

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.Б.11 Физиология растений**

**Направление подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки  
сельскохозяйственной продукции**

**Профиль подготовки «Технология производства и переработки продукции  
животноводства»**

**Квалификация выпускника: бакалавр**

**Форма обучения очная**

## СОДЕРЖАНИЕ

### 1. Конспект лекций

- 1.1 Лекция; Введение. Физиология и биохимия растительной клетки;
- 1.2 Лекция; Водный обмен растений.;
- 1.3 Лекция; Значение воды для формирования урожая с.-х. культур;
- 1.4 Лекция; Фотосинтез как основа биоэнергетики биосферы;
- 1.5 Лекция; Фотосинтез как основа продуктивности растений;
- 1.6 Лекция; Дыхание растений;
- 1.7 Лекция; Минеральное питание растений.;
- 1.8 Лекция; Рост и развитие растений;
- 1.9 Лекция; Приспособление и устойчивость растений;
- 1.10 Лекция; Физиология и биохимия формирования качества урожая;

### 2. Методические указания по выполнению лабораторных работ

- 2.1 ЛР-1 1. Изучение свойства полупроницаемости цитоплазмы растительных клеток. Плазмолиз. Влияние ионов калия и кальция на проницаемость цитоплазмы.  
2. Односторонняя и двухсторонняя проницаемость мембран. Накопление красителей в вакуолях живой растительной клетки. Изменение проницаемости мембран при повреждении.
- 2.2 ЛР-2 1. Определение осмотического давления и водного потенциала растительных клеток методом плазмолиза.  
2. Определение интенсивности транспирации весовым методом. Определение состояния устьиц у растений.
- 2.3 ЛР-3 1. Изучение химических свойств хлорофилла.  
2. Изучение оптических свойств хлорофилла, каротина и ксантофилла.
- 2.4 ЛР-4 1. Определение интенсивности дыхания по Бойсен-Иенсену.  
2. Определение активности фермента каталазы по Баху и Опарину.
- 2.5 ЛР-5 Микрохимический анализ золы растений.
- 2.6 ЛР-6 1. Определение всхожести семян методом проращивания.  
2. Определение жизнеспособности семян биохимическим методом (методом окрашивания).
- 2.7 ЛР-7 Определение засухоустойчивости по водоудерживающей способности тканей.
- 2.8 ЛР-8 Обнаружение запасных и других веществ в растениях гистохимическим методом. Определение амилазы в прорастающих семенах.

### 3. Методические указания по подготовке к практическим занятиям

- П-1 Применение методов листовой диагностики минерального питания
- П-2 Физиологические основы устойчивости растений

## 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

### 1.1 Лекция 1 (Л-1). Введение. Физиология и биохимия растительной клетки. (2 часа)

#### 1.1.1 Вопросы лекции:

- 1. Предмет и задачи физиологии растений. Место физиологии растений в системе биологических дисциплин. Физиология растений как фундаментальная основа агрономических наук.
- 2. Клетка как структурная и функциональная единица живой материи. Сущность жизни и характерные свойства живого организма.
- 3. Биохимический состав растительной клетки

4. Структурная организация растительной клетки и физиологическая роль клеточных структур.

5. Проницаемость клетки. Клетка как открытая система

### **1.1.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Предмет и задачи физиологии растений. Место физиологии растений в системе биологических дисциплин. Физиология растений как фундаментальная основа агрономических наук.

Физиология растений — наука, которая изучает процессы жизнедеятельности и функции растительного организма. Слово «физиология» греческого происхождения; оно состоит из двух слов: *physis* — природа и *logos* — понятие, учение. Физиология растений является наиболее развитой отраслью экспериментальной ботаники, которая в XIX в. выделилась в самостоятельную науку. Она тесно связана с химией, физикой, биохимией, биофизикой, микробиологией, молекулярной биологией.

Предмет физиологии растений — это изучение всех функций растительного организма, установление связи функций и их зависимости от внешних и внутренних факторов, изучение взаимоотношений органов растений. Таким образом, физиология не останавливается на описании каких-либо особых произвольно взятых свойствах и процессах, а выступает как система законов и закономерностей о жизни растительного организма.

Задачи физиологии растений. Перед современной физиологией растений стоят задачи, которые имеют большое теоретическое и практическое значение.

1. Изучение закономерностей жизнедеятельности растительного организма (механизмы питания, роста, размножения, движения)
2. Разработка теоретических основ получения максимальных урожаев на основе знаний этих механизмов).

Физиология растений относится к биологическим, теоретическим наукам, является отраслью экспериментальной ботаники, которая в XIX в. выделилась в самостоятельную науку. В разное время на базе физиологии растений сформировались вирусология (1902 г.), агрохимия (1910 г.), химия гербицидов и стимуляторов роста (1925 г.), микробиология (1930 г.), биохимия (1930 г.). Физиология растений тесно связана с биохимией, биофизикой, микробиологией, цитологией, генетикой, молекулярной биологией, химией, физикой, использует современные методы химии, физики, математики, кибернетики. Успешное развитие биохимии способствует изучению обмена веществ и энергии растений на субклеточном и молекулярном уровнях. Трудно установить границы между отдельными биологическими науками, науками о жизни. Однако прежде всего физиология растений обеспечивает необходимую интеграцию всех биологических значений на уровне целого растения и ценоза, в этом ее особая роль в системе биологических наук.

