня.

*Материалы и оборудование:* проросшие семена (гороха, фасоли и др.) с прямыми корешками; тушь; пластилин; булавки; миллиметровая линейка; сосуд для влажной камеры; пробки корковые; ножницы; спиртовка; спички; фильтровальная бумага; нитка или тонкая иголка; совочек для разогревания замазки; термостат.

*Ход работы.* Берут проросшие семена гороха или другого растения с прямыми небольшими (1–1,5 см) корешками. Корешки разметить густой тушью, при помощи чертежного пера, через 1 мм на протяжении 1 см от кончика корня. Затем помещают эти семена во влажную камеру. В качестве камеры можно использовать любой ста-

кан или банку, которые закрывают стеклянными пластинками с приклеенными к ним пробками с внутренней поверхности или просто пробкой. На дно наливают воду (примерно на 1/3), а стенки обкладывают фильтровальной бумагой.

Семя осторожно прокалывают булавкой, стараясь не задеть корешки и почечки, и прикалывают к пробке так, чтобы корешок был расположен вертикально вниз. Чтобы семя не подсыхало, под него подкладывают узкую полоску фильтровальной бумаги, концы которой отпускают в воду. Опыт нужно вести в темноте при наиболее благоприятных условиях (в термостате при температуре 20–25 °С). Обычно берут 2 семени с корешком длиной не более 1 см. Смонтированный сосуд показан на рисунке 13.



**Рис. 13. Закладка опыта по определению зоны роста корня:**  
1 – матерьяльная банка, 2 – корковая пробка с проросшими семенами

Через 24 часа измеряют миллиметровой линейкой расстояние между метками. Если метки, растянувшись при росте, превратились в полоски, то измерения проводят с их середины. Вычислить приросты для каждого участка, вычитая из полученных величин исходное расстояние между метками. Записать результаты в таблицу 9, считая участки корня снизу вверх (за первый участок принимаем расстояние от кончика корня до первой метки).

Таблица 9

## Определение зоны роста

	Зоны прироста в мм									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	a	б	в	...	...	...	...	...	...	...
2	a <sub>1</sub>	б <sub>1</sub>	в <sub>1</sub>	...	...	...	...	...	...	...
Среднее	a <sub>x</sub>	б <sub>x</sub>	в <sub>x</sub>	...	...	...	...	...	...	...

На основе полученных средних данных вычертить кривую «большого периода роста» корня, откладывая на оси абсцисс номера участков, а по оси ординат – средний прирост между отдельными делениями.

Запишите вывод о зоне роста корня.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Как происходит рост корня в длину?
2. Какова длина зоны роста корня?
3. На каком миллиметре от кончика корня наиболее интенсивно растут клетки?

**Работа 26. Периодичность роста растений**

*Вводные пояснения.* Наблюдения за ростом, в том числе и в постоянных условиях освещенности, температуры и влажности, показали, что он происходит очень неравномерно. Скорость роста увеличивается сначала медленно, а затем темпы роста возрастают, достигают максимального значения, вновь снижаются. График роста имеет S-образный характер, а графическое изображение приростов – вид одновершинной кривой. Это выражение закона большого периода роста, установленное немецким ботаником Ю. Саксом.

Закон большого периода роста универсален: получают кривые Сакса в результате наблюдения за ростом клеток, тканей, органов и организмов растения. Рост клеток в изолированной культуре или числа бактерий в колонии тоже подчиняется этому закону.

Хотя рост на всех уровнях организации живой материи подчиняется закону большого периода роста, наследственность и внешние факторы оказывают на него свое влияние, поэтому кривые Сакса могут иметь разную форму, т.е. они специфичны.

Закон Сакса имеет большое практическое значение. Сравнивая кривые для отдельных сортов, можно определить особенности их роста (продолжительность, максимальную скорость), диагностировать будущий урожай, а значит, правильнее оценить возможность выращивания данного сорта в определенной климатической зоне.

Периодичность роста проявляется в том, что междоузлия, образующиеся по мере нарастания побега, имеют неодинаковую длину. Она увеличивается от основания к середине побега, где достигает максимума, а к верхушке побега опять уменьшается. Но такая периодичность роста является обобщенной (идеальной).

*Цель работы.* Путем проведения замеров междоузлий побегов древесных растений определить периодичность их роста.

*Материалы и оборудование:* Побеги древесных пород и однолетние растения, линейки.

