

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ профессор П.Б. Акмаров

« 10 » 02 \_\_\_\_\_ 2009 г.

## **ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ**

Методическое пособие по выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности «Лесное хозяйство»

Составители: И.Л. Бухарина, О.В. Любимова

Ижевск 2009

УДК 57  
ББК 28.57  
Ф 48

Методическое пособие составлено в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования, утвержденным 17.03.2000 г.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, протокол № 01 от «10» февраля 2009 г.

Рецензенты:

А.М. Швецов – кандидат с.-х. наук, доцент каф. плодоводства и овощеводства  
Ижевской ГСХА

Н.Ю. Сунцова – кандидат биол. наук, доцент каф. лесных культур  
Ижевской ГСХА

Ф 48 **Физиология растений:** метод. пос. / Сост. И.Л. Бухарина, О.В. Любимова. – Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2009. – 58 с.

В пособии изложены требования к выполнению и оформлению лабораторных работ по физиологии растений; включены описания лабораторных работ по основным разделам физиологии растений: биохимия и физиология растительной клетки, водный обмен, фотосинтез, дыхание, минеральное питание, рост и развитие, устойчивость растений. В работах указаны объекты исследований, порядок выполнения, контрольные вопросы. В методическом пособии представлены задачи по всем разделам физиологии растений для самостоятельной работы студентов и выполнения контрольных работ.

Методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Лесное хозяйство»

УДК 57  
ББК 28.57

© ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2009  
© Бухарина И.Л., составление, 2009  
© Любимова О.В., составление, 2009

## Введение

В задачи физиологии растений входит раскрытие сущности процессов, протекающих в растительном организме, установление их взаимной связи, изменение их под влиянием внутренних факторов и условий среды, механизмов их регуляции, физиологическое обоснование приемов, направленных на повышение продуктивности лесохозяйственных культур. Особое значение это имеет при возделывании растений по интенсивной технологии.

Лабораторно-практические занятия при освоении такой экспериментальной науки, как физиология растений, играют значительную роль. На этих занятиях студенты знакомятся с методами физиологических исследований, приобретают навыки самостоятельной экспериментальной работы, учатся интерпретировать полученные ими данные, что способствует усвоению, осмыслению и закреплению теоретического материала.

Курс физиологии растений изучается на втором году обучения и рассчитан на один семестр. Лабораторные работы проводятся в течение двух академических часов. После краткого объяснения преподавателя студенты рабочими группами по 2-3 человека, пользуясь практикумом, самостоятельно выполняют весь объем работ. На некоторых занятиях вся подгруппа выполняет одно и то же задание, но при этом каждая отдельная рабочая группа работает либо со своим объектом, либо изучает определенный фактор внешней среды. В этом случае по завершении опыта рабочие группы обмениваются результатами, анализируют их, делают общий вывод.

За время занятия каждый студент должен выполнить работу, произвести необходимые расчеты, оформить тетрадь и отчитаться перед преподавателем. В конце занятия проводится общее подведение итогов.

Лабораторная работа должна быть оформлена по следующей схеме: название работы, краткое теоретическое обоснование выполняемой работы, цель и объект исследований, краткое описание хода работы, результаты в виде расчетов, таблиц, рисунков, графиков и выводы. Записи в тетради должны быть четкими и ясными, так как впоследствии тетрадь необходима при подготовке к экзамену. Чтобы закрепить пройденный материал, студент должен самостоятельно проверить себя, ответив на контрольные вопросы, которые предлагаются в конце каждой лабораторной работы.

В помощь лаборанту, обслуживающему курс, для каждой лабораторной работы дан подробный перечень реактивов, оборудования и материалов, а в приложении даны рецепты приготовления некоторых реактивов.

# Раздел 1. БИОХИМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ

## Лабораторная работа № 1 Строение растительной клетки

**Теоретическое обоснование.** Клетка окружена снаружи клеточной оболочкой, особенностью растительной клетки является наличие клеточной оболочки (стенки), состоящей из целлюлозы. Клеточная оболочка выполняет многообразные функции (защитная, транспортная, формообразующая), также благодаря способности растягиваться и оказывать противодействие осмотическим силам, клеточная оболочка обеспечивает тургорное состояние клеток. Содержимое клетки без клеточной оболочки называется *протопластом*. Состав протопласта очень сложен. В протопласте находится ядро и цитоплазма. Цитоплазма в свою очередь состоит из матрикса – *гиалоплазмы* – и органоидов клетки. К органоидам относятся немембранные органоиды (рибосомы, микротрубочки) и органоиды, имеющие мембранное строение (пластиды, митохондрии, вакуоль, аппарат Гольджи, эндоплазматическая сеть, лизосомы и др.). Каждый органоид выполняет определенные жизненные функции (фотосинтез, дыхание, синтез белка, хранение и воспроизводство информации, выделение веществ и т.д.), следовательно, для клетки характерны все функции живого организма, поэтому клетка является структурно-функциональной единицей живого. Особенностью растительной клетки является наличие только ей свойственных органоидов (целлюлозной клеточной оболочки, пластид, вакуоли), запасным веществом растительной клетки является крахмал.

**Цель работы.** Изучить строение растительной клетки, функции органоидов клетки.

**Объект:** снимки растительной клетки, сделанные с помощью электронного микроскопа.

**Оборудование:** Атлас ультраструктуры растительной клетки / Под ред. Г.М. Козубова, М.Ф. Даниловой. – Петрозаводск, 1972. – С. 8-10, 12, 38, 82, 106, 126, 178.

### **Ход работы:**

1. Начертить в тетради для лабораторных работ табл. 1.1.
2. Пользуясь атласом, заполнить таблицу (описать следующие органоиды клетки: хлоропласт, митохондрии, вакуоль, рибосомы, аппарат Гольджи, эндоплазматическую сеть, лизосомы, ядро).

Таблица 1.1 – Строение, химический состав и значение органоидов растительной клетки

№ п/п	Органоид клетки	Строение	Химический состав	Функции (значение)

3. Подготовиться к сдаче зачета по строению растительной клетки.

Лабораторная работа №2  
**Проницаемость живого и мертвого протопласта  
для клеточного сока**

**Теоретическое обоснование.** Проницаемость протопласта связана с его структурной разнокачественностью. В протопласте живой клетки имеются три ясно ограниченных слоя: наружный, непосредственно прилегающий к целлюлозной оболочке клетки – *плазмалемма*, средний – *мезоплазма*, и внутренний, представляющий собой мембрану вакуоли, *тонопласт*. Плазмалемма и тонопласт имеют мембранное строение и обладают свойством *полупроницаемости или избирательной проницаемости*, у тонопласта это свойство выражено идеально. Проницаемость протопласта непостоянна. Она изменяется в зависимости от внутренних и внешних условий. Таким образом, живой протопласт способен регулировать транспорт веществ, а также удерживать некоторые вещества, находящиеся в клеточном соке вакуоли. При повреждении он утрачивает избирательную проницаемость, поэтому вещества, входящие в состав клеточного сока, свободно выходят наружу из клетки. Повреждение протопласта (частичную или полную коагуляцию, свертывание протопласта) могут вызвать высокие и низкие температуры, наркотические вещества, концентрированные химические соединения, яды, кислые газы техногенного происхождения (CO, SO<sub>2</sub>, HF и др.).

**Цель работы.** Изучить влияние некоторых факторов на проницаемость протопласта.

**Объект:** корнеплоды свеклы (в клеточном соке вакуолей клеток свеклы содержится пигмент, по выходу которого из клеток можно судить о проницаемости протопласта).

**Реактивы и оборудование:** дистиллированная вода, 50 % спирт, 30 % раствор уксусной кислоты, пробочное сверло, штатив, пробирки (6 шт.), мерный цилиндр на 10 мл, спиртовка, спички, держатель для пробирок, нож, кристаллизатор.

**Ход работы:**

1. Свежий корнеплод свеклы нарезать пластинками толщиной 0,5-0,8 см. Пробочным сверлом сделать 4 высечки. Аналогично сделать 1 высечку из замороженного корнеплода свеклы.

2. Тщательно промыть высечки водой, пока стекающая вода не станет бесцветной. Один из кусочков (непромороженный!) поместить в пробирку с небольшим количеством воды и кипятить в течение 1 мин.

3. Приготовить 5 пробирок по следующей схеме:

1-я, 2-я и 3-я пробирки по 5 мл дистиллированной воды

4-я пробирка – 5 мл 50 % этилового спирта

5-я пробирка – 5 мл 30 % уксусной кислоты.

4. Кусочки ткани одновременно погрузить в пробирки согласно вариантам опыта (таблица 1.2). Пробирки сразу же встряхнуть и отметить цвет жидкости следующими обозначениями:

–	жидкость бесцветна	++	достаточное окрашивание
+	слабое окрашивание	+++	сильное окрашивание.

Таблица 1.2 – Результаты опыта по воздействию внешних условий на протопласт клеток

№ пробирки	Вариант опыта	Окраска жидкости в пробирках:	
		начальная	через 15-20 мин
1.	вода + свежий корнеплод		
2.	вода + прокипяченный корнеплод		
3.	вода + замороженный корнеплод		
4.	50 % спирт + свежий Корнеплод		
5.	30 % уксусная кислота + свежий корнеплод		

5. Через 15-20 мин пробирки встряхнуть и повторно отметить в них интенсивность окраски растворов.

6. Результаты опыта записать в таблицу 1.2.

7. По степени краски растворов сделать вывод о степени повреждения растительной ткани каждым из повреждающих агентов.

**Контрольные вопросы.** 1. Строение и свойства протопласта. 2. Каким образом проницаемость протопласта зависит от внутренних и внешних условий? 3. Какие вещества и условия губительны для протопласта?

## Белки

Главная составная часть любого организма – белки. Хотя по количеству в организме белки стоят после углеводов и жиров, они являются незаменимой основой всего живого. Белки играют решающую роль в обмене веществ, поскольку выполняют функцию биологических катализаторов. Они выполняют и другие жизненно важные функции: транспортные, запасающие, структурные, энергетические и т.д.

Как правило, в растениях белков меньше, чем в животных организмах, несмотря на это общее число отдельных белков в растениях составляет десятки и даже сотни тысяч.

### Лабораторная работа № 3 Запасные белки растений

**Теоретическое обоснование.** Все белки разделяют на два класса: *протеины*, или простые белки, построенные только из остатков аминокислот, и *протеиды*, или сложные белки, состоящие из простого белка и прочно связанного

с ним какого-либо другого соединения небелковой природы (углеводы, металлы, липиды, нуклеотиды).

Запасные белки являются простыми белками и относятся к группе протеинов. По своей растворимости они делятся на следующие группы:

- 1) альбумины – растворимые в воде;
- 2) глобулины – растворимые в слабых растворах нейтральных солей;
- 3) проламины – растворимые в 70 % спирте;
- 4) глютелины – растворимые в слабых растворах щелочей.

В семенах накапливаются запасные белки. Самые распространенные среди них – глобулины. На их примере ознакомимся с физическими и химическими свойствами белков и проведем качественные (цветные) реакции, устанавливающие наличие в белке определенных групп, аминокислот.

Белковые вещества в семенах растений могут быть обнаружены при помощи некоторых цветных реакций на среду: биуретовой, ксантопротеиновой, миллоновой.

**Цель работы.** Изучить свойства запасных белков. Провести цветные реакции на белки.

**Объект:** белок глобулин.

**Реактивы и оборудование:** гороховая мука, 10 %-ный раствор  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 20 % раствор  $\text{NaOH}$ , 1 % раствор  $\text{CuSO}_4$ , концентрированная  $\text{HCl}$ , концентрированный раствор  $\text{MgSO}_4$ , концентрированная  $\text{HNO}_3$ , 40 % раствор едкой щелочи  $\text{NaOH}$ , крепкий раствор уксуснокислого свинца, штатив с пробирками (8-9 шт.), пипетка на 1-2 мл, мерный цилиндр на 10 мл, спиртовка, спички, держатель для пробирок, маленькая воронка, цветные карандаши.

**Ход работы:**

### 1. Получение вытяжки белка

5 г гороховой муки насыпают в колбочку и заливают 30 мл 10 % раствора сернокислого аммония. Колбочку встряхивают в течение 3-х минут, дают отстояться и верхний слой раствора фильтруют, предварительно смочив фильтр тем же раствором сернокислого аммония. Полученный фильтрат является коллоидным раствором белка глобулина (легумин), с раствором которого делают следующие реакции.

### 2. Физико-химические свойства белка

**Белок нерастворим в воде.** В пробирку наливают 1 мл раствора белка и приливают воду до появления мути вследствие выпадения глобулина в осадок. При добавлении в пробирку сернокислого аммония муть исчезает.

**Высаливание белка.** В крепких растворах нейтральных солей (свыше 50 %) происходит высаливание белка, т. е. белок дает осадок, способный вновь раствориться при разбавлении крепкого раствора солей водой (до 10 % и ниже). Берут 1 мл раствора белка, прибавляют концентрированный раствор нейтральной соли  $\text{MgSO}_4$ . Когда концентрация раствора достигнет примерно 50 %, глобулин начнет выпадать в осадок и раствор помутнеет. При уменьшении концентрации раствора прибавлением воды выпавший в осадок глобулин снова переходит в раствор.

**Денатурация белка.** Под действием крепких кислот или при кипячении белок свертывается необратимо, т. е. происходит денатурация белка. Для этого в одну пробирку берут 1-2 мл раствора белка и нагревают до кипения. Немного охлаждают, проверяют на растворимость в солевом растворе. В другую пробирку к 1-2 мл белка прибавляют 3 капли концентрированной HCl, белок выпадает в виде белого осадка и также проверяют на растворимость в слабом растворе сернокислого аммония. Делают вывод об обратимости или необратимости денатурации.

### **3. Цветные реакции на белки**

**Биуретовая реакция.** В чистую пробирку наливают 1 мл вытяжки белка, добавляют 2 мл 10 % раствора NaOH (или 5 капель 20 % раствора NaOH) и взбалтывают. Затем прибавляют по каплям (до 4-5 капель) слабого раствора CuSO<sub>4</sub>. Образующийся осадок гидрата окиси меди в присутствии белка окрашивает раствор в сиренево-фиолетовый цвет. Эту цветную реакцию дают все соединения, содержащие пептидную группу CO - NH.

**Ксантопротеиновая реакция.** Реакция проводится на аминокислоты фенилаланин, тирозин, триптофан, входящие в состав белка. В пробирку наливают 2 мл вытяжки белка и 0,5 мл (5-10 капель) концентрированной HNO<sub>3</sub>, нагревают, не доводя до кипения. При этом белок свертывается и окрашивается в желтый цвет.

**Реакция на серу.** Присутствие в белке аминокислот, содержащих серу (цистин), определяется прибавлением к раствору белка равного объема 40 % раствора едкой щелочи и нескольких капель (3-5 капель) раствора крепкого уксуснокислого свинца. Почернение раствора при осторожном его нагревании до кипения указывает на присутствие серы. Щелочь, разрушая белок, вытесняет серу в виде сероводорода, который реагирует со свинцом и дает черный осадок сернистого свинца.

Зарисовать цветные реакции на белки. Сделать выводы о свойствах белка.

**Контрольные вопросы.** 1. Что такое денатурация белка? Какие факторы могут вызвать ее? 2. Какие группы белков выделяют? К какой из них относятся запасные белки? 3. Какие качественные реакции на белки выделяют?

## Ферменты

В растительном организме непрерывно происходят самые разнообразные химические реакции. Многие из них лишь с трудом можно воспроизвести вне организма. Между тем в растительных клетках эти реакции протекают очень легко и с большой скоростью при обычных условиях.

Большое различие в скоростях реакций внутри и вне организмов и сама возможность многих реакций внутри организмов объясняются тем, что в любой живой клетке есть многочисленные биологические катализаторы, называемые ферментами.

### Лабораторная работа № 4 Ферментативный гидролиз сахарозы

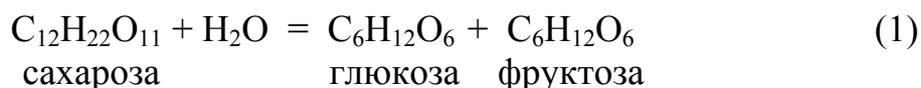
**Теоретическое обоснование.** Углеводы – широко распространенные органические вещества в растениях. Они используются в растениях для создания клеток, тканей, а также для дыхания. У многих растений углеводы являются запасным веществом.