К. А. Тимирязев неоднократно указывал, что физиология растений является теоретической основой рационального земледелия. Изучая основные закономерности жизнедеятельности растений, раскрывая зависимость функций растений от условий внешней среды, физиология растений является фундаментальной основой всех агрономических наук (земледелие, растениеводство, овощеводство и др.), создает теоретическую основу агротехнических систем, направленных на повышение урожайности и качества продукции сельскохозяйственных культур.

2. Клетка как структурная и функциональная единица живой материи. Сущность жизни и характерные свойства живого организма.

**Клетка** — основная структурная и функциональная единица всех живых организмов. Представляет собой сложноорганизованную систему из биологических полимеров (в том числе нуклеиновые кислоты, простые и сложные белки) и других соединений, способную к самоподдержанию и самовоспроизведению. Клетка может существовать как отдельный одноклеточный организм (бактерии, простейшие, некоторые водоросли и грибы) или в составе тканей многоклеточных растительных и животных организмов. К неклеточным формам жизни принадлежат только вирусы. Каждая клетка имеет клеточную или цитоплазматическую мембрану, отделяющую её от окружающей среды, цитоплазму с погружёнными в неё внутриклеточными образованиями - органеллами, и генетический аппарат, контролирующий все процессы жизнедеятельности клетки. В зависимости от организации генетического аппарата и структуры клетки все организмы делят на прокариот (к ним относятся бактерии и археобактерии) и эукариот (все остальные организмы)

«Жизнь, — по определению Ф. Энгельса, — *есть способ существования белковых тел*, и этот способ существования состоит по своему существу в постоянном самообновлении химических составных частей этих тел». Таким образом, Ф. Энгельс охарактеризовал «белковые тела» как материальный субстрат жизни, а обмен веществ — как основной фактор его существования.

Понятие о белковых телах близко к современным представлениям о протопласте, состоящем из белков, нуклеиновых кислот, липидов, сложных углеводов и других органических веществ. Оно не совпадает с понятием о химически индивидуальных белках, которые можно выделить и изолировать из живых организмов. Всюду, где возникала жизнь, были найдены белки. Они составляют структурную основу протопласта клетки, биокатализаторов (ферментов), запасных веществ, играют решающую роль во всех жизненных процессах и выполняют самые разнообразные функции. Протопласту как полимолекулярной системе свойственны форма движения, характерная для жизни, биологический обмен веществ, который представляет собой основу жизненных процессов, происходящих в растительных организмах, является совокупностью большого количества биохимических и биофизических реакций в клетках, связанных в единое целое.

Современное естествознание расширило и конкретизировало определение сущности жизни, данное Ф. Энгельсом. Было выяснено, что развитие любых организмов тесно связано не только с белками, но и с нуклеиновыми кислотами ДНК и РНК — носителями наследственной информации об организме. Основными молекулами живых систем (организмов) являются биополимеры: белки (полипептиды) и ДНК и РНК (полинуклеотиды), а основной признак жизни — самовоспроизведение, самообновление белковых тел, в основе которого лежит саморепликация, т. е. удвоение молекулы ДНК с передачей рождающейся клетке генетической информации. В соответствии с этим академик В. И. Гольдманский даёт следующее определение сущности жизни: жизнь есть форма существования биополимерных тел (систем), способных к саморепликации в условиях постоянного обмена веществом и энергией с окружающей средой.

Обмен веществ состоит из ассимиляции и диссимиляции, т. е. включает процессы синтеза и распада. С помощью обмена веществ осуществляется взаимодействие организма с окружающей средой. Каждому организму свойственна наследственность, которая обеспечивает определённый порядок обмена веществ, исторически сложившийся под непосредственным влиянием внешних условий. Кроме того, растительный организм обладает свойством избирательности, которая выражается потребностью в определённых условиях, необходимых для его роста и развития

### 3. Биохимический состав растительной клетки

Клетка весьма сложная по химическому составу. Это и понятно, т.к. в ней протекают все жизненные процессы. В среднем в растительных клетках содержится на сырой вес 85% воды, 10 % белков, 0,4% ДНК, 0,7% РНК, 2% липидов и 0,4% других органических веществ. В каждой группе содержится десятки, сотни, а то и тысячи наименований

веществ. Неорганические вещества составляют 1,5% . Из 100 распространенный в земной коре элементов в растении постоянно встречается 20, а необходимых только 16. Абсолютно необходимые, без которых растения не растут и погибают, составляют всего 7.(N,F,S,K,Ca,Mg,Fe) В зависимости от состояния растительных клеток и их функций их химический состав варьирует. Так если взять соотношение органических и неорганических веществ на сухой вес, то оно составит 63% белков, 21% липидов, углеводов и других органических веществ 10% , минеральных веществ около 5-6%. Клетки специализированных органов, например семян пшеницы содержат 78% углеводов, 16% белков, 2% жиров и 2% минеральных веществ(зола).

Основными органическими веществами растительной клетки являются углеводы, белки, липиды, нуклеиновые кислоты. и их производные гликолипиды, липопотеиды.

Углеводы наиболее распространенные в растении и включают в себя моносахариды, олигосахариды, полисахариды. Специфичны для растений полисахариды :крахмалл, клетчатка (целлюлоза), пектиновые вещества.

Липиды – это жиры и жироподобные вещества. Они близки по химической природе животным, но различаются по биологической роли. Это гидрофобные вещества, не растворимые в воде, но растворимые в органических растворителях. Разделяются на 2 группы : жиры ( масла), запасная форма и жироподобные вещества – липоиды, отличающиеся по физиологическим функциям, химическим строением : фосфолипиды, воскá, стероиды, жирорастворимые витамины (D, E, A), липоидные пигменты : хлорофиллы, каротиноиды.