*Ход работы.* Измеряют линейкой длину междоузлий побега какого-либо древесного растения от кольца, оставшегося от почки (табл. 10). На основании полученных данных строят графики прироста междоузлий и роста 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.

Таблица 10

#### Наблюдения за ростом древесных побегов

Объект	Номера междоузлий от основания побега									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина междоузлий, см										
Длина побега, см										

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какая причина медленного роста в начале вегетации?
2. Чем можно объяснить замедление и прекращение роста в конце лета?
3. Как проявляется периодичность роста побега.
4. Что является показателем окончания роста побега?

## **Работа 27. Обнаружение отрицательного геотропизма у побегов и их частей**

*Вводные пояснения.* На изменение внешних воздействий растения реагируют не только изменением метаболизма, но и изменением положения своих органов в пространстве. Выделяют два вида движения органов растений путем изменения их роста – тропизмы и настии.

*Тропизмами* называют ориентированные ростовые движения отдельных органов растения в ответ на одностороннее действие внешнего раздражения. По отношению к тому или иному определенному фактору ориентация отдельных органов растений может быть положительной или отрицательной. Те органы, которые поворачиваются к источнику раздражения, проявляют положительный тропизм; при противоположной реакции – отрицательный. Орган называется плагиотропным, если он располагается под тем или иным углом к направлению действия раздражителя. Раздражителем может быть свет (фототропизмы), земное притяжение (геотропизмы), вода (гидротропизмы) и другие факторы внешней среды.

*Настии* – движение органов с дорсовентральным строением в ответ на изменение диффузно действующих факторов внешней среды, таких как свет, температура и т.д.

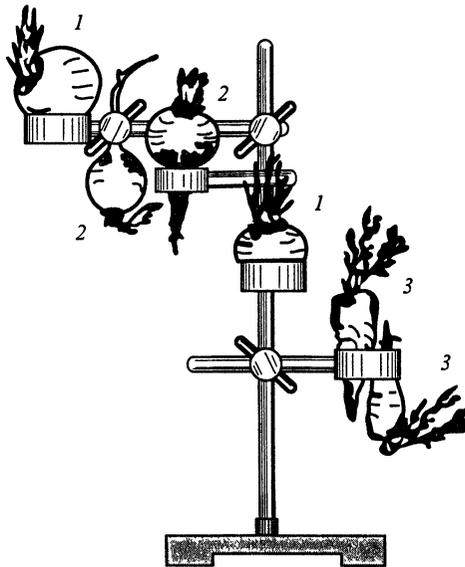
Способность растений реагировать на земное притяжение называют *геотропизмом*. Положительно геотропные органы растут к центру Земли, а отрицательно геотропные – в направлении от центра Земли. Геотропный изгиб – это обычно результат неодинакового роста на противоположных сторонах органа. Воздействие на растение земного притяжения и, как результат этого, возникновение в организме возбуждения приводят к неравномерному распределению ауксина в зоне растяжения растущего органа. Например, ауксина больше скапливается на нижней стороне колеоптиля, стебля, черешка, если их расположить горизонтально. Орган начинает расти более усиленно на той стороне, где клетки обогащены ИУК. Эта сторона становится выпуклой и стебель (черешок листа, колеоптиль) изгибается вверх.

Для иллюстрации отрицательного геотропизма у листьев укороченных побегов можно использовать корнеплоды моркови, свеклы, редьки и других растений. Их почки трогаются в рост особенно активно с середины зимы.

*Цель работы:* продемонстрировать отрицательный геотропизм у побегов ряда овощных культур.

*Материалы и оборудование:* корнеплоды моркови, петрушки, свеклы, зеленой редьки и др. (или их верхушки), емкости для размещения корнеплодов (ящики, кристаллизаторы и др.).

*Ход работы.* Выбранные для опыта корнеплоды (или их верхушки) помещают в шкаф (ящик, кристаллизатор), где поддерживаются достаточные для роста температура и влажность воздуха. Корнеплоды раскладывают по-разному: одним придают нормальное положение (корень обращен вниз; для этого используют банки в качестве подставки), другим горизонтальное, третьим – корнем вверх (рис. 14). После разворачивания почек и отрастания побегов корнеплоды переносят во влажную камеру с освещением постоянным или переменным. Положение корнеплодов в пространстве сохраняют прежним. Рост побега продолжается, листья зеленеют.