Все углеводы делятся на две группы: 1. Простые углеводы, или моносахара, которые неспособны гидролизироваться; 2. Сложные углеводы, или ди-, три-, или полисахариды, которые способны гидролизироваться с образованием нескольких молекул моносахаров.

Все моносахара являются редуцирующими, т.е. обладают восстанавливающими свойствами. Характерная реакция на редуцирующие сахара – реакция восстановления фелинговой жидкости.

Для обнаружения редуцирующих сахаров к исследуемому раствору приливают равный объем фелинговой жидкости и доводят до кипения. При этом окись меди восстанавливается в закись меди и выпадает в виде кирпично-красного осадка. Моносахара в растениях – участники окислительно-восстановительных реакций, они являются субстратом дыхания.

Сахароза представляет собой дисахарид  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Это нередуцирующее вещество, поэтому не дает характерную реакцию с фелинговой жидкостью. Сахароза может быть подвергнута гидролизу. Гидролиз – процесс ферментативный. Сахароза гидролизуеться под действием фермента сахаразы (инвертазы). Реакция идет с присоединением воды и образованием молекул глюкозы и фруктозы, которые являются редуцирующими сахарами и могут быть обнаружены реакцией с фелинговой жидкостью.



Фермент сахаразы имеется у большинства растений. Наиболее активную сахаразу содержат клетки дрожжей, из которых ее легко получить. Активность сахаразы можно контролировать по количеству продуктов гидролиза, образуя-

щихся за определенное время, которые обнаруживают с помощью фелинговой жидкости. Определение ведут по количеству гидролизованного раствора, которое нужно прилить к фелинговой жидкости, чтобы выпал осадок закиси меди.

Скорость гидролиза сахарозы как ферментативной реакции зависит от внешних условий.

Сахароза защищает клетки древесных растений в период зимнего покоя от замерзания.

Значение полисахаров для растений также огромно: они входят в состав структурных элементов растительной клетки (целлюлоза и гемицеллюлозы клеточной оболочки), являются запасными веществами растительной клетки (крахмал, сахароза) и др.

**Цель работы.** Провести реакцию гидролиза сахарозы. Определить, каким образом влияют на скорость ферментативного гидролиза сахарозы температура, катализатор, реакция среды.

**Реактивы и оборудование:** 20 % раствор сахарозы, фермент сахараза (инвертаза), фелингова жидкость, 10% раствор HCl, 0,1 н раствор NaOH, концентрированная HCl, дистиллированная вода, штатив, пробирки (6 шт.), карандаш по стеклу, мерная пипетка на 1-2 мл, глазная пипетка (3 шт.), мерный цилиндр на 10 мл, водяные бани (45 и 100 ° C), холодная вода, термометр, часы.

**Ход работы:**

1. Подготовить таблицу 1.3 для записи схемы опыта и результатов опыта. Для выполнения этой работы необходимо разделиться на рабочие группы по 2-3 человека, группа выполняет один из вариантов опыта (таблица 1.3). В конце работы группы обмениваются результатами.

2. Приготовить и подписать три пробирки (см. примечание к табл. 1.3.).

3. Налить в эти пробирки по 10 мл 20 % раствора сахарозы.

4. Каждой группе изучить предложенный им вариант опыта.

5. В пробирки с сахарозой налить (по схеме варианта) необходимое количество воды, кислоты (10 % р-р HCl) или щелочи (0,1 н р-р NaOH).

6. Внести в опытные пробирки нужное количество фермента или неорганического катализатора (соляной кислоты), тщательно перемешать и поставить пробирки в указанные в варианте температурные условия на 40-50 мин.

7. Приготовить три пробирки с раствором фелинговой жидкости (ФЖ): в каждую из трех пробирок влить по 2 мл ФЖ и дистиллированной воды.

8. По истечении времени определить активность сахаразы или неорганического катализатора следующим образом: в три пробирки с нагретым до кипения раствором фелинговой жидкости (поочередно) прилить по каплям жидкость из опытных растворов до полного покраснения раствора фелинговой жидкости. Количество капель опытного раствора занести в таблицу 1.3.

9. Сравнить результаты по отдельным вариантам опыта и сделать выводы о влиянии изучаемых условий на скорость гидролиза сахарозы и активность сахаразы.

Таблица 1.3 – Влияние различных условий на скорость ферментативной реакции

№ варианта	Вариант	№ пробирки *	К 10 мл сахарозы вносят (мл):			Катализатор	Условия опыта (t°C, pH)	Кол-во капель испытуемого раствора, пошедшее на реакцию с ФЖ
			во-ду	10% HCl	0,1н NaOH			
1.	Влияние температуры	1	4			фермент, 1 мл	18-20 °С	
		2	4			фермент, 1 мл	40-45 °С	
		3	4			фермент, 1 мл	100 °С	
2.	Влияние температуры на неорганический катализатор	1	5			к. HCl**, 2 капли	18-20 °С	
		2	5			к. HCl, 2 капли	40-45 °С	
		3	5			к. HCl, 2 капли	100 °С	
3.	Влияние pH среды	1		4		фермент, 1 мл	40-45 °С (pH 4,5)	
		2	4			фермент, 1 мл	40-45 °С (pH 6,5)	
		3			4	фермент, 1 мл	40-45 °С (pH 7,5)	
4.	Влияние количества фермента	1	4			фермент, 1 мл	40-45 °С	
		2	3			фермент, 2 мл	40-45 °С	
		3	1			фермент, 4 мл	40-45 °С	

Примечания: \*Студенты помечают свои пробирки цифрами 1<sup>I</sup>, 1<sup>II</sup>, 1<sup>III</sup> (в 1 варианте) и аналогично в других вариантах

\*\* к. HCl – концентрированная соляная кислота.

**Контрольные вопросы.** 1. Какие группы углеводов (сахаров) выделяют? 2. Как можно обнаружить присутствие редуцирующих сахаров? 3. Что такое фермент? Какова его химическая природа? 4. Что такое гидролиз? Какие углеводы подвергаются гидролизу? 5. Какие условия внешней среды будут оказывать влияние на скорость гидролиза? 6. Значение гидролиза в жизни растений.

## Витамины

В живых клетках наряду с ферментами существует группа веществ, близкая по функциям к биологическим катализаторам. Эту группу биологически активных веществ называют витаминами. Они входят в состав активных групп двухкомпонентных ферментов. В настоящее время изучено более 200 ферментов, имеющих в своем составе витамины.

Витамины имеют относительно низкую молекулярную массу, содержатся в растениях в сравнительно малых количествах, но это не снижает их значения для растений. Кроме того, витамины растений – источник многих жизненно важных витаминов для животных и человека.

### Лабораторная работа № 5 Количественное определение аскорбиновой кислоты (витамина С) (по С.М. Прокошеву)

**Теоретическое обоснование.** Аскорбиновая кислота широко распространена в растениях. Ею богаты плоды шиповника, черная смородина, капуста, хвоя, хрен, петрушка. Определением содержания аскорбиновой кислоты в плодах, овощах, корнеплодах, зеленых культурах устанавливается их пищевая ценность. Количество аскорбиновой кислоты в растениях зависит от почвенно-климатических условий выращивания. Как правило, овощи, плоды и ягоды, выращенные в более северных регионах, содержат значительно больше витамина С, чем выращенные на юге.

При недостатке витамина С в продуктах питания у людей развивается цинга. Важная роль аскорбиновой кислоты связана с ее участием в окислительно-восстановительных процессах и, в первую очередь, в дыхании. Аскорбиновая кислота физиологически активна, хорошо растворима в воде, однако легко разрушается в воде, растворах щелочей, особенно в присутствии воздуха, света, следов железа и меди. Более устойчива она в кислой среде.

Аскорбиновая кислота и ее дегидроформа образует окислительно-восстановительную систему, которая может как отдавать, так и принимать водородные атомы. Содержание витамина С является показателем восстановительной и общей физиологической активности растительных тканей, устойчивости растений. В настоящее время доказана роль аскорбиновой кислоты как компонента антиоксидантной системы защиты клеток растений в условиях техногенного загрязнения (при действии промышленных газов на протопласт клеток листьев древесных растений).

На окислительно-восстановительных свойствах этого соединения основан и метод определения. Используется при этом индикатор Тильманса (2,6-дихлорфенолиндофенол), который восстанавливается в бесцветное соединение экстрактами растений, содержащими аскорбиновую кислоту. Вытяжку из растений титруют раствором индикатора до появления розового окрашивания.

**Цель работы.** Определить количество аскорбиновой кислоты в различных плодах и овощах в процессе их хранения.

**Объект:** листья древесных растений, плоды лимона, яблоки, листья свежей капусты, клубни картофеля, луковица лука (данная методика позволяет определять содержание витамина С в частях растений, имеющих неокрашенный клеточный сок).

**Реактивы и оборудование:** аскорбиновая кислота кристаллическая, 1 % раствор HCl, 1 % раствор щавелевой кислоты, 2 % раствор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1 % раствор крахмала, KI, 0,001 н раствор KJO<sub>3</sub>, раствор 2,6-дихлорфенолиндофенола, весы с разновесами, терка пластмассовая, фарфоровая ступка с пестиком, мерный цилиндр на 10 мл, кварцевый песок, воронка, фильтр, стеклянная палочка, фильтровальная бумага, мерные колбы на 50, 100 мл, коническая колба на 50 мл (2 шт.), пробка, бюретка, бюксы (2 шт.).

**Ход работы:**

1. Исследуемый материал грубо измельчить ножом из нержавеющей стали (или нарезать ножницами). Процесс измельчения выполнить быстро. Отвесить 10 г, перенести в фарфоровую ступку.

2. Залить навеску 10 мл 1 % HCl и тщательно растереть, добавляя кварцевый песок, до однородной массы. Во время растирания прилить еще 10 мл 1 % раствора HCl. Полученную смесь перенести из ступки в коническую колбу на 100 мл (через воронку по стеклянной палочке). Ополаскивают ступку и пестик несколько раз 1 % щавелевой кислотой, которую тоже сливают в мерную колбу и той же кислотой доводят объем жидкости в колбе до метки. Соляная кислота применяется для извлечения из растительной ткани как свободной, так и связанной аскорбиновой кислоты, щавелевая кислота осаждает белки и повышает стойкость аскорбиновой кислоты.

3. Содержимое колбы тщательно перемешать и оставить на 5 минут. По истечении этого времени содержимое колбы отфильтровать через сухой фильтр.

4. Отобрать мерным цилиндром в два бюкса по 10 мл полученного фильтрата и оттитровать каждую из двух проб из бюретки раствором краски 2,6-дихлорфенолиндофенола до появления розового окрашивания, не исчезающего в течение 0,5 - 1 минуты.

5.\* (этот пункт заранее выполняется преподавателем). Установить титр краски 2,6-дихлорфенолиндофенола: растворить несколько кристаллов аскорбиновой кислоты в 50 мл 2 % серной кислоты. 5 мл этого раствора оттитровать краской из микробюретки. Такой же объем раствора аскорбиновой кислоты оттитровать из другой бюретки 0,001 н раствором KJO<sub>3</sub>. Во втором случае перед титрованием к раствору аскорбиновой кислоты прибавить 2-3 кристаллика KI и 5 капель 1 % крахмального клейстера. Прибавление большего количества йодистого калия задерживает окисление аскорбиновой кислоты. Титрование вести до появления бледно-голубой окраски. Титр краски вычислить по формуле:

$$T = \frac{0,088 \cdot a}{v}, \quad (2)$$

где  $a$  – количество 0,001 н раствора KJO<sub>3</sub>, пошедшего на титрование аскорбиновой кислоты, мл;  $v$  – количество раствора краски, пошедшего на титрование аскорбиновой кислоты, мл; 0,088 – количество мг аскорбиновой кислоты, соответствующее 1 мл 0,001 н раствора KJO<sub>3</sub>.

Так как не исключена возможность присутствия в растительных вытяжках посторонних редуцирующих веществ, реагирующих с красителем и, следовательно, повышающих результаты анализа, то при необходимости производить особенно точные анализы следует принимать в расчет и эти вещества. Для этого к двум другим порциям по 10 мл исследуемой вытяжки прибавляют 0,1 мл 10 %-го раствора  $\text{CuSO}_4$  и нагревают в течение 10 мин при  $110^\circ\text{C}$  (на глицириновой бане или в термостате). В присутствии меди в этих условиях аскорбиновая кислота разрушается полностью. Охлаждают и титруют краской. Полученную поправку вычитают из данных титрования опытных растворов.

6. Содержание аскорбиновой кислоты (X) в мг на 100 г исследуемого материала (мг %) вычислить по формуле:

$$X = \frac{100 \cdot a \cdot T \cdot V}{B \cdot C}, \quad (3)$$

где  $a$  – количество краски, пошедшей на титрование фильтрата, мл;  
 $T$  – миллиграмм-титр краски по аскорбиновой кислоте, мг;  
 $V$  – объем полученной вытяжки из данной навески, 100 мл;  
 $B$  – количество фильтрата, взятого для титрования, 10 мл;  
 $C$  – навеска исследуемого растительного материала, г.

7. Сравнить различные объекты по содержанию витамина С. Сделать вывод.

**Контрольные вопросы.** 1. В каких растениях и каких органах растений содержится много аскорбиновой кислоты? 2. Каково значение аскорбиновой кислоты для растений? 3. От чего зависит содержание витамина С в растениях?

### Лабораторная работа № 6

#### Определение потенциального осмотического давления клеточного сока методом плазмолиза (по де-Фризу)

**Теоретическое обоснование.** Сформировавшаяся растительная клетка имеет большую вакуоль, содержащую водный раствор различных органических и минеральных веществ, от концентрации которых зависит осмотическое давление клеточного сока вакуоли. Давление, которое способен развивать раствор, всасывая воду через полупроницаемую мембрану, называется осмотическим. Величина осмотического давления раствора прямо пропорциональна его концентрации и абсолютной температуре.

Вант-Гофф установил, что осмотическое давление разбавленных растворов подчиняется газовым законам:

$$P = R \cdot C \cdot T \cdot i, \quad (4)$$

где  $P$  – осмотическое давление, кПа;  
 $R$  – газовая постоянная  $8,3144 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ ;  
 (если осмотическое давление рассчитывается в атмосферах (атм), то  $R = 0,0821 \text{ л} \cdot \text{атм}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ );  
 $T$  – абсолютная температура, К ( $273^\circ + t^\circ\text{C}$  комнатная);  
 $C$  – изотоническая концентрация,  $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$ ;  
 $i$  – изотонический коэффициент Вант-Гоффа (таблица 1.5).  
 Для неэлектролитов (например, сахарозы)  $i = 1$ .

По современным требованиям, осмотическое давление, сосущая сила клеток, выражаются в паскалях (Па). При переводе численных значений осмотического давления из атмосфер в Паскали следует иметь в виду, что

$$1 \text{ атм.} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па} = 1,01 \cdot 10^2 \text{ кПа.}$$

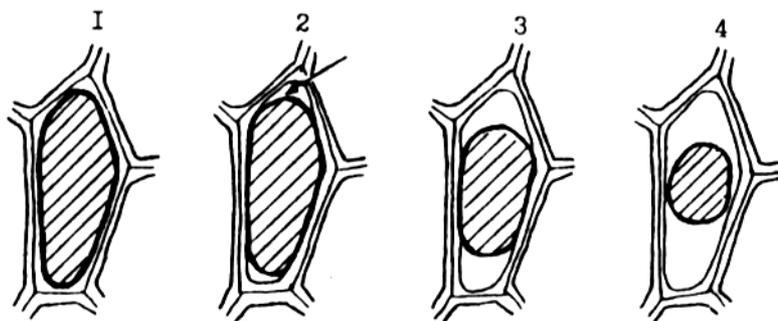
Величина осмотического давления клеточного сока характеризует устойчивость растений к почвенной засухе. Повышение этого показателя является критерием обезвоживания растений и необходимости полива.

Если растительная клетка помещена в воду или гипотонический раствор, концентрация которого ниже, чем концентрация вакуолярного сока, вода будет всасываться клеткой, и это приведет к увеличению объема клетки. При помещении клетки в гипертонический раствор концентрация и осмотическое давление которого выше, чем у клеточного сока, происходит выход воды из клетки в окружающую среду, и это приводит к уменьшению объема содержимого клетки и отделению протопласта от клеточной оболочки.