Белки. Каждый белок специфичен и функции их самые разнообразные, входят в состав, практически все структурные компоненты клетки и ферменты, катализирующие биохимические процессы обмена веществ.

Нуклеиновые кислоты, носители генетической информации, ответственных за регуляцию всех жизненных, как биохимических, так и физиологических процессов. В зависимости от выполняемой функции они делятся на ряд видов: ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота ; РНК (рибонуклеиновая кислота), которая разделяется на и-РНК – информационная или матричная РНК, РНК – транспортная РНК и рРНК – рибосомальная РНК.

#### 4.Структурная организация растительной клетки и физиологическая роль клеточных структур.

Типичная растительная клетка содержит хлоропласты и вакуоли и окружена целлюлозной клеточной стенкой.

Плазматическая мембрана (плазмалемма), окружающая растительную клетку, состоит из двух слоев липидов и встроенных в них молекул белков. Молекулы липидов имеют полярные гидрофильные «головки» и неполярные гидрофобные «хвосты». Такое строение обеспечивает избирательное проникновение веществ в клетку и из нее.

Клеточная стенка состоит Из целлюлозы, ее молекулы собраны в пучки микрофибрилл, которые скручены в макро-фибриллы. Прочная клеточная стенка позволяет поддерживать внутреннее давление - тургор.

Цитоплазма состоит из воды с растворенными в ней веществами и органоидов.

Хлоропласты - это органеллы, в которых происходит фотосинтез; различают зеленые хлоропласты, содержащие хлорофилл, хромопласты, содержащие желтые и оранжевые пигменты, а также лейкопласты - бесцветные пластиды.

Для растительных клеток характерно наличие вакуоли с клеточным соком, в котором растворены соли, сахара, органические кислоты. Вакуоль регулирует тургор клетки.

Аппарат Гольджи - это комплекс плоских полых цистерн и пузырьков, где синтезируются полисахариды, входящие в состав клеточной стенки.

Митохондрии - двухмембранные тельца, на складках их внутренней мембраны - кристах - происходит окисление органических веществ, а освободившаяся энергия используется для синтеза АТФ.

Гладкий эндоплазматический ретикулум - место синтеза липидов.

Шероховатый эндоплазматический ретикулум связан с рибосомами, осуществляет синтез белков.

Лизосомы - мембранные тельца, содержащие ферменты внутриклеточного пищеварения. Переваривают вещества, избыточные органеллы (аутофагия) или целые клетки (аутолиз).

Ядро - окружено ядерной оболочкой и содержит наследственный материал - ДНК со связанными с ней белками - гистонами (хроматин). Ядро контролирует жизнедеятельность клетки. Ядрышко - место синтеза молекул т-РНК, р-РНК и рибосомных субъединиц. Хроматин содержит кодированную информацию для синтеза белка в клетке. Во время деления наследственный материал представлен хромосомами.

Плазмодесмы (поры) - мельчайшие цитоплазматические каналы, пронизывающие клеточные стенки и объединяющие соседние клетки.

Микротрубочки состоят из белка тубулина и расположены около плазматической мембраны. Они участвуют в перемещении органелл в цитоплазме, во время деления клетки формируют веретено деления.

## 5. Проницаемость клетки. Клетка как открытая система

Проницаемость — способность тканей, клеток и субклеточных структур (ядра клетки и др.) пропускать газы, воду и различные вещества. Проникновение веществ через биологические мембраны происходит пассивно или путем активного переноса с участием специальных механизмов. Проницаемость мембран для различных агентов зависит как от физико-химических свойств последних, так и от особенностей самих мембран. Нарушения проницаемости могут возникать в результате действия разнообразных повреждающих факторов: высокой и низкой температуры, облучения, некоторых веществ, недостатка кислорода, витаминов, гормонов и т. д. Нарушения проницаемости играют важную роль в патогенезе многих болезненных процессов: воспаления, инфекционных заболеваний, нарушений выделительных процессов и др. Изменения проницаемости могут быть как проявлением защитной реакции, так и причиной многих тяжелых расстройств.

Клетка — открытая система, связанная с окружающей средой обменом веществ и энергии. Это функциональная система, в которой каждая молекула выполняет определенные функции. Клетка обладает устойчивостью, способностью к саморегуляции и самовоспроизводству.

Благодаря наличию потока информации клетка на основе многовекового эволюционного опыта предков приобретает структуру, отвечающую критериям живого, поддерживает ее во времени, а также передает в ряду поколений. В потоке информации участвуют ядро (конкретно ДНК хромосом), макромолекулы, переносящие информацию в цитоплазму (мРНК), цитоплазматический аппарат трансляции (рибосомы и полисомы, тРНК, ферменты активации аминокислот). На завершающем этапе этого потока полипептиды, синтезированные на полисомах, приобретают третичную и четвертичную структуры и используются в качестве катализаторов или структурных белков. Кроме основного по объему заключенной информации ядерного генома в эукариотических клетках функционируют также геномы митохондрий, а в зеленых растениях — и хлоропластов.

## 1.2 Лекция 2 (Л-2). Водный обмен растений. (2 часа)

### 1.2.1 Вопросы лекции:

1. Понятие о водообмене растений. Содержание, состояние и физиологическая роль воды в растениях.

2. Специфические физические и химические свойства воды.

3. Корневая система как орган поглощения воды.