**Рис. 14. Отрицательный геотропизм у побегов:**  
1 – редька; 2 – свекла; 3 – морковь

*Задание:* результаты наблюдений зарисовать и сделать выводы

о влиянии земного притяжения на направление роста укороченных побегов у выбранных для опыта растений.

***Вопросы для самоконтроля***

1. Что такое тропизмы и настии?
2. Что такое геотропизм?
3. Назовите примеры положительного и отрицательного геотропизма.

**Работа 28. Обнаружение положительного геотропизма у корня**

*Вводные пояснения.* На положение растений в пространстве оказывает влияние сила тяжести, а реакцию растений на него называют геотропизмом. Надземные органы обладают отрицательным геотропизмом, их рост направлен от центра Земли, а корни – положительным геотропизмом. Геотропическая реакция изменяется в процессе онтогенеза.

Геотропизм у боковых корней и стеблей выражен меньше, чем у главных. В результате главный побег растет строго вертикально вверх, главный корень – вертикально вниз, а боковые побеги и корни располагаются под некоторым углом к ним. Это помогает растению поглощать воду и минеральные удобрения из почвы, а надземным частям растений – поглощать CO<sub>2</sub> из воздуха и избегать затенения друг друга. Механизм геотропического изгиба объясняет гормональная теория Холодного-Вента, согласно которой при горизонтальном положении проростка гормон концентрируется на нижней стороне органа

У корней органом, воспринимающим раздражение, служит корневой чехлик, при удалении которого растение утрачивает способность к геотропизму. После регенерации корневого чехлика геотропическая реакция восстанавливается.

Геотропические изгибы свойственны только молодым частям растений, не закончившим свой рост.

*Цель работы:* поставить опыт и пронаблюдать за геотропическими изменениями растущих корней проростков семян (фасоли, кукурузы и др.).

*Материалы и оборудование:* проростки гороха (фасоли, кукурузы, конских бобов и др.) с пряморастущим вниз главным корнем (до 1,5 см длиной) три банки, три стеклянные пластинки, легко помещаемые в банки, мягкая оберточная или фильтровальная бумага серого или более темного цвета, материал (шнурок, резинка и др.) для укрепления на стекле бумаги и проростков, вода.

*Ход работы.* На стеклянные пластинки, обернутые бумагой, прикрепляют проростки, и пластинки вставляют в банки. На дно каждой банки наливают немного воды, благодаря чему бумага, на которой находятся проростки, и окружающий их воздух поддерживаются во влажном состоянии. В первую банку помещают пластинку с проростками, расположенными вертикально вниз корнями, во вторую переносят пластинку, на которой проростки расположены под углом к горизонтальной линии, в третью вставляют пластинку с проростками, расположенными корнями вверх. Банки прикрывают крышками. Через сутки уже можно наблюдать геотропические изгибы.

*Задание:* обсудить наблюдаемые явления, сделать выводы, подготовить рисунки. Обратит внимание на зону геотропического изгиба у корня.

***Вопросы для самоконтроля***

1. Что такое геотропизм?
2. В какой части корня происходит изгиб?
3. С помощью каких ростовых движений растения адаптируются к оптимальным в конкретное время условиям: освещению, температуре и влажности?

**Вопросы и задачи по разделу  
«Рост и развитие растений»**

1. Что такое рост и развитие? Как связаны эти два процесса? Приведите примеры.
2. Что такое онтогенез?
3. Каковы структурные и физиологические особенности клетки в фазе растяжения? Что наиболее характерно для этой фазы?
4. Какова структура ростовых (доминирующих) центров стебля и корня и каковы их функции у высших растений?

5. Назовите доминирующие гормоны в отдельные периоды онтогенеза растений.
6. Как вы представляете взаимодействие фитогормонов?
7. Какие механизмы лежат в основе действия фитогормонов?
8. Какие гормоны являются гормонами старения?
9. Ингибиторы роста, механизм их действия.
10. Какова роль фитогормонов в процессах прорастания семян?
11. Перечислите наиболее яркие проявления физиологического действия ауксинов, гиббереллинов, цитокининов, а также абсцизовой кислоты, этилена.
12. Каковы физиологическая роль движений растений?
13. Охарактеризуйте старение и смерть как этапы онтогенеза растений.
14. Движения растений: тропизмы, настии.
15. В чем состоит принципиальное отличие тропизмов от настий?
16. В чем проявляется периодичность и ритмичность роста?
17. Как участвует ауксин в тропизмах?
18. Каково биологическое значение фотопериодизма и яровизации?
19. Какие факторы среды наиболее существенно влияют на рост?
20. Почему рост растений резко тормозится при снижении в воздухе содержания кислорода до 5 % (объемных), а в бескислородной среде прекращается?