Явление отделения протопласта от клеточной оболочки называется *плазмолизом* (рис. 1). Плазмолиз дают только живые по состоянию клетки, поэтому тест на плазмолиз применяется как один из методов диагностики живого состояния растительных клеток и тканей. При помещении плазмолизированной клетки в воду или гипотонический раствор вода поступает в клетку, объем содержимого клетки увеличивается, и его контакт с клеточной оболочкой восстанавливается. Это явление получило название *деплазмолиза*.

Уменьшение объема содержимого растительной клетки может происходить не только при возникновении плазмолиза. Оно возможно и при быстром иссушении клеток, например, мякоти листа, в жаркое полуденное время. Протоплазма клеток, сокращаясь при этом в объеме, не отделяется от оболочки, а увлекает за собой внутрь клетки отдельные ее участки. Возникает явление *циторриза*.

При определении осмотического давления клеточного сока растительной клетки критерием служит начинающийся плазмолиз. Данный метод основан на поиске таких пограничных концентраций наружного раствора, один из которых вызывает начальный плазмолиз, а следующий (менее концентрированный) не вызывает плазмолиза. Концентрация изотонического раствора (**раствор, осмотическое давление которого равно осмотическому давлению клеточного сока**), равна среднему арифметическому между концентрациями этих пограничных растворов. Но при этом надо помнить, что нельзя делать заключение о наличии плазмолиза на основании наблюдения нескольких клеток. Вследствие больших индивидуальных отклонений осмотических свойств клеток необходимо под микроскопом рассмотреть несколько полей зрения.



1 – отсутствует; 2 – начальный (по углам клеточной оболочки), показан стрелкой; 3 – средний; 4 – очень сильный.

Рис. 1 – Плазмолиз клеток

Диагностика влагообеспеченности древесных растений по показателям осмотического давления листьев разработана в основном для плодовых и декоративных деревьев и кустарников. Осмотическое давление в клетках клубней и луковиц сельскохозяйственных культур при соблюдении условий хранения должно составлять 15-20 атм. Повышение осмотического давления более 20 атм. свидетельствует о недостаточной влажности и может привести к пересыханию луковиц и корнеплодов, их увяданию. Осмотическое давление ниже 15 атм. означает избыток влаги, что может стать причиной загнивания растениеводческой продукции.

**Цель работы.** Освоить метод и определить осмотическое давление растительных клеток.

**Объект:** лук обыкновенный (луковица).

**Реактивы и оборудование:** растворы NaCl следующих концентраций (моль·л<sup>-1</sup>): 1; 0,8; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; дистиллированная вода, микроскоп, бюксы с надписями концентраций (9 шт.), лезвие, препаровальная игла, пинцет, стеклянная палочка, предметные и покровные стекла (2 шт.), синий лук, секундомер, половинка чашки Петри.

**Ход работы:**

1. В подписанные стеклянные бюксы налить по 10 мл 1; 0,8; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1 моль·л<sup>-1</sup> растворов NaCl, в один бюкс 10 мл дистиллированной воды. Поставить их в ряд по убывающей концентрации растворов.

2. При помощи лезвия бритвы приготовить не менее 18 шт. тонких срезов нижнего эпидермиса чешуи лука в половинку чашки Петри с дистиллированной водой.

3. Срезы из воды перенести (по 2 шт.) в каждый из бюксов с растворами, начиная с высокой концентрации. **При этом срезы в каждый последующий бюкс переносить через 2 мин.** При этом необходимо проследить, чтобы срезы не плавали на поверхности, а были погружены в растворы (их следует «утопить» при помощи препаровальной иглы). Записать время начала опыта.

4. Через 20 мин после погружения последовательно, начиная с самой высокой концентрации (с интервалом в 2 мин), срезы перенести на предметное стекло

и, накрыв покровным стеклом, исследовать под микроскопом при малом увеличении.

5. Определить степень плазмолиза клеток исследуемой ткани в каждом растворе, обязательно просмотрев под микроскопом все клетки срезов. Найти два пограничных раствора, в одном из которых еще нет плазмолиза, а в следующем уже наблюдается начальный плазмолиз не менее чем у 50 % клеток среза (результаты опыта записать в таблицу 1.4).

**Таблица 1.4 – Результаты проведения опыта**

Концентрация раствора, моль·л <sup>-1</sup>	Наличие плазмолиза и его степень	Изотоническая концентрация, моль·л <sup>-1</sup>
1		
0,8		
0,6		
0,5		
0,4		
0,3		
0,2		
0,1		
дистиллированная вода		

**Таблица 1.5 – Значения изотонического коэффициента для растворов NaCl различных концентраций**

Концентрация раствора NaCl, моль·л <sup>-1</sup>	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Изотонический коэффициент	1,62	1,64	1,68	1,70	1,73	1,75	1,78	1,83

6. Найти изотоническую концентрацию как среднее арифметическое между концентрациями этих двух растворов.

7. Зная изотоническую концентрацию наружного раствора, рассчитать величину осмотического давления (P) по формуле Вант-Гоффа.

8. Сделать выводы по работе.

**Контрольные вопросы.** 1. Какова физическая природа процессов диффузии и осмоса? 2. Что такое осмотическое давление и от чего зависит его величина? 3. Какие растворы называются изо-, гипер- и гипотоническими? 4. Что такое плазмолиз, деплазмолиз, циторрикс? 5. На чем основан принцип определения осмотического давления методом плазмолиза? 6. Какое практическое значение имеет определение величины осмотического давления клеток растения?

## Раздел 2. ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТЕНИЙ

Вода составляет 70-95 % массы растения. Водный обмен растения включает следующие процессы: поглощение, передвижение и испарение воды листьями. Эти процессы происходят благодаря работе концевых двигателей растения: корневого давления (нижний концевой двигатель) и транспирации (верхний концевой двигатель). Двигатели работают согласованно в тесной связи с условиями окружающей среды и потребностями самого растения.

Если испарение воды растениями превышает процесс поступления воды, возникает водный дефицит. Небольшой водный дефицит полезен растению, но если он усиливается, в растении происходит серьезное нарушение обмена веществ, которое может привести к гибели. Многие растения обитают в условиях недостатка влаги. Такие растения имеют эволюционно сформированные приспособления (анатомические, морфологические и физиологические) к недостатку влаги. Опасен и избыток влаги. Растения, испытывающие переувлажнение, имеют различные механизмы защиты.

### Лабораторная работа № 7

#### Определение интенсивности транспирации

**Теоретическое обоснование.** Поглощение воды корневой системой осуществляется в результате действия транспирации и корневого давления. Ведущая роль в водообмене растений принадлежит транспирации. Транспирация – процесс испарения воды надземными органами растения. Низкий водный потенциал атмосферы обуславливает испарение воды в процессе транспирации и непрерывное перемещение ее от корня к листьям по градиенту водного потенциала. Наибольшая величина водного потенциала характерна для почвы, несколько ниже – для клеток корня, еще ниже – для клеток листьев и наиболее низкая – для воздуха.

Благодаря транспирации растение обеспечивается водой, вместе с водой по растению передвигаются минеральные и органические вещества. Транспирация понижает температуру листьев, тем самым способствует нормальному ходу фотосинтеза. Количество испаренной воды зависит от многих факторов: вида растения, этапа онтогенеза, температуры воздуха, влажности почвы и воздуха и т.д. Для учета транспирации используют ее определенную величину – интенсивность транспирации.

***Интенсивность транспирации*** (ИТ) – количество воды в г, испаренное с единицы листовой поверхности ( $1 \text{ м}^2$ ) в единицу времени (1 час). Эта величина зависит от внешних факторов, времени суток и колеблется в пределах 15-250 г/м<sup>2</sup>·ч.

Основным методом определения ИТ является весовой метод, основанный на учете потери воды при испарении.

***Относительная транспирация*** (ОТ) – отношение интенсивности транспирации к интенсивности испарения со свободной водной поверхности при тех же условиях. Этот показатель характеризует способность растений регулировать процесс транспирации. Относительная транспирация выражается

цифрами от 0,1 до 0,5, поднимаясь иногда до 1,0 и опускаясь у некоторых хорошо защищенных от потерь воды листьев до 0,01 и ниже.

**Цель работы.** Изучить влияние различных факторов внешней среды на ИТ и ОТ (повышенная влажность, ветер, яркий свет, темнота).

**Объект:** листья герани.

**Материалы и оборудование:** комнатные растения, древесные растения, электронные весы, квадрат кальки размером 10x10 см (2 шт.), вентилятор, настольная лампа, темный шкаф, влажная камера, ножницы, лезвие, вата, дистиллированная вода, колба коническая на 100 мл, эксикатор, стеклянная пластинка, линейка, калькулятор, половинка чашки Петри.

**Ход работы:** работа выполняется группами по 2-3 человека, каждая группа изучает транспирацию при воздействии определенного внешнего фактора, затем группы обмениваются результатами. Для этого создаются различные модельные условия опыта: например, при изучении влияния ветра, поместить листья растения и чашку Петри с водой на равное расстояние от вентилятора под струю теплого воздуха. Если изучается такой фактор, как яркий свет, используется электролампа (100 Вт); темнота – темный шкаф.

1. Чтобы вызвать открывание устьиц, перед опытом растения необходимо обильно полить и в течение 1,5-2 часов осветить электролампой.

2. У чашки Петри без крышки измерить диаметр (по внутренней поверхности) и наполнить ее дистиллированной водой таким образом, чтобы дно было полностью закрыто. Взвесить на электронных весах.

3. В коническую колбу до половины налить дистиллированной воды.

4. С герани срезать лист вместе с черешком и обвести его контур на кальке (осторожно, чтобы не повредить лист!).

5. Нижний конец черешка подрезать под водой примерно на 1 см для восстановления водных нитей в проводящих сосудах.

6. Лист при помощи ваты укрепить в конической колбе. Листовая пластинка не должна быть мокрой!

7. Колбу с листом взвесить.

8. Лист в колбе и чашку Петри без крышки поставить в одинаковые заданные условия на 40-60 мин.

9. Через 40-60 мин колбу с листом и чашку Петри повторно взвесить. Убыль в весе в первом случае показывает количество воды, испарившейся с поверхности листа (транспирация), во втором – со свободной водной поверхности.

10. Определить площадь листа. Для определения площади листа используют весовой метод. Вырезают из кальки квадрат в  $100 \text{ см}^2$  (10x10 см) и взвешивают на электронных весах. Затем вырезают контур листа из кальки (см. п. 4) и также взвешивают. По пропорции находят площадь контура (листа):

$$S = \frac{100 \cdot B}{A}, \quad (8)$$

где  $S$  – площадь листа,  $\text{см}^2$ ;  
 $A$  – вес  $100 \text{ см}^2$  кальки, г;  
 $B$  – вес контура листа, г.

11. На основании полученных данных рассчитать интенсивность транспирации, интенсивность испарения со свободной водной поверхности, относительную транспирацию.

12. Заполнить таблицы 2.1 и 2.2. Обменяться результатами.

13. Сделать выводы по работе о влиянии внешних условий на интенсивность транспирации, проанализировать и сравнить показатели интенсивности транспирации и интенсивности испарения с открытой поверхности для одних и тех же условий опыта (среды).

**Интенсивность транспирации** рассчитывают по формуле:

$$ИТ = \frac{10000 \cdot C \cdot 60}{S \cdot T}, \quad (9)$$

где ИТ – интенсивность транспирации, г/м<sup>2</sup> · ч;

C – убыль в весе за время опыта, г;

S – площадь листа, см<sup>2</sup>;

T – продолжительность опыта, мин;

10000 – коэффициент перевода см<sup>2</sup> в м<sup>2</sup>;

60 – коэффициент перевода минут в часы.

**Интенсивность испарения** (E) свободной водной поверхности чашки Петри рассчитывают по той же формуле:

$$E = \frac{10000 \cdot C \cdot 60_1}{S_1 \cdot T}, \quad (10)$$

где C<sub>1</sub> – убыль в весе чашки Петри, г;

S<sub>1</sub> – площадь свободной поверхности (см<sup>2</sup>), которую находят как площадь круга S<sub>1</sub> = π · r<sup>2</sup> (π = 3,14).

**Относительную транспирацию** находят по формуле:

$$ОТ = ИТ / E \quad (11)$$

Таблица 2.1 – Показатели опыта

№ п/п	Показатели	Значения показателей
1.	вес колбы с листом до опыта, г	
2.	вес колбы с листом в конце опыта, г	
3.	потеря воды листом за время опыта, г	
4.	вес чашки Петри до опыта, г	
5.	вес чашки Петри в конце опыта, г	
6.	потеря воды из чашки Петри за время опыта, г	
7.	диаметр чашки Петри, см	
8.	вес 100 см <sup>2</sup> кальки, г	
9.	вес контура листа, г	
10.	площадь листа, см <sup>2</sup>	
11.	площадь чашки Петри, см <sup>2</sup>	
12.	время опыта, мин	

Таблица 2.2 – Показатели транспирации и испарения со свободной поверхности и относительной транспирации при различных условиях опыта

№ п/п	Условия опыта	ИТ, г/м <sup>2</sup> ·ч	Е, г/м <sup>2</sup> ·ч	ОТ
1.	Контроль			
2.	Повышенная влажность воздуха			
3.	Темнота			
4.	Сильный свет			

**Контрольные вопросы.** 1. Что такое транспирация и каково ее биологическое значение? 2. Какие существуют способы регуляции транспирации? 3. Какие показатели используются для характеристики транспирации? 4. Каким образом транспирация зависит от внутренних и внешних факторов? 5. Назовите способы адаптации растений к условиям водного дефицита.

Существуют и другие методы определения площади, один из них – определение площади листа по его параметрам. Метод основан на сопоставлении формы листа с некоторой простой геометрической фигурой, достаточно хорошо совпадающей с конфигурацией данного листа. Его можно использовать только при работе с растениями, имеющими сравнительно простую и устойчиво сохраняющуюся форму. Метод характеризуется простой, относительно высокой производительностью, возможностью определения листовой поверхности без отделения листьев от растения. Однако одновременно ему присуща невысокая точность.

**Ход работы:** лист вписать в соответствующую фигуру так, чтобы основные параметры их были общими. Например, листья злаков легко вписываются в вытянутый прямоугольник. Измерить ширину (а) и длину (в) такого прямоугольника, найти его площадь (S), которая равна  $S = a \cdot b$ . Однако фактическая площадь листа ( $S_{л}$ ) будет меньше площади геометрической фигуры, поэтому необходимо установить поправочный коэффициент (K), равный отношению  $S_{л} / S$ .

Поправочный коэффициент (K) можно определить весовым методом. Взвесить на весах построенную по длине и ширине листа растения соответствующую фигуру ( $M_{ф}$ ) и вырезанный из той же бумаги контур листа ( $M_{л}$ ).

$K = M_{л} / M_{ф}$ . Отсюда фактическая площадь листа злака будет равна  $S_{л} = a \cdot b \cdot K$ .

Аналогично предварительно вычисляют поправочные коэффициенты для листьев других растений, моделируя их с соответствующими простыми геометрическими фигурами. Причем коэффициент (K) получают на основании анализа многих листьев и несколько раз в течение вегетационного периода, так как нередко конфигурация листьев претерпевает значительные возрастные изменения.

### Раздел 3. ФОТОСИНТЕЗ

Фотосинтез возник на ранних этапах эволюции жизни и остается важнейшим процессом биосферы. Фотосинтез – это процесс преобразования поглощенной организмом энергии света в химическую энергию органических соединений. Другими словами, фотосинтез – единственный процесс, с помощью которого солнечная энергия улавливается и остается на Земле, преобразуясь в другие формы энергии.

Фотосинтез влияет на биосферные процессы, является фактором их сбалансированности: стабилизирует соотношение кислорода и углекислого газа в атмосфере, влияет на состояние озонового экрана, содержание гумуса в почве, парниковый эффект и т.д. Таким образом, фотосинтез определяет экологическое благополучие биосферы.

Однако за последние десятилетия в результате хозяйственной деятельности человека, вырубки лесов баланс атмосферных явлений нарушен. Поэтому важнейшими задачами являются: сохранение и воспроизводство лесов, дальнейшее изучение самого процесса фотосинтеза, повышение фотосинтетической продуктивности древесных насаждений.

#### Лабораторная работа № 8

#### Физико-химические свойства пигментов зеленого листа

**Теоретическое обоснование.** В мембранах хлоропластов фотоавтотрофов находится целый комплекс различных пигментов, принимающих непосредственное участие в фотосинтезе: хлорофиллы, каротиноиды и фикобилины.