4. Транспорт воды в растениях

### **1.2.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Понятие о водообмене растений. Содержание, состояние и физиологическая роль воды в растениях

Вода является основной составной частью растительных организмов. Ее содержание достигает до 95% от массы организма, и она участвует прямо или косвенно во всех жизненных процессах. Вода — это та внутренняя среда, в которой протекает обмен веществ. Она осуществляет связь органов, координирует их деятельность в целостном растении. Вода входит в состав мембран и клеточных стенок, составляет основную часть цитоплазмы, поддерживает ее структуру, устойчивость входящих в состав цитоплазмы коллоидов, обуславливает определенную конформацию молекул белка. Высокое содержание воды придает содержимому клетки (цитоплазме) подвижный характер. Являясь растворителем, вода обеспечивает транспорт веществ по растению и циркуляцию растворов. Вода — непосредственный участник многих химических реакций. Все реакции гидролиза, многочисленные окислительно-восстановительные реакции (фотосинтез, дыхание) идут с участием воды. Вода защищает растительные ткани от резких колебаний температуры. Обеспечивает упругое тургесцентное состояние растений, с чем связано поддержание формы травянистых растений, ориентация органов в пространстве.

Водный ток обеспечивает связь между отдельными органами. Насыщенность клеток водой — тургор — обеспечивает прочность тканей и транспорт питательных веществ по растению.

По растению вода передвигается из области с высоким водным потенциалом (из почвы) в область с низким водным потенциалом (атмосфера) по градиенту водного потенциала.

Непрерывный водный ток растения начинается с поглощения воды поверхностью корней, проходит через все растение и заканчивается на испаряющейся поверхности листьев.

Водообмен растений складывается из трех этапов:

1. Поглощение воды корнем
2. Передвижение по сосудам
3. Испарение воды листьями

2. Специфические физические и химические свойства воды.

1. Поверхностное натяжение — это степень сцепления молекул воды друг с другом. Органические и неорганические соединения растворяются в жидких средах, содержащих воду, поэтому поверхностное натяжение потребляемой нами воды имеет большое значение. Любая жидкость в организме содержит воду и, так или иначе, участвует в реакциях

2. Кислотно-щелочное равновесие воды. Основные жизненные среды (кровь, лимфа, слюна, межклеточная жидкость, спинномозговая жидкость и др.) имеют слабощелочную реакцию. При сдвигах их в кислую сторону, меняются биохимические процессы, организм закисляется. Это ведет к развитию болезней.

3. Окислительно-восстановительный потенциал воды. Это способность воды вступать в биохимические реакции. Она определяется наличием свободных электронов в воде. Это очень важный показатель для организма человека.

4. Жесткость воды — наличие в ней различных солей.

5. Температура воды определяет скорость протекания биохимических реакций.
6. Минерализация воды. Наличие в воде макро- и микроэлементов необходимо для жизнедеятельности организма человека. Жидкости организма представляют собой электролиты, восполняемые минералами, в том числе и за счет воды.
7. Экология воды - химическое загрязнение и биогенное загрязнение. Чистота воды - наличие в ней примесей, бактерий, солей тяжелых металлов, хлора и др.
8. Структура воды. Вода представляет собой жидкий кристалл. Диполи молекулы воды ориентируются в пространстве определенным образом, соединяясь в структурные конгломераты. Это позволяет жидкости составлять единую биоэнергоинформационную среду. Когда вода находится в состоянии твердого кристалла (льда), молекулярная решетка жестко ориентирована. При таянии разрываются жесткие структурные молекулярные связи. И часть молекул, высвобождаясь, образует жидкую среду. В организме вся жидкость структурирована особым образом.
9. Информационная память воды. За счет структуры кристалла происходит запись информации, исходящей от биополя. Это одно из очень важных свойств воды, имеющее большое значение для всего живого.

### 3. Корневая система как орган поглощения воды

Основной источник влаги для растений — вода, находящаяся в почве, и основным органом поглощения воды является корневая система. Роль этого органа прежде всего заключается в том, что благодаря огромной поверхности обеспечивается поступление воды в растение из почвы. Сформировавшаяся корневая система представляет собой сложный орган с хорошо дифференцированной внешней и внутренней структурой. Общая поверхность корней обычно превышает поверхность надземных органов в 140—150 раз. Подсчитано, что число корней у однолетних сеянцев яблони достигает 45 тыс. Корневые системы даже однолетних хлебных злаков проникают в почву на глубину 1,5—2 м. При выращивании одиночного растения ржи было установлено, что общая длина его корней может достигать 600 км, при этом на них образуется 15 млрд корневых волосков. Эти данные говорят об огромной потенциальной способности к росту корневых систем. Однако при росте растений в фитоценозах, размеры их корневых систем заметно уменьшаются.

### 4. Транспорт воды в растении

Вода, поступившая в клетки корня под влиянием разности водных потенциалов, которые возникают благодаря транспирации и корневого давления, передвигается до проводящих элементов ксилемы. Согласно современным представлениям, вода в корневой системе может перемещаться в радиальном направлении тремя путями: апопластическим, симпластическим, трансмембранным. Еще в 1932 г. немецкий физиолог Э. Мюнх высказал мнение о существовании в корневой системе двух относительно независимых друг от друга объемов, по которым передвигается вода,—апопласта и симпласта. При транспорте по апопласту вода передвигается по клеточным стенкам, не проходя через мембраны. При симпластном транспорте вода проникает в клетку через полупроницаемую мембрану и далее перемещается по протопластам клеток, которые соединены между собой многочисленными плазмодесмами. При трансмембранном транспорте вода перетекает через клетки и при этом проходит, по крайней мере, две плазматические мембраны. Уже обсуждалось, что в последнее время много внимания уделяется аквапоринам — мембранным белкам, образующим в мембранах специализированные водные каналы и определяющим проницаемость для воды. Эксперименты показали, что передвижение воды по коре корня идет главным образом по апопласту, где она встречает меньшее сопротивление, и лишь частично по симпласту (С. Френч). Апопластный путь прерывается в эндодерме в связи с наличием поясков Каспари. Вместе с тем в апикальной части суберинизация отсутствует, поэтому вода



легко проникает через эндодерму. Кроме того, в суберинизированных частях корня вода может проходить через пропускные клетки.