## Раздел 7

### УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ

Устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды, с точки зрения агрономической науки, оценивается по тому, насколько изменяется продуктивность растений под влиянием этих условий по сравнению с продуктивностью их на оптимальном фоне. Оценка устойчивости растений к экстремальным факторам (холоду, морозу, засухе, жаре, засоленности) важна для селекционной и агрономической практики.

Наиболее надежные методы оценки устойчивости растений к экстремальным факторам – прямые полевые и вегетационные методы. Однако большая трудоемкость и продолжительность этих методов вынуждают исследователей применять разнообразные ускоренные лабораторные или лабораторно-полевые методы диагностики устойчивости растений.

Для подготовки растений, контрастных по устойчивости, ставят агротехнические опыты с удобрениями, сроками сева, сортами и др. Растения выращивают также на полевых микроделянках и в условиях вегетационных опытов.

*Зимостойкость и холодостойкость.* На территории нашей страны наиболее губительны для растений низкие температуры воздуха и почвы. Низкие отрицательные температуры повреждают зимующие растения, низкие положительные температуры оказывают неблагоприятное действие на ход физиологических процессов и формирование урожая теплолюбивых растений.

В естественных условиях устойчивость зимующих растений складывается из морозостойкости, устойчивости к выпреванию, вымоканию, действию ледяной корки и зимней засухи (у древесных растений и к солнечным ожогам).

Наиболее объективны прямые полевые исследования. К косвенным методам определения морозоустойчивости относят: определение динамики углеводов, активности фермента  $\beta$ -фруктофуранозидазы, степени склерификации узла кущения, выхода электролитов, изменения электрической проводимости тканей, биопотенциалов,

хемилюминесценции, поляризации, состояния конуса нарастания и др. Большинство перечисленных методов применимо и к диагностике холодостойкости растений.

Устойчивость к вымоканию и выпреванию определяют обычно при прямых и лабораторных анализах.

*Засухоустойчивость.* Проблема засухоустойчивости растений актуальна для многих регионов нашей страны с аридным климатом. Засухоустойчивы те растения, которые способны в процессе онтогенеза приспособляться к действию засухи и осуществлять в этих условиях рост, развитие и воспроизведение. Физиологическая засухоустойчивость складывается из способностей растений переносить обезвоживание и действие высоких температур. Поэтому при изучении засухоустойчивости необходимо исследовать как способность выносить обезвоживание, так и перегрев. Для диагностики засухоустойчивости предпочтительнее использовать прямые методы, непосредственно связанные с засухоустойчивостью. К ним относят: определение засухоустойчивости в засушниках; эксикаторный метод определения способности растений выносить обезвоживание; определение водоудерживающей способности; метод коагуляции белков; определение гидрофильности коллоидов цитоплазмы, содержания свободной и связанной воды, эластичности и вязкости протоплазмы; метод крахмальной пробы и др.

Для массового анализа применяют косвенные методы определения: водного потенциала растений, засухоустойчивости по ростовым реакциям, по выходу электролитов, по содержанию статолитного крахмала, по устойчивости пигментного комплекса, по движению цитоплазмы, по электрическому сопротивлению тканей и др.

*Солеустойчивость.* Значительное распространение засоленных почв на территории нашей страны и существенное снижение продуктивности сельскохозяйственных культур в этих условиях вызывает необходимость оценки степени солеустойчивости растений. Последнее имеет большое значение для селекции, интродукции и технологии возделывания. Критерием солеустойчивости растений служит степень снижения продуктивности при засолении по сравнению с продуктивностью на нормальном фоне. Определяют солеустойчивость прямыми, а также менее трудоемкими косвенными методами. На засоленных почвах обычно снижается всхожесть семян, поэтому

оценку солеустойчивости выполняют по показателям прорастания семян (энергия прорастания, всхожесть, скорость прорастания). Из косвенных лабораторных методов наиболее известны: плазмолитический; определение скорости раскрытия устьиц в растворах солей; степень и скорость «выцветания» хлорофилла; количества альбуминов; проницаемости протоплазмы; биохемилюминесценция и др.