Структурной основой молекулы хлорофилла служит порфириновое кольцо, в центре которого находится атом магния. Циклическая система двойных связей и атом магния определяют фотохимическую активность пигмента.

Каротиноиды – желтые пигменты, они включают каротины (у высших растений основным желтым пигментом является  $\beta$ -каротин) и ксантофиллы.

Каждая группа пигментов включает большое число различных пигментных форм.

Основным функциональным пигментом, осуществляющим фотосинтетическую работу, является хлорофилл *a*. Остальные пигменты являются вспомогательными, они передают поглощенную энергию солнца хлорофиллу *a*, повышая тем самым коэффициент использования энергии света.

**Цель работы.** Познакомиться с составом и некоторыми физико-химическими свойствами основных пигментов зеленого растения.

**Объект:** свежие зеленые листья любого растения.

**Реактивы и оборудование:** 96 % этиловый спирт (по 10 мл на рабочую группу) или готовая вытяжка пигментов в конической колбе на 50 мл, 150 - 200 мл концентрированной спиртовой вытяжки пигментов, бензин, 20 % раствор NaOH, 10 % раствор HCl, ацетат меди, дистиллированная вода, водяная баня, пробирки с концентрированной и разбавленной вытяжкой хлорофилла (общие, по 1

шт.), пробирки (3 шт.), шпатель, мерный цилиндр, штатив для пробирок, спектроскоп (2 шт.), настольная лампа (100-150 Вт), штатив с лапкой (2 шт.), широкий стеклянный бюкс без крышки, цветные карандаши, линейка, специальный колпак для направления света.

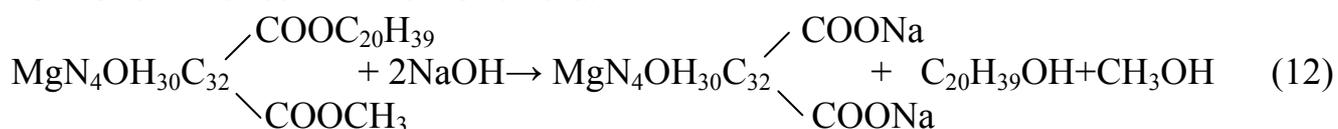
### Получение спиртовой вытяжки пигментов

Свежие листья, вырезав центральную жилку, быстро и мелко измельчить ножницами в фарфоровую ступку. Тщательно растереть с небольшим количеством чистого кварцевого песка, добавив предварительно на кончике скальпеля СаСО<sub>2</sub> или MgCO<sub>2</sub> для нейтрализации органических кислот клеточного сока, затем прилить небольшое количество (3-4 мл) спирта и продолжать растирать растительную массу до гомогенного состояния. В полученную массу вылить весь оставшийся спирт из колбы, размешать до появления интенсивной изумрудно-зеленой окраски. Настоять 2-3 мин, дав отстояться вытяжке. В это время приготовить фильтр, смазать снизу носик фарфоровой ступки небольшим количеством вазелина. После этого надосадочный экстракт осторожно без остатка слить по стеклянной палочке в воронку с фильтром. Если спиртовую вытяжку пигментов необходимо сохранить в течение 1-3 дней, то колбу с ней, герметично закрытую пробкой, нужно поставить в холодильник, так как на свету и при доступе воздуха хлорофилловая вытяжка быстро разрушается, теряя свою зеленую окраску.

С полученным спиртовым экстрактом пигментов зеленого листа провести ряд опытов.

### Химические свойства пигментов

**Обратное разделение пигментов по Краусу.** Метод основан на различной растворимости пигментов в спирте и бензине. Каротин растворим в бензине, хлорофилл, после обработки щелочью, – в спирте. Желтые пигменты со щелочью не реагируют. Спирт и бензин при сливании не смешиваются и образуют две фазы: верхняя (более легкая) - бензин и нижняя - спирт. Благодаря этому разделяются и компоненты смеси пигментов листа.



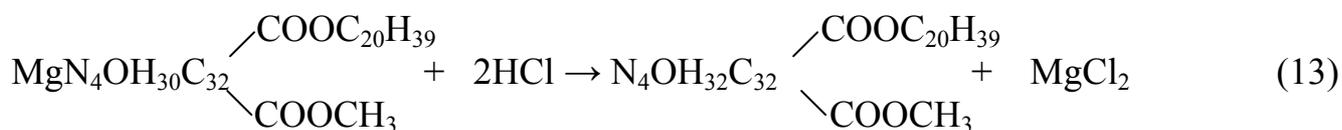
### Ход работы:

1. В пробирку с 2 мл спиртовой вытяжки пигментов прилить 1 мл 20 % раствора NaOH и взболтать, и поместить в водяную баню на 1-2 мин. Затем пробирку вынуть и охладить.

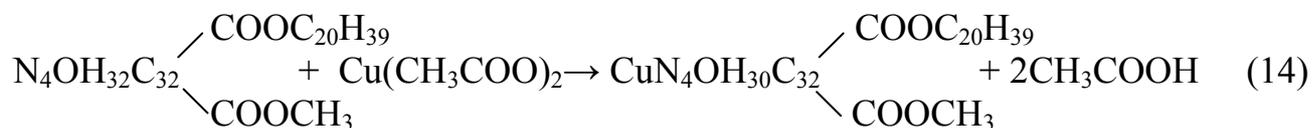
2. К охлажденному раствору добавить равный объем бензина и 2 капли дистиллированной воды. Содержимое пробирки резко встряхнуть и дать отстояться.

3. Зарисовать и подписать полученную картину распределения пигментов в системе спирт-бензин.

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



Если на феофитин подействовать солями меди, цинка или ртути, то вместо двух протонов в ядро входит соответствующий металл и вновь восстанавливается зеленая окраска, так как восстанавливается металлорганическая связь в молекуле. Однако она несколько отличается от окраски хлорофилла. Обратное введение магния в феофитин происходит с большим трудом.



### Ход работы:

1. В две пробирки налить по 2 мл спиртовой вытяжки пигментов и прибавить по 2 капли 10 % раствора HCl. Осторожно взболтать! Зеленая окраска у хлорофилла переходит в бурую.

2. В одну пробирку (другая пробирка – контроль) с побуревшей вытяжкой внести немного (на кончике скальпеля) ацетата меди. Другую пробирку оставить на рабочем столе в штативе (для сравнения).

3. Раствор нагреть на водяной бане до образования хлорофиллоподобного производного меди зеленого цвета.

4. Зарисовать пробирки с феофитином и медьпроизводным хлорофилла.

### **Оптические свойства хлорофилла**

Важной характеристикой пигментных систем являются спектры поглощения и флуоресценции, что дает информацию об индивидуальных формах пигментов, присутствующих в биологической системе, их состоянии и т.д. Дело в том, что в процессе фотосинтеза все пигменты избирательно поглощают энергию света в пределах видимой части спектра (фотосинтетически активной радиации (ФАР) 380-720 нм): у хлорофиллов два ярко выраженных максимума в красной (640-680 нм) и в сине-фиолетовой (430-470 нм) областях; каротины и ксантофиллы поглощают свет только в области сине-фиолетовых лучей. Спектр поглощения хлорофилла зависит от его концентрации и толщины слоя, так как при увеличении этих показателей поглощающая способность хлорофилла усиливается.

**Наблюдение спектров поглощения пигментов зеленого листа.** Для этого используется спектроскоп. По положению темных полос в опытном спектре определяют, какие лучи поглощаются исследуемым пигментом.

**Ход работы:**

1. Закрепить спектроскоп в лапке штатива и навести на яркую электролампу так, чтобы все области спектра имели одинаковую яркость.
2. Рассмотреть и зарисовать контрольный спектр видимого белого света (рис. 2).
3. Затем перед щелью спектроскопа (между прибором и источником света) поместить пробирку с сильно разбавленной спиртовой вытяжкой хлорофилла и определить положение темных полос, которые соответствуют лучам, поглощенным хлорофиллом. Зарисовать (рис. 2).
4. Затем рассмотреть и зарисовать спектр поглощения света концентрированной вытяжки хлорофилла (рис. 2).
5. Для изучения спектра поглощения желтых пигментов необходимо использовать пробирки, в которых были проведены реакции разделения пигментов по Краусу.
6. Наблюдать опыт (проведенный преподавателем) по изучению влияния толщины слоя хлорофилла на спектр поглощения. Концентрированная вытяжка хлорофилла постепенно заливается в глубокий бюкс, через который направлен свет от лампы. Цвет вытяжки меняется от зеленой до красной, так как при увеличении толщины слоя хлорофилла спектр поглощенных лучей расширяется настолько, что видимыми остаются только крайние красные лучи.
7. Сделать выводы.

Спектр поглощения	Свет или пигмент
	белый свет
	хлорофилл (разбавленный)
	хлорофилл (концентрированный)

К    О    Ж    З    Г    С    Ф

Рис. 2 – Спектры поглощения хлорофилла

***Флуоресценция хлорофилла***

Процесс поглощения кванта света сопровождается переходом электрона на более высокий энергетический уровень. Одним из возможных путей «разрядки» энергии электронного возбуждения молекулы пигмента при возвращении электрона на прежнюю орбиту в основное исходное состояние является флуоресценция - испускание возбужденной молекулой хлорофилла излучения в виде лучей большей длины волны (свечение). Это свидетельствует о значительной фотохимической активности хлорофилла. Независимо от длины волны

поглощенного света хлорофилл флуоресцирует только в красной области спектра. Каротиноиды этим свойством не обладают.

В живых листьях флуоресценция выражена слабо, так как энергия используется в фотохимических процессах. Возрастание интенсивности фотосинтеза влечет за собой ослабление флуоресценции.

### **Ход работы:**

Пробирку со спиртовой вытяжкой пигментов поместить на фоне черной бумаги у источника света и рассмотреть ее в отраженном свете, то есть со стороны источника освещения. Какого цвета в этом случае будет вытяжка хлорофилла? Зарисовать окраску вытяжки в проходящем и отраженном свете, проанализировать причины флуоресценции.

**Контрольные вопросы.** 1. Каковы основные принципы выделения пигментов из зеленого листа? 2. Какие пигменты содержатся в листьях высших растений? 3. Каковы химические свойства хлорофилла? 4. Какие лучи наиболее сильно поглощаются хлорофиллом и какие - желтыми пигментами? 5. От чего зависят оптические свойства пигментов? 6. Что такое флуоресценция? 6. Какова зависимость между концентрацией хлорофилла в клетке и отношением растения к свету (светолюбивая и теневыносливые группы)?

## **Раздел 4. ДЫХАНИЕ РАСТЕНИЙ**

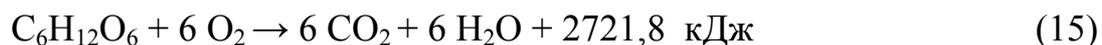
Дыхание присуще всем живым организмам. Дыхание – это окислительный распад органических веществ, синтезированных в процессе фотосинтеза. Идет этот процесс с участием кислорода. А.С.Фаминцын рассматривал фотосинтез и дыхание как две последовательные фазы питания растений: фотосинтез готовит углеводы, дыхание перерабатывает их в биомассу растения.

Дыхание – процесс ступенчатый, при этом образуются реакционно-способные вещества и освобождается энергия, необходимая для процессов жизнедеятельности (синтеза белков и других веществ в клетках, транспорта веществ и т.д.).

### **Лабораторная работа № 9**

#### **Определение дыхательного коэффициента прорастающих семян (упрощенный метод Рихтера)**

**Теоретическое обоснование.** Понятие «дыхание» охватывает сложный комплекс окислительно-восстановительных процессов, в ходе которых преобразуется химическая природа органических соединений и освобождается энергия. Внешним, наиболее общим проявлением дыхания является поглощение кислорода и выделение  $\text{CO}_2$ . Этот процесс может быть выражен следующим суммарным уравнением:



Одним из важных показателей дыхательного метаболизма является величина **дыхательного коэффициента (ДК)**. ДК – это отношение объема выделенного при дыхании углекислого газа к объему поглощенного кислорода.

ДК может служить показателем химической природы и степени окисленности субстрата, используемого при дыхании, происходящем в нормальных условиях внешней среды.

При дыхании за счет углеводов ДК= 1, например,



При окислении жиров и белков (более восстановленных соединений) кислорода поглощается больше, чем выделяется углекислого газа и ДК меньше 1 (жиры – приблизительно 0,7; белки – 0,8). Например, при окислении такого типичного компонента жиров, как стеариновая кислота:



У прорастающих масличных семян ДК меньше 0,5, так как на этот показатель могут влиять и процессы обмена веществ, не имеющие отношения к дыханию. Например, в прорастающих семенах масличных культур часть жирных кислот идет на образование углеводов.

При окислении органических кислот (менее восстановленных, чем углеводы), таких, как яблочная, щавелевая и др., ДК больше 1. Например, при окислении яблочной кислоты:



Можно привести в качестве примеров следующие минимальные значения ДК во время прорастания семян (при 12-25 °С): подсолнечник - 0,55; лен - 0,30; горчица - 0,49.

ДК может служить характеристикой условий, в которых протекает процесс дыхания (при использовании одного и того же субстрата). Значения дыхательного коэффициента необходимо учитывать при хранении и проращивании семян, выращивании сеянцев.

Надо учитывать, что величина ДК может зависеть от содержания кислорода в среде. Например, в некоторых тканях из-за затрудненного доступа кислорода наряду с аэробным происходит анаэробное дыхание, не сопровождающееся поглощением кислорода, что приводит к повышению ДК.

Величина ДК также обусловлена полнотой окисления дыхательного субстрата. Если кроме конечных продуктов в тканях накапливаются менее окисленные соединения (органические кислоты), то ДК будет меньше 1.

Метод, предложенный в этой работе, не может быть использован для точных измерений объемов газов, он служит для ориентировочного определения ДК. Используемый прибор состоит из большой пробирки или колбы на 150 мл с плотно пригнанной каучуковой пробкой, в которую вставлена изогнутая под прямым углом стеклянная трубка (капилляр) со шкалой, прикрепленной к ней сзади (рис.3). Прибор следует установить так, чтобы трубка находилась в горизонтальном положении.

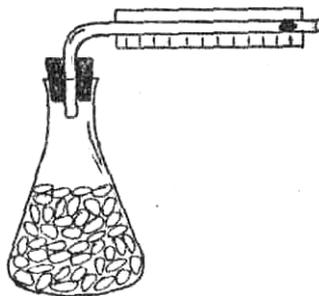


Рис. 3 – Установка для определения дыхательного коэффициента семян

Данный метод определения ДК основан на учете изменения положения капли в капилляре, что указывает на изменение объема воздуха в приборе; если объемы обмениваемых газов при дыхании равны, то капля в трубке передвигаться не будет.

**Цель работы.** Ознакомиться с методом определения дыхательного коэффициента. Установить ДК прорастающих семян, у которых в качестве дыхательного субстрата используются жиры.

**Объект:** наклюнувшиеся семена древесных или с/х культур (подсолнечник).

**Реактивы и оборудование:** 20 % раствор NaOH или KOH, раствор метиленового синего произвольной концентрации, кристаллизаторы с наклюнувшимися семенами, шпатели, большая пробирка или колба на 150 мл, хорошо пригнанная к ней резиновая пробка со стеклянной трубкой, изогнутой под прямым углом и прикрепленной к ней линейкой, пластилин, фарфоровый стакан с ватой, кусочки фильтровальной бумаги, пинцет, песочные часы на 2 и 5 мин или секундомер, глазные пипетки с оттянутым носиком, полоска миллиметровой бумаги размером 20 x 100 мм, сито.

**Ход работы:**

1. Пробирку или колбу до половины (или на 2/3) заполнить прорастающими семенами и плотно закрыть ее пробкой с капилляром. Для герметичности замазать пластилином.

2. Ввести в конец трубки с помощью пипетки каплю раствора метиленового синего. Прибор во время опыта обязательно должен находиться при постоянной (комнатной) температуре: его нельзя держать руками, дышать на него.

3. Как только капля оторвется от края трубки, отметить на шкале положение внутреннего мениска капли, перевернуть песочные часы и измерить, на сколько делений шкалы продвинется капля внутрь трубки за 2-5 мин (время выбирается произвольно в зависимости от скорости движения капли). Опыт повторить дважды, найти среднее значение (данные занести в таблицу 4.1). Полученная величина (А) соответствует разнице между объемом поглощенного при дыхании семян кислорода и объемом выделенного при этом углекислого газа:

$$A = V(O_2) - V(CO_2) \quad (19)$$

Если капля не двигается, нарушена герметичность сосуда. В этом случае необходимо плотнее закрыть пробку.