### **1.3 Лекция 3(Л-3). Значение воды для формирования урожая с.х. культур (2 часа)**

#### **1.3.1 Вопросы лекции:**

1. Транспирация, ее размеры и биологическое значение. Показатели транспирации.
2. Водный баланс, водный дефицит и завядание, их влияние на физиологическое состояние растений.
3. Влияние внешних факторов на поступление воды в растение.
4. Физиологические основы орошения.
5. Динамика содержания воды в хранящейся продукции растениеводства.

#### **1.3.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Транспирация, ее размеры и биологическое значение. Показатели транспирации. Количество воды, испаряемой растением, во много раз превосходит объем содержащейся в нем воды. Экономный расход воды составляет одну из важнейших проблем сельскохозяйственной практики. К.А. Тимирязев назвал транспирацию в том объеме, в каком она идет, «необходимым физиологическим злом». Действительно, в обычно протекающих размерах транспирация не является необходимой. Так, если выращивать растения в условиях высокой и низкой влажности воздуха, то, естественно, в первом случае транспирация будет идти со значительно меньшей интенсивностью. Однако рост растений будет одинаков или даже лучше там, где влажность воздуха выше, а транспирация меньше. Вместе с тем транспирация в определенном объеме полезна растительному организму:

1. Транспирация спасает растение от перегрева, который ему грозит на прямом солнечном свете. Температура сильно транспирирующего листа может примерно на 7°C быть ниже температуры листа завядающего, нетранспирирующего. Это особенно важно в связи с тем, что перегрев, разрушая хлоропласты, резко снижает процесс фотосинтеза (оптимальная температура для процесса фотосинтеза 20—25°C). Именно благодаря высокой транспирирующей способности многие растения хорошо переносят повышенную температуру.
2. Транспирация создает непрерывный ток воды из корневой системы к листьям, который связывает все органы растения в единое целое.
3. С транспирационным током передвигаются растворимые минеральные и частично органические питательные вещества, при этом чем интенсивнее транспирация, тем быстрее идет этот процесс.

2. Водный баланс, водный дефицит и завядание, их влияние на физиологическое состояние растений.

Для своего нормального существования клетки и растительный организм в целом должны содержать определенное количество воды. Однако это легко осуществимо лишь для растений, произрастающих в воде. Для сухопутных растений эта задача осложняется тем, что вода в растительном организме непрерывно теряется в процессе испарения. Испарение воды растением достигает огромных размеров. Можно привести такой пример: одно растение кукурузы испаряет за вегетационный период до 180 кг воды, а 1 га леса в Южной Америке испаряет в среднем за сутки 75 тыс. кг воды. Огромный расход воды связан с тем, что большинство растений обладает значительной листовой поверхностью, находящейся в атмосфере, не насыщенной парами воды. Вместе с тем развитие обширной поверхности листьев необходимо и выработалось в процессе длительной эволюции для обеспечения нормального питания углекислым газом, содержащимся в воздухе в ничтожной концентрации (0,03%). В своей знаменитой книге «Борьба растений с засухой» К.А. Тимирязев указывал, что противоречие между необходимостью улавливать

углекислый газ и сокращать расходование воды наложило отпечаток на строение всего растительного организма.

Для того чтобы возместить потери воды при испарении, в растение должно непрерывно поступать большое ее количество. Непрерывно идущие в растении два процесса — поступление и испарение воды — называют водным балансом растений. Для нормального роста и развития растений необходимо, чтобы расход воды примерно соответствовал приходу, или, иначе говоря, чтобы растение сводило свой водный баланс без большого дефицита. Для этого в растении в процессе естественного отбора выработались приспособления к поглощению воды (колоссально развитая корневая система), к передвижению воды (специальная проводящая система), к сокращению испарения (система покровных тканей и система автоматически закрывающихся устьичных отверстий). Несмотря на все указанные приспособления, в растении часто наблюдается водный дефицит, т. е. поступление воды не уравнивается ее расходом в процессе транспирации. Физиологические нарушения наступают у разных растений при разной степени водного дефицита. Есть растения, выработавшие в процессе эволюции разнообразные приспособления к перенесению обезвоживания (засухоустойчивые растения). Выяснение физиологических особенностей, определяющих устойчивость растений к недостатку воды,— важнейшая задача, разрешение которой имеет большое не только теоретическое, но и сельскохозяйственное практическое значение. Вместе с тем, для того чтобы ее решить, необходимо знание всех сторон водообмена растительного организма.

### 3. Влияние внешних факторов на поступление воды в растение.

Еще в 1864 г. Ю. Сакс установил, что поступление воды через корневые системы зависит от температуры. С понижением температуры скорость поступления воды резко сокращается. Это может оказать заметное влияние на растительный организм, особенно в осенний период, когда испарение идет еще достаточно интенсивно, а поступление воды задерживается из-за пониженной температуры почвы. В результате растения завядают и даже могут погибнуть от обезвоживания. Причин, по которым понижение температуры вызывает уменьшение поступления воды, по-видимому, несколько:

- 1) повышается вязкость воды и, как следствие, снижается ее подвижность;
- 2) уменьшается проницаемость цитоплазмы для воды;
- 3) тормозится рост корней;
- 4) уменьшается скорость всех метаболических процессов.