### **Работа 29. Выявление защитного действия сахаров на протоплазму**

*Вводные пояснения.* При действии отрицательных температур на растительные ткани в межклетниках образуется лед, который, оттягивая воду из клеток, обезвоживает протоплазму. При определенной степени обезвоживания, индивидуальной для каждого растительного организма, протоплазма коагулирует.

При резком понижении температуры вода не успевает отойти в межклетники, и кристаллы льда, образующиеся непосредственно в клетках, оказывают механическое действие, в результате чего нарушается внутренняя структура протоплазмы, резко повышается ее проницаемость, а при длительной экспозиции на морозе наступает отмирание. Скорость отмирания протоплазмы клеток зависит как от температуры и времени экспозиции, так и от водоудерживающей способности самой клетки. Увеличение количества растворимых сахаров в зимующих органах растений повышает водоудерживающую способность тканей.

*Цель работы.* Провести опыт по выявлению защитного действия сахара на цитоплазму клеток столовой свеклы при отрицательных температурах.

*Материалы и оборудование:* корнеплоды свеклы; 0,5 и 1 М растворы сахарозы; поваренная соль; лед колотый или снег; термометры до 30 °С; скальпели; пробочные сверла диаметром 6 мм; бритвы; пробирки; микроскопы; предметные стекла; кисточки; фломастеры; фильтровальная бумага; чашки для охлаждающей смеси.

*Ход работы.* Из поперечного среза красной столовой свеклы толщиной 0,5 см при помощи пробочного сверла диаметром 5–6 мм делают высечки. Тщательно ополаскивают их водой и помещают в три пробирки по три-четыре высечки в каждую. В первую пробирку

наливают 5 мл дистиллированной воды, во вторую – 5 мл 0,5 М раствора сахарозы, в третью – 5 мл 1 М раствора сахарозы. Пробирки этикетировывают и на 20 мин погружают в охлаждающую смесь, состоящую из трех частей льда или снега и одной части поваренной соли. Затем пробирки вынимают из охлаждающей смеси и размораживают в стакане воды комнатной температуры.

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

Таблица 11

#### Определение защитного действия сахаров на протоплазму

Условия	Число клеток в поле зрения микроскопа		Отношение числа окрашенных клеток к общему их числу, %	Интенсивность окрашивания жидкости	Вывод
	всего	окрашенных			
Вода					
Сахароза 0,5 М					
Сахароза 1,0 М					

Сделать вывод о защитном действии сахара на цитоплазму клеток столовой свеклы при замораживании.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Почему при действии температуры происходит коагуляция белка цитоплазмы?
2. Почему при резком понижении температуры обычно происходит гибель клеток?
3. Как влияет повышение концентрации сахаров на устойчивость клеток?

### **Работа 30. Изучение действия сахара на белки протоплазмы при отрицательных температурах**

*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.

*Цель работы.* Путем постановки опыта выяснить действие сахара на белок протоплазмы клеток клубня картофеля при замораживании.

*Материалы и оборудование:* клубни картофеля; 0,5 и 1М растворы сахарозы; снег; поваренная соль; терки; марля; конические колбы; пробирки; пипетки на 10 мл; чашки для охлаждающей смеси; термометры до  $-30^{\circ}\text{C}$ .

*Ход работы.* Очищенный клубень картофеля натирают на терке, переносят на двойной слой марли, отжимают через нее сок 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 0,5М раствора сахарозы, в третью – 2,5 мл 1М раствора сахарозы. Перемешивают содержимое в пробирках и ставят в охлаждающую смесь на 20 мин (см. работу 29). Затем оставляют пробирки в стакане с водопроводной водой и, не встряхивая, наблюдают образование хлопьев коагулировавшего белка. Пробирки зарисовывают, делают выводы о защитном действии сахарозы при замерзании вытяжки из растительной ткани.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Как защищают сахара белки цитоплазмы?
2. Что наблюдается в растворе, если белки коагулировали?

### **Вопросы и задачи по разделу «Устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды»**

1. Какие методы оценки устойчивости растений к экстремальным факторам – прямые полевые или вегетационные – находят

наибольшее применение в практике исследований? Почему?

2. Что понимают под зимостойкостью и холодостойкостью растений? Как влияют на устойчивость зимующих растений их морозостойкость, устойчивость к выпреванию, вымоканию, ледяным коркам и зимней засухе?