Таблица 4.1 – Показатели опыта

Условия опыта	Время, мин	Расстояние, пройденное каплей, мм	$B - A$	ДК, $\frac{B - A}{B}$
без щелочи (А)				
со щелочью (В)				

4. Затем открыть прибор, проветрить его, встряхнув семена. Прикрепить к внутренней стороне пробирки или колбы с помощью пинцета кусочек фильтровальной бумаги, смоченный 20 % раствором щелочи, так, чтобы бумага не касалась ни семян, ни пробки.

5. Снова, закрыв сосуд пробкой, ввести в трубку каплю красителя и также провести измерения скорости движения капли за тот же промежуток времени. Величина (В) отражает объем поглощенного при дыхании кислорода, так как выделенный углекислый газ поглощается щелочью:  $B = V(O_2)$ .

6. Вычислить дыхательный коэффициент:

$$ДК = V(CO_2) / V(O_2) = B - A / B \quad (20)$$

7. Результаты опыта записать в таблицу 4.1. Сделать выводы.

8. Вычислить теоретически ДК при полном окислении до  $CO_2$  и  $H_2O$  следующих веществ:  $C_{18}H_{32}O_2$  – линолевый триглицерид, который содержится в конопле;  $C_2H_4O_2$  – щавелевая кислота;  $C_{57}H_{104}O_6$  – триолеин;  $C_{12}H_{22}O_{11}$  – сахароза.

**Контрольные вопросы.** 1. Что такое дыхательный коэффициент и каковы возможности его использования для характеристики дыхания? 2. Какие свойства субстрата определяют величину ДК? 3. Какие внешние условия влияют на величину ДК?

## Раздел 5. МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Растения тесно связаны с почвой, но они способны усваивать из почвы только минеральные вещества. Минеральное питание – такое же уникальное свойство растительного организма, как и фотосинтез. Оно лежит в основе автотрофности растений, т.е. их способности строить свое тело из неорганических веществ.

### Лабораторная работа № 10

#### Микрохимический анализ золы растений

**Теоретическое обоснование.** При сжигании растительных тканей всегда остается несгораемая часть, называемая золой. Химический состав золы очень сложный и весьма разнообразный, что зависит от особенностей самого растения и от состава почвы, на которой растет исследуемое растение. В золе можно обнаружить почти все элементы химической таблицы Менделеева, но количественное соотношение между отдельными элементами неодинаково.

Среднее количество золы в растении составляет приблизительно 5 %. Однако отдельные органы растений сильно отличаются по содержанию золы, ее больше в тех органах, которые состоят преимущественно из живых клеток. Так, в среднем в древесине содержится около 1 % золы, в семенах – около 3 %, в стеблях и корнях – 5 %, а в листьях – 15 %.

Существует ряд методов, с помощью которых можно определить количество золы в растениях и ее качественный состав.

В основе микрохимического анализа лежит способность некоторых солей давать характерной формы кристаллы, легко различимые даже при слабом увеличении микроскопа, по которым можно судить о наличии в составе золы того или иного элемента. Метод удобен, так как требует для исследования небольшого количества материала и прост при выполнении.

**Цель работы.** Выявить наличие макроэлементов в растительной золе.

**Объект:** зола растений.

**Реактивы и оборудование:** штатив с пробирками (2 шт.), воронки маленькие, фильтры, бюкс, мелкий тигль, пипетки (10-12 шт.), предметные стекла, стеклянные палочки с оттянутым носиком, микроскопы, марлевые салфетки, 10 % раствор HCl, растворы химически чистых солей: сернокислого таллия, свинцово-медного азотистокислого натрия, серной кислоты, кислого фосфорнокислого натрия, молибденовокислого аммония в азотной кислоте, азотнокислого стронция, желтой кровяной соли (все растворы 1 %), дистиллированная вода.

**Ход работы:**

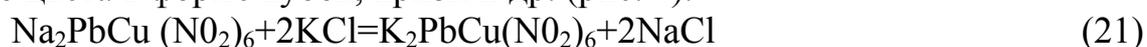
1. В пробирку поместить немного золы растительного происхождения. Растворить золу в 10 %-ной соляной кислоте (золу и кислоту добавить в соотношении 1:3). Осторожно! Реакция идет бурно, поэтому соляную кислоту вливают небольшими порциями и содержимое пробирки помешивают стеклянной палочкой.

2. Отфильтровать полученный раствор в чистую сухую пробирку.
3. С фильтратом провести характерные для каждого элемента реакции.

В вытяжке (фильтрате) открывают калий, кальций, магний, серу, фосфор и железо. Все реакции проводятся на предметном стекле (только реакция на железо проводится в тигле без микроскопирования).

Для этого стеклянной палочкой нанести на предметное стекло каплю фильтрата и реактива на расстоянии 0,5-1 см друг от друга. Затем чистой стеклянной палочкой с оттянутым концом соединяют капли тонкими дугообразными канальцами, затем повторяют, когда капли будут равномерно соединены, препарат оставляют на подсыхание. В месте соединения растворов происходит реакция, при которой образуются характерные кристаллы. Кристаллический осадок рассматривают под микроскопом и зарисовывают.

Для открытия **калия** каплю вытяжки золы соединяют с каплей свинцово-медного азотистокислого натрия и через несколько минут микроскопируют. Образуются кристаллы свинцово-медного азотистокислого калия черного или темно-коричневого цвета в форме кубов, призм и др. (рис. 4).



Реактивом на **кальций** служит 1 %-ная серная кислота:



В результате реакции образуются пучки бесцветных игольчатых кристаллов гипса (рис. 5).

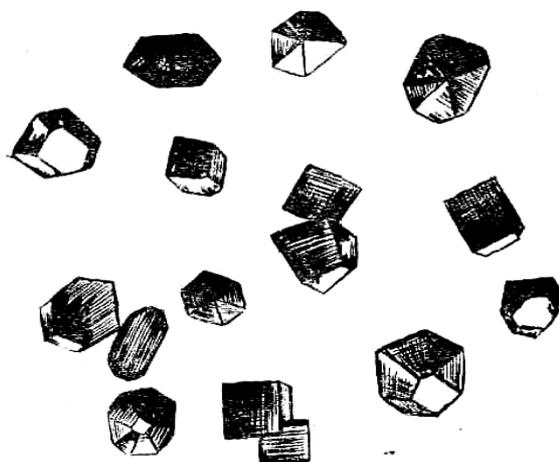


Рис. 4 – Кристаллы свинцово-медного азотистокислого калия

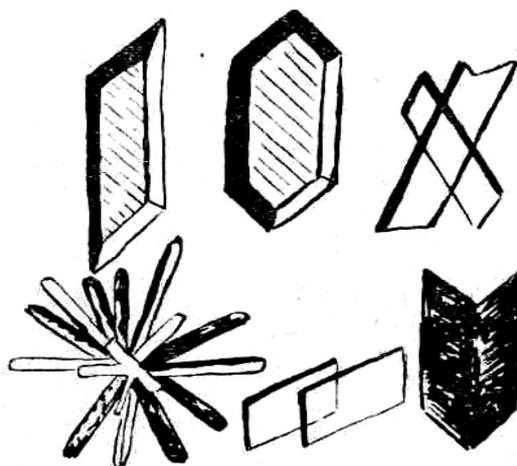


Рис. 5 – Кристаллы сернокислого кальция

Для открытия **магния** испытуемый раствор сначала нейтрализуют на предметном стекле аммиаком, а затем соединяют с каплей 1 %-ного раствора кислого фосфорнокислого натрия. Происходит следующая реакция:



Кристаллы фосфорно-аммиачно-магнезиальной соли имеют вид бесцветных ящичков, крышек, звезд или крыльев (рис. 6).

**Фосфор** открывают при помощи 1 %-ного молибденовокислого аммония в азотной кислоте по реакции:



Кристаллы фосфорно-молибденового аммиака имеют зеленовато-желтый цвет и форму шариков, ромбиков и др. (рис. 7).

Присутствие **серы** обнаруживают 1 %-ным раствором азотнокислого стронция:



Сернокислый стронций имеет форму мелких закругленных кристаллов.

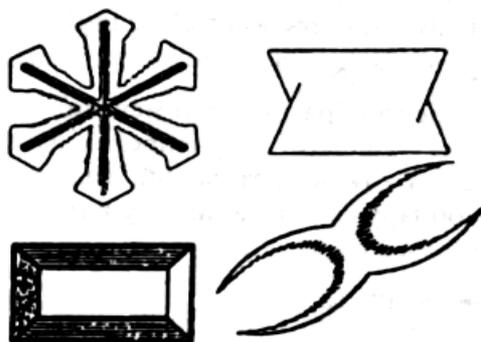


Рис. 6 – Кристаллы фосфорно-аммиачно-магнезиальной соли

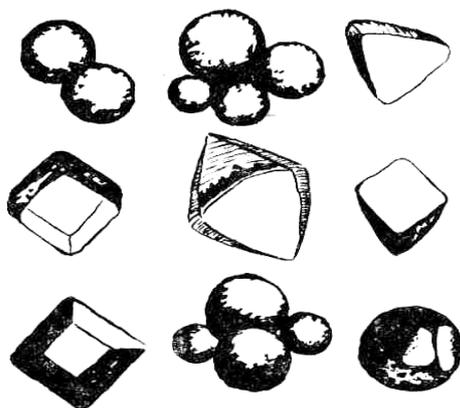
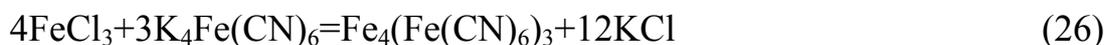


Рис. 7 – Кристаллы фосфорно-молибденового аммиака

Зарисовать наблюдаемые под микроскопом кристаллы.

Открытие **железа** производят путем качественной реакции с образованием берлинской лазури (в тигле). Реактивом служит 1 %-ный раствор желтой кровяной соли:



**Контрольные вопросы.** 1. Каков элементарный состав растений? 2. Какие элементы называются органогенами, какие – макроэлементами, какие – микроэлементами?

В качестве самостоятельной работы каждому студенту необходимо подготовить и сделать на лабораторном занятии краткое сообщение (5-10 минут) о роли химических элементов в жизнедеятельности растений. Для этого студенту необходимо выбрать один из необходимых растениям химических элементов (из макро- или микроэлементов) и подготовить доклад по рекомендуемому ниже плану. Список литературных источников, рекомендуемый для выполнения этой работы, представлен на стр. 51.

### План доклада о химическом элементе

1. Содержание элемента в растительных тканях:
  - количество;
  - семейства, виды растений, в тканях которых элемент содержится в больших количествах, или которые в элементе нуждаются в большем количестве;
  - какие ткани, органы растения характеризуются наиболее высоким уровнем содержания элемента.
2. Физиологическая роль элемента.
3. Способность к транспорту и перераспределению в растении.
4. Внешние признаки недостаточности.
5. Стадии онтогенеза, на которых растения наиболее чувствительны к дефициту элемента.
6. Удобрения, способы внесения.

## Лабораторная работа № 11

### Признаки минерального голодания у растений

**Теоретическое обоснование.** Каждый из элементов минерального питания, поглощаемый растением, выполняет в растении определенную физиологическую роль. При недостатке элемента нарушаются физиологические процессы, связанные с участием того или иного элемента. Нарушение физиологических процессов проявляется в морфологии растений (изменяется внешний вид растения – например, появление карликовости растений, вызванной недостатком азота, изменение окраски и размеров листовой пластинки и т. д.). Хотя эти признаки не имеют строгой специфичности, по их совокупности можно выявить недостаток того или иного элемента минерального питания. Совокупность признаков, характеризующих недостаток элемента минерального питания, называется признаками голодания растений.

**Цель работы.** Познакомиться с признаками минерального голодания у растений.

**Объект:** листья комнатных растений, табличный материал.

**Материалы и оборудование:** листья комнатных растений, таблицы с признаками недостаточности различных элементов минерального питания, атласы.

**Ход работы.**

1. Рассмотреть картинки с изображением признаков недостатка элементов минерального питания у растений: азота, фосфора, калия, кальция, магния, серы, железа, марганца, меди, цинка, бора, молибдена и кобальта. Зарисовать цветными карандашами в лабораторную тетрадь. Каждый рисунок сопровождать описанием признаков недостаточности (см. Приложение В).

2. По листьям комнатных растений определить, имеются ли признаки недостатка элементов минерального питания у этих растений, какого элемента минерального питания недостаточно.

**Контрольные вопросы.** 1. Что такое признаки голодания у растений? 2. На каких органах и каким образом могут проявляться признаки недостатка того или иного элемента минерального питания?

## Раздел 6. РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

Индивидуальное развитие растений от зиготы до естественной смерти (онтогенез) включает два процесса – рост и развитие: рост – это количественный показатель (увеличение числа и размеров клеток, тканей, органов и всего растения в целом); развитие отражает качественные изменения, происходящие в организме (например, переход к цветению, старость и т.д.). Рост и развитие взаимосвязаны, но не всегда идут параллельно. Иногда быстрый рост сопровождается медленным развитием, или наоборот.

Рост и развитие растений регулируются фитогормонами под влиянием условий среды, окружающей растения.

## Лабораторная работа № 12

### Прерывание периода покоя растений при помощи тепловых ванн

**Теоретическое обоснование.** Покой является биологическим приспособлением растений к неблагоприятным условиям внешней среды, который выработался в процессе эволюции и закреплен наследственностью.

Различают два вида покоя – вынужденный и органический (или физиологический). Вынужденный покой вызывается отсутствием благоприятных условий для нормальной вегетации, органический – обусловлен внутренними физиологическими причинами (недоразвитие зародыша, фитогормоны, механическая прочность семенных оболочек и т.д.). Различают покой семян, побегов и почек. Для прерывания покоя у некоторых растений в зимнее время можно применить метод тепловых ванн. Этот прием используют в декоративном садоводстве и цветоводстве при выгонке побегов древесных растений (сирени, форзиции, яблони и т.д.) и вегетативном размножении растений одревесневшими черенками.

**Цель работы.** Познакомиться с одним из методов прерывания покоя у растений.

**Объект:** ветки сирени, ветки плодовых деревьев, лесных культур.

**Материалы и оборудование:** ветки сирени, термостат, секатор, кристаллизатор со стеклянной крышкой, термометр, сосуды с водой.

**Ход работы.** Ветки растения (сирени) заготавливают за 1-2 дня до постановки опыта.

2. Срезы обновить под водой на 2-3 см. Ветки разделить на две части, отбирая при этом одинаковые по размеру (длине и толщине). Одну часть веток оставляют для контроля, вторую берут для опыта. Контрольные ветки поставить в сосуд с водой и оставить в лаборатории при температуре 15-18 °С. Опытные растения поместить в тепловую ванну (температура 37-39 °С) на 9-12 часов.

2. Для тепловой ванны используют термостат, в который помещают кристаллизатор с водой, прикрытый стеклянной крышкой или стеклом. Когда вода в кристаллизаторе прогреется до 40 °С, в нее погрузить ветки. Через 9-12 часов ветки достать из ванны и поставить в сосуды с водой, как и контрольные. Поместить на хорошо освещенное окно.

3. Через неделю почки опытных веток, подвергнутых действию тепловых ванн, набухнут и тронутся в рост.

Успех опытов зависит от продолжительности выдерживания в ванне, температуры ванны, глубины периода покоя и наличия света. Опыты следует проводить в октябре-ноябре и даже декабре, когда растения находятся еще в состоянии органического покоя. Поставленные в более позднее время они часто не удаются, так как почки контрольных веток распускаются одновременно с почками опытных.

4. Зарисовать ветки сирени, сделать выводы.

**Контрольные вопросы.** 1. Какие типы покоя выделяют у растений? 2. Значение покоя.

## Динамика крахмала в годичном цикле веток древесных растений

**Теоретическое обоснование.** Крахмал – главный полисахарид растений, играющий роль запасного вещества. У многолетних древесных растений крахмал накапливается в ветках, стволах и корнях, причем содержание его в течение года закономерно изменяется. Осенью, перед уходом в покой, в клетках происходит образование и отложение в запас питательных веществ в форме высокополимерных соединений крахмала и др. веществ. В зимнее время происходит постепенный гидролиз крахмала с образованием растворимых сахаров. Весной, перед вегетацией, вновь сахара превращаются в крахмал, который с началом вегетации расходуется на дыхание, процессы роста и развития.