Последнее обстоятельство, по-видимому, должно сказаться косвенно, через уменьшение поступления солей и, как следствие, торможение работы нижнего концевой двигателя (корневого давления). Торможение поступления воды в корневую систему при действии пониженной температуры можно легко продемонстрировать в простом опыте. Так, если положить кусок льда на поверхность почвы в сосуде с растением, то в условиях интенсивной транспирации растение через два часа обнаружит признаки завядания. Если затем удалить лед, то растение снова приобретет тургор.

Снижение аэрации почвы также тормозит поступление воды. Это можно наблюдать, когда после сильного дождя все промежутки почвы заполнены водой и вместе с тем на солнце при сильном испарении растения завядают. Это связано с тем, что все условия, снижающие метаболизм (недостаток кислорода, избыток  $\text{CO}_2$ , дыхательные яды) снижают поступление ионов и, как следствие, уменьшают поступление воды. Вместе с тем исследования показали, что особенно резкое подавление поступления воды происходит при увеличении содержания  $\text{CO}_2$ . Возможно, избыток углекислого газа помимо ингибирования дыхания, повышает вязкость воды, снижает проницаемость цитоплазмы. Большое значение имеет содержание воды в почве, а также концентрация почвенного раствора. Естественно, вода поступает в корень только тогда, когда водный потенциал

корня ниже (более отрицателен) водного потенциала почвы. В том случае, если почвенный раствор имеет более отрицательный осмотический потенциал, вода не только не будет поступать в корень, но будет выделяться из него. Особенное значение это имеет для засоленных почв. Именно поэтому растения, растущие на этих почвах (галофиты), имеют резко отрицательный осмотический потенциал.

#### 4. Физиологические основы орошения.

Наиболее радикальным способом борьбы с засухой является орошение. Однако для правильного применения этого приема, установления сроков и норм полива необходимы методы, позволяющие определять нуждаемость растений в воде. Это особенно важно потому, что как избыточное, так и недостаточное орошение не только не дает положительного эффекта, но может привести к отрицательным результатам. При избыточном орошении растение не успевает использовать даваемую ему воду. Избыток воды уплотняет, а иногда даже заболачивает почву и тем самым резко ухудшает снабжение корней кислородом. Часто наблюдается также засоление почвы. Вода, проникая в глубокие слои почвы, богатые солями, растворяет их, раствор солей поднимается вверх по капиллярам. Как следствие концентрация солей в пахотном горизонте растет. Большинство культурных растений очень чувствительно к концентрации солей. В результате из-за неправильного пользования поливной водой приходится забрасывать обширные пространства плодородных земель с дорогостоящими оросительными сооружениями. Недостаточные поливы также могут привести к нежелательным последствиям. При длительных межполивных периодах растения периодически попадают в условия засухи. Растения, получившие полив, развивают большую листовую поверхность и теряют значительное количество воды в процессе транспирации, вся их структура уклоняется в сторону большей влаголюбивости. Такие растения требуют больше влаги и при перерывах в водоснабжении страдают сильнее по сравнению с растениями, совсем не получившими полива. Таким образом, сроки и нормы полива (схема орошения) должны быть таковы, чтобы растения не испытывали недостатка в воде и в то же время чтобы они успевали израсходовать почти всю данную им за полив воду. Для правильного расчета общей поливной нормы предложены разные методы. Однако прежде всего нужно исходить из необходимости восполнить дефицит в воде, т. е. разницу между общим водопотреблением и естественными ресурсами влаги в данном районе. Водопотребление — это суммарный расход воды (транспирация + испарение почвой) за вегетационный период.

Для определения нуждаемости растений в воде могут быть использованы различные показатели:

- 1) содержание воды в листьях;
- 2) степень открытости устьиц;
- 3) интенсивность транспирации;
- 4) величина водного потенциала.

Особенно следует рекомендовать определение степени открытости устьиц методом инфильтрации. Этот метод основан на проникновении органических жидкостей (спирта, ксилола, бензола) и легко осуществим в полевых условиях. Для получения максимальной продуктивности растений устьица должны оставаться открытыми в течение всего дня. Хорошие результаты дает также определение потребности растений в воде по концентрации клеточного сока, которую можно определить с помощью рефрактометра. Надо учитывать, что орошение оказывает глубокое влияние не только на водный режим почвы, но и на приземный климат. С помощью орошения можно изменить микроклимат в сторону, благоприятную для растений. С этой точки зрения большое значение имеет введение освежительных поливов малыми нормами (дождевание). Эти поливы повышают влажность и снижают температуру приземного воздуха, что положительно влияет на

растение. Применение орошения требует особенно тщательной регулировки питания растений.

#### 5. Динамика содержания воды в хранящейся продукции растениеводства.

Вода является составной частью как самих растений, так и их плодов и семян. В живом растении вода составляет до 95% от массы его. Но это совсем мало, по сравнению с тем, сколько расходует растение, пока вырастет и даст урожай.