3. Какие методы определения морозоустойчивости растений являются наиболее объективными? Какие из них применимы и к диагностике растений?

4. Какими физиолого-биохимическими особенностями отличаются холодостойкие и морозоустойчивые растения?

5. Что понимают под засухоустойчивостью? Какие методы диагностики используются для ее определения?

6. Какие анатомические и физиолого-биохимические особенности отличают засухоустойчивые виды и сорта сельскохозяйственных растений?

7. Какое значение имеет диагностика солеустойчивости растений? Какими методами она определяется?

8. Каковы морфологические и физиологические особенности солеустойчивых растений?

9. Какие условия необходимы для прохождения фаз закаливания у травянистых и древесных зимующих растений?

10. Какие отрицательные действия оказывают на растения сверхоптимальные высокие температуры?

11. Как объяснить, что хвоя сосны, выдерживающая зимой морозы до  $-43^{\circ}\text{C}$ , летом гибнет при искусственном охлаждении до  $-8^{\circ}\text{C}$ ?

12. Что более опасно для растений: зимние морозы или весенние заморозки? Объясните.

13. Какие листья быстрее завядают при почвенной засухе – верхние или нижние? С чем это связано?

14. Каковы признаки ксерофитов? Почему у северных растений, обитающих на заболоченных почвах, имеются многие признаки ксерофитов? Перечислите эти признаки.

15. Почему суккуленты отличаются медленным ростом?

16. Можно ли повысить холодостойкость растений?

17. Можно ли повысить морозоустойчивость растений?

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Термины по курсу «Физиология растений»

#### *Физиология растительной клетки*

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

*Водный потенциал* – химический потенциал воды.

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

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

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

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

*ИЭТ (изоэлектрическая точка)* – значение рН среды, при котором количество положительных и отрицательных зарядов уравновешивается и амфолит становится электронеутральным.

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

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

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

*Осмотическое давление* – это сила, которую необходимо приложить, чтобы помешать проникновению воды в раствор, отделенного

от него полупроницаемой мембраной.

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

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

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

*Плазмалемма* – наружная цитоплазматическая мембрана.

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

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

*Тургор* – состояние напряжения клеточной оболочки.

*Тургорное давление* – давление протопласта на клеточную оболочку.

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

### ***Водный обмен растений***

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

*Водный баланс растений* – соотношение между поступлением и расходом воды.

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

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

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

*Гидатоды* – водяные устьица, через которые осуществляется гуттация.

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

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

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

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

*Интенсивность транспирации* – количество воды в граммах, испаренной с 1 м<sup>2</sup> поверхности листьев за 1 час.

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

*Коллоидно-связанная вода* – вода, связываемая молекулами биополимеров.

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

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

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

*Мезофиты* – растения, произрастающие в условиях умеренной влажности.

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

*Относительная транспирация* – это отношение интенсивности транспирации к интенсивности свободного испарения с такой же

площади, как и площадь листьев.

*Пасока* – вода с растворенными веществами.

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

*Пленочная вода* – вода, окружающая коллоидные частицы почвы.

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

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

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

*Симпласт* – совокупность протопласт всех клеток, соединенных плазмодесмами.

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

*Транспирация* – физиологический процесс испарения воды надземными органами растений.

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

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

## **Фотосинтез**

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

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

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

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

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

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

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

*Тилакоиды* – фотосинтетическая мембрана, в которой сосредоточен фотосинтетический аппарат.

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

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

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

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

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

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

*Фотосинтетическая единица (ФСЕ)* – молекула хлорофилл-ловушки со всеми вспомогательными молекулами пигментов, которые передают ей энергию.

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

*Фотосинтетическое фосфорилирование* – синтез АТФ за счет

энергии света.

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

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

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

### *Дыхание*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Флавиновые дегидрогеназы* – группа ферментов, катализирующая отнятие  $2\text{H}^+$ , которые можно рассматривать как  $2\text{H}^+ + 2$  элек-

трона. Именно в таком виде они, акцептированные НАД и ФАД передаются по цепи переносчиков. Простетической группой этих ферментов служат производные витамины В<sub>2</sub> (рибофлавины) – флавинадениндинуклеотид (ФАД) и флавиномононуклеотид (ФМН).

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

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

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

### ***Минеральное питание растений***

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

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

*Гидропоника* – выращивание растений на водных питательных растворах.