Крахмал в клетке обнаруживается по йодной реакции в растворе Люголя. В этот раствор помещают срез на 5 минут, при этом крахмал окрашивается в фиолетовый, иногда черный цвет.

Содержание и динамика крахмала в побегах многолетних растений является показателем их зимостойкости и морозостойкости, который применяется в диагностике физиологического состояния древесных растений (в т.ч. плодово-ягодных культур) в зимне-весенний период.

**Цель работы.** Проследить годовую динамику крахмала в тканях древесного растения.

**Объект:** ветки годичного прироста древесных растений (яблони, тополя, клена, липы, березы, кизильника и др.).

**Реактивы и оборудование:** раствор Люголя, дистиллированная вода, фильтровальная бумага, лезвие бритвы, микроскоп, предметные стекла (6-12 шт.), покровные стекла (6-12 шт.), пинцет, пипетка глазная.

### **Ход работы:**

1. Сделать 1-2 тонких поперечных среза с веток годичного прироста древесного растения, взятых в разные месяцы года. Группа студентов из 2-3 человек работает со своим видом древесного растения.

2. Срезы разложить на предметные стекла по месяцам. На каждый срез нанести по 2-3 капли раствора Люголя. Через 5-10 мин раствор убрать фильтровальной бумагой и нанести каплю воды.

3. Рассмотреть срезы под микроскопом при малом увеличении и оценить содержание крахмала в отдельных тканях (рис. 10) по пятибалльной системе:

1 балл – крахмал в единичных клетках;

2 балла – крахмала мало;

3 балла – среднее содержание крахмала;

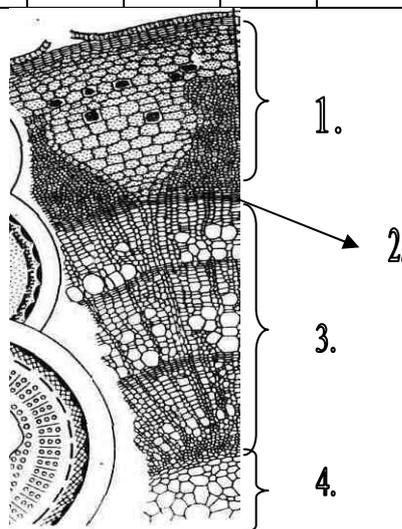
4 балла – крахмала много (в клетках есть просветы);

5 баллов – крахмала очень много (нет просветов в клетках).

4. Полученные результаты записать в таблицу 6.1. Сделать выводы о закономерностях изменения содержания крахмала в годовом жизненном цикле древесных растений.

Таблица 6.1 – Динамика крахмала в тканях древесных растений

Ткани веток	Количество крахмала в баллах (по месяцам года)											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
кора												
камбий												
древесина												
сердцевина												



1 – кора; 2 – камбий; 3 – древесина; 4 – сердцевина

Рис. 8 – Поперечный срез ветки липы

**Контрольные вопросы.** 1. В каких органах накапливается крахмал у травянистых и у древесных растений? 2. Изменяется ли содержание крахмала в различных тканях веток древесных растений в течение года? Каким образом? Почему? 3. К какой группе органических соединений относится крахмал? Что значит первичный и вторичный крахмал? 4. Каким образом можно обнаружить крахмал?

## Раздел 7. УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ

Способность к защите от действия неблагоприятных факторов среды (стрессоров) – важное и обязательное свойство любого растительного организма. Защита обеспечивается на разных уровнях: клеточном и органном, организменном, популяционном. Каждый новый уровень дополняет механизмы, сформированные на прежних уровнях.

При сильном кратковременном действии стрессоров проявляются неспецифические механизмы устойчивости (стресс), при длительном действии – специфические механизмы.

Наиболее устойчивы к стрессовому воздействию растения в состоянии покоя (в виде семян, луковиц и др. покоящихся органов), наиболее чувствительны всходы, молодые растения и растения в период формирования гамет.

В невысоких дозах повторяющиеся стрессы способствуют закаливанию растительного организма, причем закаливание по отношению к одному фактору повышает устойчивость растения к некоторым другим факторам.

## Лабораторная работа № 14 Морозоустойчивость растений

**Теоретическое обоснование.** На подавляющей территории нашей страны наиболее губительными для растений являются низкие температуры воздуха и почвы: низкие отрицательные температуры повреждают зимующие растения, низкие положительные температуры оказывают сильное неблагоприятное воздействие на ход физиологических процессов и формирование урожая теплолюбивых культур. Оценка устойчивости растений к такому экстремальному фактору, как мороз, важна для лесохозяйственной практики.

Живая нормально функционирующая клетка обладает избирательной проницаемостью, чтобы поддерживать постоянство внутриклеточной среды. При воздействии отрицательных температур на растительные ткани в межклетниках образуются острые кристаллы льда, которые, во-первых, оттягивая воду из клеток, обезвоживают протоплазму. При определенной степени обезвоживания, индивидуальной для каждого растительного организма, необратимо нарушается структура белков, инактивируются ферменты. Во-вторых, кристаллы льда, образуемые непосредственно в клетках, оказывают механическое воздействие, в результате чего нарушается 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.

Устойчивость растений определяется разнообразными физиологическими и биохимическими свойствами его клеток. Повышение доли связанной воды - один из механизмов, предохраняющих растения от повреждения морозом. Увеличение количества растворимых сахаров в зимующих органах растений повышает водоудерживающую способность тканей. Кроме того, образуя гидрофильные связи с радикалами белков цитоплазмы, сахароза стабилизирует их структуру в условиях повреждающего воздействия отрицательных температур.

### **Изучение влияния сахарозы на протоплазму при отрицательных температурах**

При повреждении клетки цитоплазма и ее мембраны теряют свойство полупроницаемости и вещества, находящиеся в клеточном соке, свободно выходят наружу. Степень повреждения клетки коррелирует с количеством выделяющихся веществ, это легко поддается оценке, если клеточный сок окрашен антоцианом. В этом случае интенсивность окрашивания внешнего раствора служит показателем степени повреждения.

**Цель работы.** Изучить защитное действие сахарозы на мембраны протоплазмы растительной клетки.

**Объект:** свежие корнеплоды красной свеклы.

**Реактивы и оборудование:** 0,5 и 1 моль·л<sup>-1</sup> растворы сахарозы, дистиллированная вода, поваренная соль NaCl, снег, термометр, поднос, совок, таз, нож, тарелка, штатив для пробирок, химический стакан объемом 250 мл с водой комнатной температуры, колба с водой, пробочное сверло, пробирки (7 шт.), карандаш по стеклу, фильтр, кристаллизатор, мерный цилиндр, стакан, кусок марли.

**Ход работы:**

1. При помощи пробочного сверла диаметром 9-10 мм и скальпеля (или ножа) вырезать из корнеплода свеклы 9 высечек толщиной 2-3 мм.

2. Поместить высечки в кристаллизатор и тщательно промыть их проточной водой до полного удаления сока, вытекшего из поврежденных клеток.

3. Перенести одинаковое количество высечек (по 3 шт.) в три пронумерованные пробирки.

4. В первую пробирку налить 5 мл дистиллированной воды, во вторую – 5 мл 0,5 моль·л<sup>-1</sup> раствора сахарозы, в третью – 5 мл 1 моль·л<sup>-1</sup> раствора сахарозы. Объем жидкости во всех трех пробирках должен быть одинаковым.

5. Приготовить в тазу охлаждающую смесь: к трем частям снега, тщательно перемешивая совком, добавить одну часть поваренной соли. Утрамбовать. Температура смеси должна быть около минус 21 °С.

6. Погрузить все три пробирки на 15-20 мин в охлаждающую смесь. Затем вынуть их и разморозить, поставив в стакан с водой комнатной температуры.

7. После полного оттаивания содержимого пробирок сравнить интенсивность окраски всех трех растворов и окраску клеток высечек. Оформить результаты опыта (табл. 7.1).

Объяснить наблюдаемые различия между вариантами, сделать вывод.

Таблица 7.1 – Результаты опыта

Объект, признак повреждения	Варианты опыта (пробирки):			комнатная температура
	температура – 21°С		вода	
	сахароза, моль·л <sup>-1</sup>			
	0,5	1		
свекла (интенсивность окраски раствора)				

**Контрольные вопросы.** 1. В чем заключается губительное действие мороза на растение? 2. Изменение каких свойств протоплазмы можно использовать в качестве показателей повреждения? 3. Каковы ответные реакции клеток на повреждающее действие мороза? 4. Что лежит в основе защитного действия сахаров? 5. Закаливание растений и его приспособительное значение.

# ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ ПО КУРСУ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ

## Раздел 1. Физиология и биохимия растительной клетки

**Задача 1.** Найдите осмотическое давление 0,2 М раствора хлористого калия при 0 °С. Изотонический коэффициент данного раствора равен 1,8.

**Решение:** Используя формулу Вант-Гоффа для расчета осмотического давления  $P = C \cdot T \cdot R \cdot i$ , находим  $P_{p-ра} = 0,2 \text{ М} \cdot 273 \text{ К} \cdot 0,0821 \cdot 1,8 = 8,06 \text{ атм.}$

**Задача 2.** Растворы, имеющие осмотическое давление 8 и 9 атм., вызвали плазмолиз клеток ткани, а в растворах, осмотическое давление которых равно 6 и 7 атм., плазмолиза не наблюдалось. Чему равно осмотическое давление клеточного сока?

**Решение:** Растворы, имеющие осмотическое давление 8 и 9 атм., являются для клетки гипертоническими ( $P_{p-ра} > P_{клеток}$ ) и вызывают плазмолиз. Раствор с осмотическим давлением 6 атм является гипотоническим ( $P_{p-ра} < P_{клеток}$ ). Если расположить растворы в порядке убывания осмотического давления, то изотоническим для клетки будет раствор, имеющим значение осмотического давления, равное среднему арифметическому между значениям последнего из растворов, вызвавшего плазмолиз и первого из растворов, в котором плазмолиз не наблюдался  $8+7 = 15 : 2 = 7,5 \text{ атм.}$

**Задача 3.** В 6 сосудов налиты растворы сахарозы, имеющие осмотическое давление: 1) 500, 2) 1000, 3) 1500, 4) 2000, 5) 2500, 6) 3000 кПа. В эти растворы поместили полоски, вырезанные из картофельного клубня, длина которых до погружения составляла 40 мм. Через 30 мин длина полосок оказалась равной: 1) 42 мм, 2) 40 мм, 3) 38 мм, 4) 35 мм, 5) 35 мм, 6) 35 мм. Как объяснить совпадение результатов в трех последних растворах? Как объяснить результаты в первых четырех растворах?

**Решение:** 1) в первом случае длина полоски увеличилась, т.к.  $S_{кл} > P_{p-ра}$ ;

2) во втором случае осталась прежней, т.к.  $S_{кл} = P_{p-ра}$ ;

3) в третьем – уменьшилась, т.к.  $S_{кл} < P_{p-ра}$ ;

4) в четвертом также уменьшилась, т.к.  $S_{кл} < P_{p-ра}$ ;

5) в трех последних случаях осталась без изменения, т.к. с этого момента полного плазмолиза в клетке созданы осмотические условия, не позволяющие воде транспортироваться из клетки.

**Задача 4.** Клетка погружена в раствор, осмотическое давление клеточного сока равно 700 кПа, наружного раствора – 500 кПа. Куда будет двигаться вода? (Разберите три возможных случая)

**Решение:** 1. Первый случай, когда клетка имеет максимальный тургор. Сосущая сила клетки в этом случае равна нулю. Сравниваем величину сосущей силы клеток и осмотического давления раствора  $P_{p-ра}$ . Т.к.  $S_{кл} < P_{p-ра}$ , то вода движется из клетки в раствор.

2. Второй случай, когда клетка находится в состоянии плазмолиза. Тургор  $T=0$ ,  $\Rightarrow S = P = 700 \text{ кПа}$ . Т.к.  $S_{кл} > P_{p-ра}$ , то вода движется из раствора в клетку.

3. Третий случай, когда  $0 < S < P$ . Если  $S$  примет значения от 0 до 500 кПа, то вода будет двигаться из клетки, а если от 500 до 700 кПа – наоборот, в клетку.

**Задача 5.** Клетка находится в состоянии полного насыщения водой. Осмотическое давление клеточного сока равно 8 атм. Чему равна сосущая сила и тургорное давление?

**Решение:** Тургор максимальный, т.е.  $T = P = 8$  атм., тогда  $S = 0$ .

### Задачи и вопросы для самостоятельного решения

1. Определите величину осмотического давления клеточного сока при температуре 17 °С, если известно, что изотонический для данной клетки раствор сахарозы имеет концентрацию 0,3 М.
2. Кусочки картофельного клубня были измерены и погружены на 30 мин в растворы NaCl разной концентрации. Оказалось, что в 0,2 М растворе длина куска не изменилась, в 0,3 М растворе уменьшилась, а в 0,1 М растворе увеличилась. Как объяснить полученные результаты?
3. Чему равна сосущая сила клеток, если известно, что при погружении в 0,3 М раствор сахарозы размеры клеток увеличились, а в 0,4 М растворе остались без изменения? Опыт проводился при температуре 27 °С.
4. Найти сосущую силу клеток, если известно, что в растворах, имеющих осмотическое давление 3 и 5 атм., размеры клеток увеличились, а в растворе, осмотическое давление которого 7 атм., произошло уменьшение объема клеток.
5. Одинаковые сеянцы пересажены в сосуды с растворами безвредных солей. Осмотическое давление раствора в первом сосуде равно 100 кПа, во втором – 300 кПа, в третьем – 500 кПа, в четвертом – 700 кПа. Как будет происходить всасывание воды сеянцами, если осмотическое давление клеточного сока корневых волосков этих растений составляет 500 кПа?
6. Две живые клетки соприкасаются друг с другом. Куда будет двигаться вода, если осмотическое давление клеточного сока у первой клетки равно 1000 кПа, а у второй – 800 кПа? (Разберите три возможных случая)
7. Клетка погружена в 0,3 М раствор сахарозы. Куда будет двигаться вода, если известно, что осмотическое давление клеточного сока 10 атм., тургорное давление 8 атм., а температура раствора 15 °С.
8. Клетка с осмотическим давлением клеточного сока 10 атм. погружена в раствор KCl, осмотическое давление которого 20 атм. Что произойдет с клеткой?

### Задачи и вопросы для контрольной работы

1. В какую сторону изменится длина кусочка растительной ткани при погружении ее в раствор, имеющий осмотическое давление 1000 кПа, если известно, что кусочек той же ткани в растворе с осмотическим давлением 900 кПа не изменил своих параметров? Объяснить.

2. После погружения куска растительной ткани в 10 % раствор сахарозы концентрация последнего осталась без изменений. В какую сторону изменится концентрация 12 %-го раствора сахарозы, если в него поместить упомянутый кусок ткани? Объясните, почему.
3. \*Чему равны сосущая сила и тургорное давление погруженной в раствор клетки после установления равновесия между клеткой и раствором, если известно, что осмотическое давление клеточного сока клетки равно 15 атм., а наружного раствора – 12 атм.?
4. Две живые клетки соприкасаются друг с другом. Куда будет двигаться вода, если у первой клетки осмотическое давление клеточного сока равно 1000 кПа и тургорное давление 600 кПа, а у второй клетки соответствующие показатели составляют 1500 и 1200 кПа? Объясните.
5. Кусочки одной и той же растительной ткани погружены в ряд растворов, осмотическое давление которых равно 5,7,10,12,16,18 и 20 атм. Клетки этой ткани перед погружением в растворы имели тургорное давление 6 атм., а осмотическое давление клеточного сока – 16 атм. В каких растворах: а) клетки будут всасывать воду, б) клетки будут отдавать воду, в) будет наблюдаться плазмолиз клеток?
6. Растение пересажено в почву, в которой почвенный раствор имеет осмотическое давление 3 атм. В момент посадки корневые волоски имели осмотическое давление клеточного сока 8 атм., а тургорное давление – 6 атм. Может ли это растение жить на данной почве? Объясните.
7. Найти сосущую силу клеток, если известно, что в растворах, имеющих осмотическое давление 3 и 5 атм., размеры клеток увеличились, а в растворе, осмотическое давление которого 7 атм., произошло уменьшение объема клеток.
8. \*В клетках корней каких растений больше осмотическое давление клеточного сока: растущих на солончаках или растений незасоленных почв? У растений, выросших в тенистом влажном месте, или растущих в степи? Как объяснить эти различия?
9. \*При погружении молодого листочка элодеи в гипертонический раствор наблюдалось, что у клеток, закончивших рост, через 20 минут наступил сильный плазмолиз, тогда как у растущих клеток в течение 2 часов сохранялся слабый плазмолиз. Как объяснить полученные результаты?
10. Клетка погружена в дистиллированную воду. В каком случае клетка будет насасывать воду, а в каком не будет?
11. Клетка, имеющая осмотическое давление клеточного сока 12 атм., погружена в изотонический раствор. Что произойдет с клеткой? (разберите два возможных случая)
12. Осмотическое давление клеточного сока равно 16 атм., а тургорное давление этой клетки составляет  $\frac{3}{4}$  от максимальной величины. Чему равны сосущая сила и тургорное давление этой клетки?