Потребность в воде, у различных растений, для того, чтобы осуществить свой цикл развития, только на испарение (транспирацию) самими растениями и испарение с поверхности почвы в сравнении с наземной массой, в сотни раз больше, чем вес воды, содержащейся во взрослом растении и его плодах

Вода поступает в растение из почвы через корневые волоски и молодые части корней и по сосудам разносится по всей его надземной части. В вакуолях растительных клеток растворены различные вещества. Молекулы этих веществ, растворенные в клеточном соке, оказывают давление на цитоплазму, которая хорошо пропускает воду, но препятствует прохождению через нее растворенных в воде частиц. Давление растворенных в воде веществ на цитоплазму называется осмотическим давлением. Вода, поглощенная растворенными в клеточном соке веществами, также оказывает давление на цитоплазму и растягивает до известного предела эластичную оболочку клетки. Клеточный сок с растворенными в нем веществами постоянно поддерживает растительную ткань в напряженном состоянии, и лишь при большой потере воды, при завядании, это напряжение (тургор) в растении исчезает.

### 1.4 Лекция 4 (Л-4). Фотосинтез как основа биоэнергетики биосферы (2 часа)

#### 1.4.1 Вопросы лекции:

1. Планетарная роль фотосинтеза.
  2. Окислительно-восстановительная функция фотосинтеза .
  3. Лист как орган фотосинтеза.
- Пигменты хлоропластов. Химические и оптические свойства хлорофилла.
4. Современная теория фотосинтеза. Световая и темновая фазы фотосинтеза.
  5. Особенности фотосинтеза у  $C_3$  и  $C_4$  растений.
6. Зависимость фотосинтеза от внутренних и внешних факторов.
  7. Показатели фотосинтеза.

#### 1.4.2 Краткое содержание вопросов:

1. Планетарная роль фотосинтеза.

Фотосинтез — это процесс, при котором энергия солнечного света превращается в химическую энергию. В самом общем виде это можно представить следующим образом: квант света ( $h\nu$ ) поглощается хлорофиллом, молекула которого переходит в возбужденное состояние, при этом электрон переходит на более высокий энергетический уровень. В клетках зеленых растений в процессе эволюции выработался механизм, при котором энергия электрона, возвращающегося на основной энергетический уровень, превращается в химическую энергию. Только с помощью зеленых растений энергия Солнца может накапливаться в виде энергии химических связей. Большая часть энергии, используемой человеком на заводах и фабриках, т. е. энергия, благодаря которой происходит движение различных механизмов, машин и самолетов,— это все энергия Солнца, преобразованная в зеленом листе. Запасание энергии в результате фотосинтеза происходит на различные промежутки времени: от минут, часов до сотен миллионов лет (достаточно вспомнить образование торфа и каменного угля в результате разложения растений).

В процессе фотосинтеза из простых неорганических соединений ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ) строятся различные органические вещества. В результате происходит перестройка химических связей: вместо связей  $C-O$  и  $H-O$  возникают связи  $C-C$  и  $C-H$ , в которых

электроны занимают более высокий энергетический уровень. Таким образом, богатые энергией органические вещества, которыми питаются и за счет которых получают энергию (в процессе дыхания) животные и человек, первоначально создаются в зеленом листе. Можно сказать, что практически вся живая материя на Земле является результатом фотосинтетической деятельности.

## 2. Окислительно-восстановительная функция фотосинтеза .

Окислительно-восстановительную сущность фотосинтеза (как кислородного, так и анакислородного) постулировал Корнелис ван Ниль. Это означало, что кислород в фотосинтезе образуется полностью из воды, что экспериментально подтвердил в 1941 г. А. П. Виноградов в опытах с изотопной меткой. В 1937 г. Роберт Хилл установил, что процесс окисления воды (и выделения кислорода), а также ассимиляции  $\text{CO}_2$  можно разобщить. В 1954—1958 гг. Д. Арнон установил механизм световых стадий фотосинтеза, а сущность процесса ассимиляции  $\text{CO}_2$  была раскрыта Мелвином Кальвином с использованием изотопов углерода в конце 1940-х гг., за эту работу в 1961 г. ему была присуждена Нобелевская премия.

В 1955 году был выделен и очищен фермент рибулозобисфосфат-карбоксилаза/оксигеназа.  $\text{C}_4$  фотосинтез был описан Ю. С. Карпиловым в 1960 г. и М. Д. Хэтчем и К. Р. Слэком в 1966 г.

## 3. Лист как орган фотосинтеза. Пигменты хлоропластов. Химические и оптические свойства хлорофилла.

Лист растения - это основной орган растения, где проходит процесс фотосинтеза. Поскольку в основном лист покрыт малопроницаемой для газов кутикулой, то поступление  $\text{CO}_2$  в ткани идет через устьица, а в тканях - через сильно разветвленную сеть межклеточных воздухоносных каналов.

К верхней стороне листа прилегает палисадная паренхима, клетки которой расположены перпендикулярно, плотно соприкасаются друг с другом и содержат много хлоропластов. Эта палисадная паренхима и является основной ассимиляционной тканью. К нижнему эпидермису прилегает губчатая паренхима с рыхло расположенными клетками и межклетниками. Кроме того, весь лист пронизан жилками, по которым идет перенос воды, минеральных ионов и ассимилятов.

В палисадной паренхиме нет ни одной клетки, которая отстояла бы от ближайшей к ней жилки дальше, чем на несколько клеточных диаметров.

Пройдя сквозь устьичный барьер, атмосферный  $\text{CO}_2$  растворяется в воде, гидратируется и превращается в угольную кислоту, а затем диссоциирует до бикарбонат-ионов ( $\text{HCO}_3^-$ ), запас которых и служит резервом потенциального  $\text{CO}_2$  для использования в фотосинтезе.