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

*Денитрификация* – процесс, приводящий к образованию из доступных для растения форм азота (NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>) к недоступному – N<sub>2</sub>.

*Микориза* – это ассоциация корня высшего растения и непатогенного гриба.

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

*Нитрогеназа* – мультиферментный комплекс, участвующий в процессе восстановления азота до аммиака. Нитрогеназа состоит из двух компонентов: более высокомолекулярного Mo, и низкомолекулярного Fe-белка.

*Реутилизация* – повторное использование растением тех или иных элементов (Р, К).

*Ризосферные микроорганизмы* – микроорганизмы, развивающиеся около корневых систем.

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

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

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

### ***Рост и развитие растений***

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

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

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

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

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

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

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

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

*Ретарданты* – синтетические ингибиторы роста.

*Рост* – процесс новообразования элементов структуры организма.

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

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

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

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

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

### ***Устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды***

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

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

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

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

*Жаростойкость растений* – растения, способные выносить повышенные температуры.

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

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

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

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

*Холодостойкость растений* – способность растений выносить действие пониженных положительных температур.

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

## Приготовление растворов

**Аммиак, 5-процентный раствор.** Концентрированный аммиак (25-процентный) разбавляют водой в 5 раз.

**Аммиачный раствор нитрата серебра  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ .** В пробирку наливают 1–2 мл 10-процентный раствора нитрата серебра и прибавляют по каплям раствор аммиака; сначала появляется бурая муть ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ), которая затем растворяется в аммиаке.

**Гидроксид бария, водный раствор.** Для приготовления 1 л раствора берут 7–10 г сухого  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , растворяют его в 100 мл воды (при слабом нагревании), затем быстро переливают в бутылку емкостью 1 л, в которую предварительно наливают 900 мл дистиллированной воды, плотно закупоривают и 10–15 мин взбалтывают. В течение суток взбалтывание повторяют 10–15 раз. Затем, когда раствор отстоится, осторожно переливают его в другую бутылку (лучше того же объема) при помощи сифона. Сифонные трубки должны быть плотно вставлены в пробки бутылок, а не прямо в горлышко, иначе раствор будет мутнеть. Раствор гидроксида бария (баритовую воду) нельзя оставлять открытым, так как он быстро поглощает  $\text{CO}_2$  из воздуха. Соединения бария ядовиты.

**Гидроксид калия КОН, 10-процентный раствор.** 10 г гидроксида калия растворяют в 90 мл воды. Хранят в склянке с притертой пробкой.

**Гидроксид кальция (известковое молоко)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .** В сосуд емкостью 1,5–2 л всыпают гашеной извести слоем 3–4 см, заполняют склянку водой почти доверху, взбалтывают и дают отстояться в течение нескольких дней. Затем прозрачную воду сливают в чистую склянку и плотно закрывают корковой пробкой. Осадок гашеной извести может быть снова использован для приготовления следующей порции известкового молока. Для опыта используют известковое молоко, разбавленное в 50–100 раз.

**Гидроксид натрия  $\text{NaOH}$ , 20-процентный раствор.** 20 г гидроксида натрия растворяют в 80 мл воды. Хранят в склянке с притертой пробкой.

**Гидрохинон, 1-процентный раствор.** 1 гидрохинона растворяют в 99 мл воды.

**Дихромат калия  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 1-процентный раствор.** 1 г дихромата калия растворяют в 99 мл воды.

**Жидкость Фелинга.** Она готовится непосредственно перед употреблением путем смешивания равных объемов двух растворов: 1) 40 г сульфата меди растворяют в дистиллированной воде, доводят объем до 1 л и фильтруют; 2) 200 г сегнетовой соли растворяют в дистиллированной воде, добавляют 150 г КОН или NaOH и доводят объем до 1 л.

**Желтая кровяная соль, или гексацианоферрат (II) калия  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , 1-процентный раствор.** 1 г гексацианоферрата (II) калия растворяют в 99 мл воды.

**Люголя реактив (раствор йода в йодиде калия).** 2 г йодида калия растворяют при нагревании в 5 мл дистиллированной воды, добавляют в раствор 1 г кристаллического йода и доводят объем раствора до 300 мл. Хранят в темной банке.