13. Клетка находится в состоянии плазмолиза. Чему равны осмотическое давление клеточного сока и тургорное давление этой клетки, если известно, что сосущая сила этой клетки равна 5 атм.?
14. Можно ли отнять воду от клетки после достижения состояния полного завядания, т.е. полной потери тургора. Объясните.

\* – задачи повышенного уровня сложности.

## Раздел 2. Водный режим растений. Транспирация

**Задача 1.** Растение, имеющее листовую поверхность  $15 \text{ дм}^2$ , испарило за 2 часа 30 г воды. Чему равна интенсивность транспирации?

**Решение:** Интенсивность транспирации (ИТ) – количество воды, испаряемое с единицы листовой поверхности в единицу времени.

Формула для вычисления ИТ :

$$ИТ = \frac{С}{S \cdot T}$$
, где С – убыль в весе, г; S – площадь листа,  $\text{м}^2$ ; T – время, ч

$$ИТ = \frac{30}{15 \cdot 2} = 1 \frac{\text{г}}{\text{дм}^2 \cdot \text{ч}}$$

Примечание. При решении задач при необходимости используют коэффициенты: 10 000 для перевода  $\text{см}^2$  в  $\text{м}^2$ ; 60 для перевода минут в часы.

**Задача 2.** Продуктивность транспирации равна 4 г/л. Найдите транспирационный коэффициент.

**Решение:**

Продуктивность транспирации (ПТ) – количество созданного растением сухого вещества на 1 л транспирированной воды (его значение в пределах 3-5 г/л). Транспирационный коэффициент (ТК) показывает, сколько воды (л) растение затрачивает на построение единицы массы сухого вещества, т.е. величина обратная ПТ (у большинства растений ТК варьирует от 100 до 1000, а в среднем составляет 300 л/г. Например, для создания 1 т урожая затрачивается 300 т воды). Т.к. продуктивность равна 4 г/л, т.е. при испарении 1 л воды синтезировалось 4 г сухого вещества, т.о. на создание 1 г сухого вещества растение затрачивает 0,25 литра воды.

Транспирационный коэффициент в этом случае равен 0,25 л/г.

### Задачи и вопросы для самостоятельного решения

1. Сколько воды испарит растение за 5 минут, если интенсивность транспирации его равна  $120 \text{ г} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , а поверхность листьев –  $240 \text{ см}^2$ .
2. Транспирационный коэффициент равен 125 мл/г. Найдите продуктивность транспирации.
3. За вегетационный период растение накопило 2,1 кг органического вещества и испарило за это время 525 кг воды. Определить продуктивность транспирации.

4. Растение за 1 час испарило 200 г, а корневая система поглотила за это же время 150 г воды. Какие условия внешней среды могли вызвать указанное несовпадение поглощенной и испаренной воды? Как это отразится на растении?
5. Почему холодная почва называется физиологически сухой?
6. Побег, взвешенный сразу после срезания, имел массу 10,26 г, через 3 мин - 10,17 г. Площадь листьев побега равна  $240 \text{ см}^2$ . Вычислить интенсивность транспирации.

### **Задачи и вопросы для контрольной работы**

1. Растение было выдержано несколько часов в темноте, затем выставлено на прямой солнечный свет. Как изменится при этом транспирация? Почему?
2. У некоторых комнатных растений незадолго перед дождем появляются капли воды на кончиках листьев. Как объяснить это явление?
3. В каком случае интенсивность транспирации больше: у обособленного растения или у такого же растения в густом посеве? Обоснуйте свой ответ.
4. Как объяснить завядание листьев в жаркий летний день при достаточном количестве влаги в почве и почему ликвидируется водный дефицит ночью?
5. Сколько воды испарит растение за 5 минут, если интенсивность транспирации его равна  $120 \text{ г} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , а поверхность листьев –  $240 \text{ см}^2$ ?
6. Фермеры редко удобряют посевы во время засухи, т.к. это может принести вред. Объясните, почему.
7. У растения, корни которого погружены в чистую воду, при добавлении к ней соли может наблюдаться временное завядание, однако через несколько часов его тургор, вероятно, восстановится. Объясните это явление.
8. Почему корни слабо поглощают воду из холодных почв?
9. Чем объясняется уменьшение интенсивности всасывания воды корнями при затоплении почв?
10. Почему К.А. Тимирязев называл транспирацию «неизбежным злом»?
11. Происходит ли транспирация при закрытых устьицах и у безлистных побегов?
12. В одном из опытов Л.А. Иванова 20-летняя сосна была спилена 3 ноября, торец пня был тщательно смазан салом и закрыт клеенкой, после чего периодически определялась влажность древесины пня, которая оказалась равной: 3.11. – 60,2 %, 5.11. – 62,2 %, 9.11. – 63,7 %. Как объяснить полученные результаты?
13. Два повядших побега поставлены в сосуд с водой, причем у одного из них срез стебля был возобновлен под водой. Какой побег быстрее и полнее восстановит свой тургор? Почему?
14. Дерево, имеющее листовую поверхность  $12 \text{ м}^2$ , испарило за 2 часа 3 кг воды. Чему равна интенсивность транспирации?

15. Чему равен транспирационный коэффициент дерева, испарившего за вегетационный период 2 т воды и накопившего за это время 10 кг сухого вещества?

### Раздел 3. Фотосинтез

**Задача 1.** Как скажется: а) понижение концентрации кислорода, б) повышение концентрации  $\text{CO}_2$  на продуктивности  $\text{C}_3$ -фотосинтеза, а как – на  $\text{C}_4$  – фотосинтезе? Объясните.

**Решение:**

А) при понижении концентрации кислорода продуктивность  $\text{C}_3$  - фотосинтеза увеличится, т.к. снизится процесс фотодыхания. При повышении концентрации  $\text{CO}_2$  продуктивность  $\text{C}_3$  – фотосинтеза также возрастет, т.к. усилится фиксация  $\text{CO}_2$  во время темновой фазы и увеличится выход сахаров.

Б) при понижении концентрации кислорода продуктивность  $\text{C}_4$  - фотосинтеза не изменится, т.к. это у этих растений не наблюдается процесс фотодыхания. При повышении концентрации  $\text{CO}_2$  продуктивность  $\text{C}_4$ -фотосинтеза возрастет, т.к. усилится фиксация  $\text{CO}_2$  и образование малата, и в итоге увеличится выход сахаров.

**Задача 2.** Сколько органического вещества вырабатывает растение за 15 минут, если известно, что интенсивность фотосинтеза составляет  $20 \text{ мг/дм}^2 \cdot \text{ч}$ , а поверхность листьев равна  $2,5 \text{ м}^2$ ?

**Решение:** Под интенсивностью фотосинтеза (ИФ) понимают количество  $\text{CO}_2$ , усваиваемое единицей листовой поверхности за единицу времени ( $\text{мг CO}_2 / \text{дм}^2 \cdot \text{ч}$ ).

$$\text{Мг CO}_2 = \text{ИФ} \cdot S_{\text{листья}} \cdot t$$

$$\text{Мг CO}_2 = 20 \text{ мг/дм}^2 \cdot \text{ч} \cdot 2500 \text{ дм}^2 \cdot 0,25 \text{ ч} = 12500 \text{ мг CO}_2$$

### Задачи и вопросы для самостоятельного решения

1. Хлоропласты каких клеток у  $\text{C}_4$  растений лучше приспособлены для световых, а какие – для темновых реакций фотосинтеза? Почему отсутствие гран в хлоропластах обкладок проводящих пучков дает определенную выгоду? Объясните.
2. Как объяснить хорошее естественное возобновление (рост молодых сеянцев) под пологом материнского древостоя липы, клена, вяза и полную гибель подроста березы, дуба и осины?
3. Несмотря на то, что интенсивность фотосинтеза сосны примерно в 3 раза меньше, чем у березы (при одинаковых внешних условиях), прирост органической массы этих пород при расчете на 1 га почти одинаков в течение всего года. Как это объяснить?
4. Как объяснить разную окраску спиртовой вытяжки из зеленого листа при рассмотрении ее в проходящем и отраженном свете?

5. Что такое листовая мозаика? У каких растений обычно наблюдается это явление – у светолюбивых или теневыносливых? Ответ обоснуйте.
6. В отличие от большинства растений у суккулентов устьица днем закрыты, а ночью открываются. Как протекает у них фотосинтез?
7. У многих растений нередко наблюдается выделение  $\text{CO}_2$  листьями в полуденные часы летнего дня. Какова причина этого явления?
8. Растение было освещено сначала зеленым, а затем синим светом такой же интенсивности. В каких лучах будет наблюдаться поглощение углекислоты листьями? Почему?

### **Задачи и вопросы для контрольной работы**

1. Почему сорта с относительно тонкими листьями в посевах более предпочтительны, чем сорта с большей удельной поверхностной плотностью?
2. У растений, растущих на почвах, в которых не хватает определенных минеральных веществ, фотосинтез часто замедлен. Укажите вещества, недостаток которых мог бы вызвать такой эффект.
3. Назовите возможные причины того, что у мутантных растений гороха с пониженным содержанием каротиноидов фотосинтез протекает менее интенсивно.
4. Два одинаковых листа в течение трех дней были закрыты светонепроницаемыми чехлами, а затем освещены: первый лист – красным, а второй – желтым светом одинаковой интенсивности. У какого листа будет более высокое содержание крахмала? Как это объяснить?
5. Какого рода опыты вы бы поставили для того, чтобы определить принадлежность растения к  $\text{C}_3$  или  $\text{C}_4$  - типу?
6. При фотодыхании образуются аминокислоты. Почему же в таком случае считают, что это неэффективный процесс и что материал в нем расходуется впустую?
7. Как скажется понижение концентрации кислорода на продуктивности  $\text{C}_3$ -фотосинтеза, а как - на  $\text{C}_4$ -фотосинтезе? Объясните.
8. Как объяснить отмирание нижних ветвей деревьев в сомкнутом насаждении? У каких пород процесс очищения ствола от сучьев происходит быстрее: лиственница, пихта, сосна, ель? Почему?
9. Профессор Л.А. Иванов приводит следующие данные: при слабом освещении, составляющем 1 % полного солнечного, листья клена поглотили 0,54 мг  $\text{CO}_2$ , листья дуба выделили 0,12 мг  $\text{CO}_2$  за 1 час на 1 г сырой массы, а у листьев ивы не наблюдалось ни поглощения, ни выделения  $\text{CO}_2$ . Какие выводы можно сделать на основании приведенных результатов?
10. Освещенность составляет 80 % от оптимальной для данного растения величины, температура – 30 % от оптимальной величины, а все остальные влияющие на фотосинтез факторы оптимальны. Назовите факторы, увеличение напряженности которых: а) вызовет резкое усиление фотосинтеза, б)

вызовет небольшое увеличение интенсивности фотосинтеза, в) не приведет к повышению интенсивности фотосинтеза.

#### **Раздел 4. Дыхание растений**

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

**Решение:** Температура близка к критической (минимальной) для жизнедеятельности клубня. Дыхание усиливается для того, чтобы обеспечить энергией защитные механизмы клеток клубня.

**Задача 2.** Зеленый лист на свету при температуре 25 °С интенсивно поглощал CO<sub>2</sub>, а при повышении температуры до 40 °С начал выделять углекислоту. Как объяснить отмеченное изменение газообмена листа?

**Решение:** Оптимальной температурой для фотосинтеза является 25 °С, поэтому и происходило активное поглощение CO<sub>2</sub>. Далее с повышением температуры активность фотосинтеза снизилась вследствие перегрева листа, и одновременно усилился процесс дыхания, в ходе которого выделяется CO<sub>2</sub>.

#### **Задачи и вопросы для самостоятельного решения**

1. Почему высшие растения не могут длительно поддерживать свою жизнь в анаэробных условиях, хотя и не погибают сразу после попадания в среду без кислорода?
2. Как объяснить разную величину дыхательного коэффициента прорастающих крахмалистых и маслянистых семян?
3. Почему нельзя хранить влажные семена?
4. В свежих корнеплодах сахарной свеклы содержалось около 1% редуцирующих сахаров, а в повядших - в 5 раз больше. Как это объяснить?
5. Известно, что в период весеннего сокодвижения в пасоке древесных растений содержится много растворимых сахаров. Каково их происхождение?

#### **Задачи и вопросы для контрольной работы**

1. В сухих семенах клещевины почти нет крахмала, а в проростках, выращенных в темноте, это вещество содержится в заметных количествах. Каково происхождение этого крахмала?
2. Химический анализ прорастающих в темноте семян вики показал, что за 30 дней содержание крахмала в семенах снизилось с 36 % до 21 %, тогда как содержание растворимых углеводов (моносахаров) возросло за этот период всего лишь с 5 до 6 %. Как объяснить это несоответствие?
3. В чем сходны и чем отличаются друг от друга процесс фотосинтеза и процесс дыхания?
4. Почему у растений в светлое и темное время суток температурный оптимум различен?

5. 15 г почек выделили за 30 мин 3 мг CO<sub>2</sub>. Определите интенсивность дыхания в мг/ г □ ч (сухого веса), если известно, что содержание воды в почках составляет 60% к сырому весу.
6. Проанализируйте, исходя из представлений о роли дыхания в продукционном процессе, две концепции: «низкое дыхание – высокая продуктивность» и «высокое дыхание – высокая продуктивность».
7. Расположите фотосинтез и дыхание в порядке возрастания чувствительности к неблагоприятным факторам среды. Ответ поясните.
8. Как можно использовать разную температурную зависимость фотосинтеза и дыхания для эффективного выращивания овощных культур в защищенном грунте?
9. На пластинку из крахмального агара были помещены проросшие и непроросшие семена пшеницы, разрезанные пополам и смоченные водой. Через час семена были удалены, а пластинка залита раствором йода. Каков будет результат этого опыта и как его объяснить?

## Раздел 5. Минеральное питание растений

**Задача 1.** У каких листьев, молодых или старых, раньше появится хлороз при недостатке в почве растворимых соединений железа?

**Решение:** Хлороз листьев – это разрушение пигмента хлорофилла вследствие ослабления фотосинтеза, при этом листья желтеют. Железо является составной частью ферментов, катализирующих синтез предшественников хлорофилла и обеспечивает два важных процесса – фотосинтез и дыхание. Железо – слабо реутилизуемый элемент, поэтому при его недостатке признаки хлороза в первую очередь появляются на молодых листьях.

**Задача 2.** Почему при недостатке кальция происходит размягчение и ослизнение растительных тканей?

**Решение:** В клетках большое количество кальция связано с пектиновыми веществами клеточной стенки и срединной пластинки, поэтому при его недостатке клеточные стенки ослизняются.

### Задачи и вопросы для самостоятельного решения

1. Почему выражение «корень всасывает почвенный раствор» ошибочно?
2. В каких частях растения наблюдается более высокое содержание зольных элементов: в древесине или в листьях; в старых или молодых листьях? Как объяснить эти различия?
3. Какие листья обнаруживают более резко выраженные симптомы фосфорного голодания – верхних или нижних ярусов? С чем это связано?
4. Как объяснить хлороз яблони, выросшей на почве с высоким содержанием извести?
5. Как объяснить наличие разнообразных аминокислот и почти полное отсутствие ионов NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в пасоке (ксилемном соке) многих древесных растений, в

том числе произрастающих на почве, богатой нитратами?

6. Какие природные условия благоприятствуют процессу денитрификации?