**Метиленовый синий (краситель), насыщенный спиртовой раствор.** 3 г метиленового синего растворяют в 100 мл 96-процентного спирта. Через несколько суток 1 мл раствора наливают в 10 мл, в 40 мл воды и т. д. Такие растворы обозначают как 1: 10 и 1: 40.

**Метиленовый синий (краситель), щелочной раствор.** К 100 мл воды добавляют 30 мл насыщенного спиртового раствора краски и 1 мл 1-процентный раствора гидроксида калия.

**Нейтральный красный (краситель).** Готовят водный раствор 1:5000, для чего 10 мг краски растворяют в 50 мл воды.

**Поваренная соль (хлорид натрия), насыщенный раствор.**

Признак насыщенности – наличие нерастворившегося реактива, который дается в некотором избытке при приготовлении раствора.

**Роданид калия KCNS, 1 М раствор.** 97 г роданида калия растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды, затем доводят объем до 1 л.

**Сахароза, 1М раствор.** 342 г сахарозы растворяют в небольшом количестве воды и доводят объем до 1 л. Для приготовления 0,5 М раствора сахарозы берут в 2 раза меньше.

**Сахароза, 1-процентный раствор.** 1 г сахарозы растворяют в 99 мл воды.

**Серная кислота, 1-процентный раствор.** К 99,5 мл воды приливают 0,5 мл серной кислоты плотности 1,84. Приливать кислоту в воду (не наоборот!). Хранят в склянке с притертой пробкой.

**Соляная кислота, 0,1 н. раствор.** 3 мл кислоты плотности 1,19 вливают в 1 л воды.

**Соляная кислота, 10-процентный раствор.** В 77,5 мл воды осторожно вливают 22,5 мл крепкой соляной кислоты плотности 1,15.

**Сульфат меди (медный купорос)  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0,5 М раствор.** 1,25 г сульфата меди растворяют в 10 мл воды.

**Фосфат натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , 1-процентный раствор.** 1 г фосфата натрия растворяют в 99 мл воды.

**Хлорид натрия NaCl, 1 М р-р.** 5,85 г хлорида натрия растворяют в небольшом количестве воды и доводят объем до 100 мл.

**Хлоркобальтовая бумага.** Готовят 5-процентный раствор хлорида кобальта (II). Для этого 5 г хлорида кобальта (II) растворяют в 95 мл дистиллированной воды. В этот раствор на несколько минут погружают полоски белой фильтровальной бумаги.

Порозовешую бумагу просушивают между листами сухой фильтровальной бумаги, а затем на солнце или над электроплиткой до появления голубого цвета. Хранят в эксикаторе над хлоридом кальция.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### **а) основная литература**

- 1 Кузнецов, Вл.В. Физиология растений: учебник / Вл.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. – М.: Абрис, 2011. – 783 с.: ил.
- 2 Медведев, С.С. Физиология растений: учебник / С.С. Медведев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 512 с.: ил. – Учебная литература для вузов.
- 3 Панкратова, Е.М. Практикум по физиологии растений с основами биологической химии: практикум / Е.М. Панкратова. – М.: Колосс, 2011. – 175 с.: ил.
- 4 Сальников, А.И. Физиология и биохимия растений: практикум / А.И. Сальников, И.Л. Маслов. – Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2014. – 300 с.

### **б) дополнительная литература**

- 5 Куркова, И.В. Практикум по физиологии растений: учеб. пособие / И.В. Куркова. – Благовещенск: ДальГАУ, 2014. – 138 с.
- 6 Смашевский, Н.Д. Практикум по физиологии растений : учебное пособие / Н.Д. Смашевский. – Астрахань : Астраханский гос. ун-т, 2011. – 77 с.
- 7 Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений : учеб. пос. для студ. высш. учеб. завед. / под ред. Н.Н. Третьякова. – 2-е изд., перер. и доп. – М. : Колосс, 2005. – 656 с.
- 8 Якушкина, Н.И. Физиология растений : учеб. пос. / Н.И. Якушкина, Е.Ю. Бахтенко. – М. : Владос, 2005. – 463 с.

Учебное издание

*Кондратенко  
Валентина Владимировна*

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

*Практикум*

*В редакции составителя*

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г.  
Подписано к печати 24.03.2016 г. Формат 60×90/16.  
Уч.-изд.л. – 4,7. Усл.-п.л. – 6,5.  
Тираж 50 экз. Заказ 26.

---

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии издательства  
Дальневосточного ГАУ  
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86