### **Задачи и вопросы для контрольной работы**

1. Растения выращивались в вегетационных сосудах с исследуемой почвой. В первый сосуд никаких удобрений не вносили (контроль), во второй сосуд добавили калийное удобрение, в третий – фосфорное, в четвертый – азотное. Остальные условия (освещение, температура, полив) были во всех сосудах одинаковыми. Рост растений во втором сосуде не отличался от контроля, в третьем был немного лучше, а в четвертом - гораздо лучше, чем в контрольном сосуде. Сделайте выводы из приведенных результатов.
2. Почему органические удобрения рекомендуется вносить в больших дозах и задолго до посева?
3. Каковы основные преимущества выращивания растений в субстратной культуре по сравнению с выращиванием в питательном растворе?
4. Назовите пути пополнения почвенных запасов азота.
5. На каком из этапов онтогенеза значение реутилизации для растения становится особенно важным?
6. Какие функциональные расстройства наблюдаются при избыточном и несбалансированном питании растений?

### **Раздел 6. Рост и развитие растений**

#### **Задачи и вопросы для семинарского занятия**

1. Можно ли отнести к ростовым явлениям: а) набухание семян в воде; б) набухание почек перед их распусканием? Объясните.
2. Каковы могут быть причины отсутствия прорастания жизнеспособных семян при наличии всех необходимых для этого процесса внешних условий?
3. Какой фактор внешней среды служит сигналом к осеннему листопаду древесных растений умеренной зоны?
4. Когда наблюдается более быстрый рост растений - днем или ночью? Действием каких факторов объясняется это различие?
5. Почему хризантемы зацветают только осенью? Можно ли добиться цветения этих растений летом?
6. С 20-летнего плодового дерева срезаны два черенка: из средней части кроны и из побега, выросшего у основания ствола. Оба черенка высажены в грунт и регулярно поливаются. Какой из указанных черенков будет лучше укореняться? Какое из полученных растений будет быстрее расти? Какое растение раньше зацветет? Объясните.
7. Сеянцы яблони выращивали в трех вегетационных сосудах с почвой, влажность которой составляла: 1) 30 %; 2) 60 %; 3) 90 % от полной влагоемкости. Через 3 месяца измерили длину главного побега сеянцев, которая ока-

- залась в соответствующих сосудах равной: 1) 3,9 см; 2) 11,5 см; 3) 6,4 см.  
Как объяснить полученные результаты?
8. Как определить, находятся ли почки в состоянии глубокого покоя или покой их является вынужденным?
  9. Каким образом можно выяснить, в каком покое (вынужденном или физиологическом) находится побег яблони?
  10. Каковы важнейшие причины потери жизнеспособности семян и меры по ее сохранению?

## **Раздел 7. Устойчивость растений**

### **Задачи и вопросы для семинарского занятия**

1. Как объяснить, что хвоя сосны, выдерживающая зимой морозы до минус 40 °С и ниже, летом гибнет при искусственном охлаждении до минус 8 °С?
2. Какие листья быстрее завядают при почвенной засухе – верхние или нижние? С чем это связано?
3. Как вода поступает в растение? В семена? Опишите известные механизмы поступления воды в растительные структуры.
4. Известно, что у здоровых деревьев температура стволов, а также крон, значительно ниже, чем у поврежденных или ослабленных (пожарами, засухой, патогенами). Чем это можно объяснить?
5. В чем состоит защитное действие сахаров при замораживании растительной ткани? Какие еще вещества, кроме сахарозы, способны повышать устойчивость растительных клеток к действию отрицательных температур?
6. Назовите условия, необходимые для прохождения фаз закаливания у травянистых и древесных зимующих растений.
7. Каковы причины гибели зимующих растений в осенний, зимний и ранневесенний периоды?
8. Что более опасно для растений: зимние морозы или поздние весенние заморозки? Поясните.
9. Какими физиолого-биохимическими особенностями отличаются холодоустойчивые и морозоустойчивые растения?

## Список литературы

1. Атлас ультраструктуры растительной клетки / Под ред. Г.М. Козубова, М.Ф. Даниловой. – Петрозаводск, 1972.
2. Карасев, В.Н. Физиология растений: учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 304 с.
3. Киреева, Т.Б. Практикум по физиологии растений. – Ижевск: УдГУ, 1994. – 186 с.
4. Полевой, В.В. Физиология растений. – М.: Высшая школа, 1998. – 464 с.
5. Практикум по физиологии растений / Под ред. В.Б. Иванова. – М.: Академия, 2001. – 144 с.
6. Практикум по физиологии растений / Под ред. Н.Н. Третьякова. – 2-е изд. – М.: Колос, 1982. – 271 с.
7. Практикум по физиологии растений / Под ред. Н.Н. Третьякова. – 3-е изд. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
8. Тырина В.А., Тищенко Л.Я. Методические указания к лабораторным занятиям по физиологии растений. – Уссурийск: Изд-во Примор. с.-х. ин-та, 1990. – 67 с.
9. Физиология растений и биологическая химия. Руководство к лабораторным занятиям для студентов. – Кишинев: Изд-во Киш. с.-х. ин-та, 1990. – 92 с.
10. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин и др.; под ред. Н.Н. Третьякова. – М.: Колос, 2000. – 640 с.
11. Физиология растений: методическое пособие по лабораторному практикуму для студентов 2-го курса очного отделения (специальность 310200 – «агрономия») / Сост. И.Л. Бухарина. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2003. – 76 с.

## Список литературных источников,

### рекомендуемых для написания доклада о роли химических элементов в жизнедеятельности растений

1. Анспок, П.И. Микроудобрения. – М., 1990.
2. Карасев, В.Н. Физиология растений: учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – С. 118-122.
3. Плешков, Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 361-484.
4. Полевой, В.В. Физиология растений. – М.: Высшая школа, 1998. – С. 219-257; 272-272.
5. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин и др.; под ред. Н.Н. Третьякова. – М.: Колос, 2000. – С. 280-290; 335-339; 567-622.
6. Тихонов, А.С., Набатов, Н.М. Лесоведение. – М.: Экология. 1995. – С. 108-112.

В читальном зале академии (2 учебный корпус) можно воспользоваться Большой Советской и Сельскохозяйственной энциклопедиями.

**Рецепты приготовления некоторых растворов, реактивов и материалов**

**Приготовление молярных растворов.** Определить молекулярную массу по сумме относительных атомных масс элементов, из которых состоит данное соединение. Для получения 1 моль·л<sup>-1</sup> раствора взвесить навеску вещества (г), соответствующую его молекулярной массе, растворить в дистиллированной воде и довести объем до 1 л.

**Приготовление нормального раствора.** Молекулярную массу разделить на валентность соединения, то есть у кислот на число замещаемых Н-ионов, у оснований - на число замещаемых ОН-ионов, получить эквивалентную массу. Для получения 1 н раствора навеску вещества (г), соответствующую его эквивалентной массе, растворить в дистиллированной воде и довести объем до 1 л.

**Раствор Люголя - раствор йода в йодиде калия (J в KJ).** 2-3 г йодида калия растворить в 5-10 мл дистиллированной воды, затем добавить 1 г металлического йода. Когда последний полностью растворится, довести объем до 300 мл дистиллированной водой. Раствор хранить в темной склянке с притертой пробкой. Срок годности 30 дней.

**Крахмальный клейстер 1 %.** 1 г растворимого крахмала высыпать в стакан, прилить 20 мл холодной воды и тщательно размешать стеклянной палочкой. Налить в колбу 80 мл воды, нагреть до кипения, вылить в нее содержимое стакана, взболтать, дать раствору еще раз закипеть и снять с огня.

**Фелингова жидкость.** Готовится непосредственно перед употреблением путем смешивания равных объемов двух растворов, которые хранятся до этого отдельно. Раствор 1:40 г перекристаллизованного медного купороса растворить в небольшом количестве дистиллированной воды, довести объем до 1 л и профильтровать. Раствор 2: растворить 200 г сегнетовой соли (виннокислый калий, натрий) в дистиллированной воде, добавить 150 г КОН или NaOH и довести дистиллированной водой до 1 л.

**Охлаждающие смеси.** На 100 частей снега добавить одну из следующих солей: 30 частей KCl (-10,9 °C), 50 частей NaNO<sub>3</sub> (-17,7 °C), 33 части NaCl (-21,3 °C), 143 части CaCl<sub>2</sub> (кристаллический) (-50,0 °C).

**Песок кварцевый** для растирания растительных тканей промыть проточной водой для удаления илестых частиц. Залить на сутки концентрированной HCl. Отмыть кислоту, проверяя pH с помощью универсальной индикаторной бумаги. Прокалить в муфельной печи до розового цвета (2-3 часа).

**Хромовая смесь (хромпик).** 63 г хромата калия (IV) растворить в 35 мл воды и осторожно долить концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> до 1 л. Способ употребления: налить хромовую смесь в посуду на 1/4, осторожно смочить стенки и слить обратно в склянку. Дать постоять несколько минут (очень грязной посуде - несколько часов) и промыть водой. Пипетки поставить в высокий цилиндр, заполненный хромовой смесью. Не следует мыть хромовой смесью посуду, загряз-

ненную парафином, минеральными маслами и другими продуктами перегонки нефти, солями бария. После долгого употребления раствор приобретает зеленую окраску. Такая смесь утрачивает моющие свойства и непригодна для дальнейшего использования.

**Обработка химической посуды.** Посуду мыть мыльным раствором или хромовой смесью. После хромовой смеси тщательно промыть водопроводной водой, а затем дистиллированной. Сушить в перевернутом состоянии.

**Обработка предметных и покровных стекол.** Стекла промыть в мыльном растворе, а затем не более 20-30 мин кипятить, применяя стиральный порошок. Прокипяченные стекла взять из раствора пинцетом и промыть в проточной воде в течение 10-15 мин. Из проточной воды стекла также пинцетом перенести в раствор хромовой смеси и выдержать в нем не менее суток. Затем промыть проточной и дистиллированной водой. С чистых обезжиренных стекол вода скатывается не задерживаясь.

**Раствор краски 2,6-дихлорфенолиндофенола.** Для приготовления раствора на технических весах на часовом стекле отвешивают 60 мг краски, переносят в мерную колбу на 200 мл, прибавляют 100-150 мл теплой дистиллированной воды и 4-5 капель 0,01 нормальной щелочи. Колбу сильно взбалтывают в течение 10 минут. После охлаждения доливают водой до метки и опять взбалтывают. Затем фильтруют через плотный фильтр в сухую колбу. Раствор краски может быть использован в течение 3 дней при условии проверки титра в день употребления. При хранении в холодильнике им можно пользоваться в течение 8 дней.

**Список растений, используемых в физиологических опытах**

**Комнатные горшечные растения:**

1. Пеларгония (герань) зональная садовая – *Pelargonium zonale x hortorum* Bailey.
2. Сансевиера трехполосая – *Sansevieria trifasciata* Prain.
3. Традесканция с зелеными листьями – *Tradescantia* L. sp.
4. Т. пестролистная – *Tradescantia* sp.

**Овощные растения:**

1. Картофель культурный (клубни) – *Solanum tuberosum* L.
2. Лук репчатый обыкновенный (луковицы) – *Allium cepa* L.
3. Свекла (красные корнеплоды) – *Beta vulgaris* L. Subsp. *Rapacea* var. *Atrorubra* Krass.

**Растения, у которых используются семена:**

1. Горох посевной – *Pisum sativum* L.
2. Подсолнечник культурный – *Helianthus annuus* L. cultus ssp. *sativus* Wenzl.

**Деревья и кустарники:**

1. Береза повисшая или бородавчатая – *Betula pendula* Roth.
2. Кизильник черноплодный – *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt.
3. Клен ясенелистный или американский – *Acer negundo* L.
4. Липа сердцевидная или мелколистная – *Tilia cordata* Mill.
5. Сирень обыкновенная – *Syringa vulgaris* L.
6. Сосна обыкновенная – *Pinus sylvestris* L.
7. Тополь белый или серебристый – *Populus alba* L.
8. Яблоня домашняя – *Malus domestica* Borkh.

Таблица В.1 – Признаки голодания растений по элементам питания

Элемент	Симптомы недостаточности
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 (молодые листья). 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.
Ca	Гофрированные, сморщенные листья с некротическими зонами. Отсутствие верхушечных почек. Нарушение роста, связанного с делением и растяжением клеток. Ослизнение корней.
Fe	Бледно-желтая окраска ткани листьев между жилками у молодых листьев, жилки остаются зелеными. Хлороз. Малая мощность растения, неурожай. Старые листья поражаются сходным образом позже.
Mn	Однородная желтизна старых и молодых листьев, а также верхушечной почки. На ранних стадиях - угнетение роста и межжилковый хлороз. На поздних стадиях межжилкового хлороза нет.
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.
Cu	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.

Таблица Г.1 – Молекулярные массы некоторых соединений

Вещество	Молекулярная масса	Вещество	Молекулярная масса
Неорганические соли		Кислоты	
Ca Cl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	219,09	HCl	36,47
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	164,10	HNO <sub>3</sub>	63,02
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	310,20	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98,08
Ca SO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	172,17	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98,00
FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	270,32	CH <sub>3</sub> COOH	60,05
Fe <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	357,51	Щелочи	
KCN	97,17	KOH	56,10
KCl	74,55	NaOH	40,01
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136,09	NH <sub>4</sub> OH	35,05
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	174,18	Ba(OH) <sub>2</sub>	171,38
KNO <sub>3</sub>	101,10	Ca(OH) <sub>2</sub>	74,10
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174,25	Органические вещества	
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	203,33	Карбамид	60,06
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	246,49	Глюкоза	180,16
NaCl	58,45	Сахароза	342,30
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	119,99	Абсцизовая кислота	264,3
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	178,01	Гибберелловая кислота	346,4
NaNO <sub>3</sub>	85,01		
Na <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> · 10H <sub>2</sub> O	322,21	Кинетин	215,2
NH <sub>4</sub> Cl	53,50	ИУК	175,20
NH <sub>4</sub> MgPO <sub>4</sub>	137,34	ИМК	203,20
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80,05	2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота	221,00
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132,14		

## Содержание

Введение .....	3
<b>Раздел 1. БИОХИМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ</b>	
Лабораторная работа № 1. Строение растительной клетки .....	4
Лабораторная работа №2. Проницаемость живого и мертвого протопласта для клеточного сока .....	5
Лабораторная работа № 3. Запасные белки растений .....	6
Лабораторная работа № 4. Ферментативный гидролиз сахарозы .....	9
Лабораторная работа № 5. Количественное определение аскорбиновой кислоты (витамина С).....	12
Лабораторная работа № 6. Определение потенциального осмотического давления клеточного сока методом плазмолиза (по де-Фризу) .....	14
<b>Раздел 2. ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТЕНИЙ</b>	
Лабораторная работа № 7. Определение интенсивности транспирации.....	18
<b>Раздел 3. ФОТОСИНТЕЗ</b>	
Лабораторная работа № 8. Физико-химические свойства пигментов зеленого листа .....	22
<b>Раздел 4. ДЫХАНИЕ РАСТЕНИЙ</b>	
Лабораторная работа № 9. Определение дыхательного коэффициента прорастающих семян (упрощенный метод Рихтера) .....	26
<b>Раздел 5. МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ</b>	
Лабораторная работа № 10. Микрохимический анализ золы растений .....	30
Лабораторная работа № 11. Признаки минерального голодания у растений.....	34
<b>Раздел 6. РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ</b>	
Лабораторная работа № 12. Прерывание периода покоя растений при по- мощи тепловых ванн .....	35
Лабораторная работа № 13. Динамика крахмала в годичном цикле веток древесных растений .....	36
<b>Раздел 7. УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ</b>	
Лабораторная работа № 14. Морозоустойчивость растений.....	38
<b>ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ ПО КУРСУ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ</b>	
Раздел 1. Физиология и биохимия растительной клетки.....	40
Раздел 2. Водный режим растений. Транспирация.....	43
Раздел 3. Фотосинтез.....	45
Раздел 4. Дыхание растений.....	47
Раздел 5. Минеральное питание растений .....	48
Раздел 6. Рост и развитие растений .....	49
Раздел 7. Устойчивость растений.....	50
Список литературы.....	51
Приложения .....	52

Учебное издание

**Физиология растений**

Методическое пособие по выполнению лабораторных работ для студентов  
специальности «Лесное хозяйство»

Составители:

**Бухарина** Ирина Леонидовна  
**Любимова** Ольга Вячеславовна

Редактор М.Н. Перевощикова  
Технический редактор М.Ю. Соловьева

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 2009 г.  
Формат 60x84/16 Усл. п.л. 3,37 Уч. изд.л. 2,52  
Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_  
ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА  
426069, г.Ижевск, ул. Студенческая, 11