Поскольку основной тканью, поглощающей энергию солнца, является палисадная паренхима, содержащая максимальное количество хлоропластов, то, зная соотношение между площадью листа и площадью поверхности хлоропластов, можно приблизительно определить и поглощающую способность посевов. Так, на 1 га посева в среднем приходится 5 га листовой поверхности, то есть 1000 га поверхности хлоропластов, так как 1  $\text{см}^2$  листовой поверхности соответствует 200  $\text{см}^2$  поверхности хлоропластов. При этом площадь поверхности межклетников, испаряющих воду составляет 50 га. В этом проявляется общебиологический закон - создание внутренних рабочих поверхностей при сравнительно малых наружных испаряющих площадях за счет затрат небольших количеств материала.

Хлоропласты содержатся только в эукариотических (ядерных) клетках зеленых растений. В клетках фотосинтезирующих прокариотов - бактерий фотосинтезирующие системы расположены в пластинчатых структурах - хроматофорах, которые содержат почти те же элементы фотосинтетического аппарата, что и хлоропласты. Напомним, что хлоропласты имеют шаровидную или дисковидную форму, и размеры их не превышают 10 мкм. Число их в клетках разных видов водорослей и высших растений варьирует от 1

до 40 на клетку. Хлоропласты окружены наружной мембраной, а внутренняя мембрана образует уложенные стопками плоские пузырьки - тилакоиды. Такие стопки тилакоидов называют гранами. В гранах находятся все фотосинтетические структуры. Ферменты, восстанавливающие углекислый газ до глюкозы, находятся в основном в строме, окружающей тилакоиды. Хлоропласты можно изолировать из листьев растений, исследовать в таких хлоропластах фотосинтез и выделить из них компоненты фотосинтезирующих систем. Так была установлена природа поглощающих свет пигментов в составе хлоропластов. Основным пигмент хлоропластов - хлорофилл напоминает по строению пигмент красных кровяных клеток человека и животных - гем. Основой обеих структур является порфириновое кольцо, в котором четыре пиррольныхгетероцикла соединены между собой. В составе хлорофилла четыре атома азота пиррольных колец координированы с атомом магния, а в составе гема - с атомом железа. Подобные гему структуры имеются также в составе цитохромов переносчиков электронов в хлоропластах и митохондриях. Помимо хлорофилла в хлоропластах клеток разных видов растений и водорослей обнаруживают такие вспомогательные рецепторы световой энергии, как желтые каротиноиды и красные или синие фикобилины.

По химическому составу хлорофилл представляет сложный эфир дикарбоновой кислоты хлорофинилла. Хлорофинилл представляет собой азотосодержащее металлоорганическое соединение, относящееся к магний-порфиринам. В центре молекулы хлорофилла расположен атом магния, который соединён с четырьмя азотами пиррольных группировок. В пиррольных группировках хлорофилла имеется система чередующихся двойных и простых связей. Это и есть хромофорная группа хлорофилла, обуславливающая его окраску.

#### 4. Современная теория фотосинтеза. Световая и темновая фазы фотосинтеза.

В настоящее время известно, что фотосинтез проходит две стадии, но только одна из них – на свету. Доказательства двухстадийности процесса впервые были получены в 1905 году английским физиологом растений Ф.Ф. Блэклином, который исследовал влияние освещенности и температуры на объем фотосинтеза.

На основании экспериментов Блэклин сделал следующие выводы.

1. Имеется одна группа светозависимых реакций, которые не зависят от температуры. Объем этих реакций в диапазоне низких освещенностей мог возрастать с увеличением освещенности, но не с увеличением температуры.

2. Имеется вторая группа реакций, зависящих от температуры, а не от света. Оказалось, что обе группы реакций необходимы для осуществления фотосинтеза. Увеличение объема только одной группы реакций увеличивает объем всего процесса, но только до того момента, пока вторая группа реакций не начнет удерживать первую. После этого необходимо ускорить вторую группу реакций, чтобы первые могли проходить без ограничений.

Таким образом, было показано, что обе стадии светозависимы: «световая и темновая». Важно помнить, что темновые реакции нормально проходят на свету и нуждаются в продуктах световой стадии. Выражение «темновые реакции» просто означает, что свет как таковой в них не участвует.

Объем темновых реакций возрастает с увеличением температуры, но только до 30°, а затем начинает падать. На основании этого факта предположили, что темновые реакции катализируются ферментами, поскольку обмен ферментативных реакций, таким образом, зависит от температуры. Впоследствии оказалось, что данный вывод был сделан неправильно.

На первой стадии фотосинтеза (световые реакции) энергия света используется для образования АТФ (молекула аденозин-трифосфата) и высокоэнергетических переносчиков электронов. На второй стадии фотосинтеза (темновые реакции) энергетические продукты,

образовавшиеся в световых реакциях, используются для восстановления  $\text{CO}_2$  до простого сахара (глюкозы).<sup>1</sup>

Процесс фотосинтеза все больше и больше привлекает к себе внимание ученых. Наука близка к разрешению важнейшего вопроса – искусственного создания при помощи световой энергии ценных органических веществ из широко распространенных неорганических веществ. Проблема фотосинтеза усиленно разрабатывается ботаниками, химиками, физиками и другими специалистами.

#### 5. Особенности фотосинтеза у $\text{C}_3$ и $\text{C}_4$ растений.

В последнее время этот цикл стали называть  $\text{C}_3$  путем, или  $\text{C}_3$ -типом, фотосинтеза, а растения, осуществляющие реакции только этого цикла, называют  $\text{C}_3$ -растениями. Такие растения обычно растут в областях умеренного климата; оптимальная дневная температура для фиксации углекислого газа у этих растений составляет от  $+15$  до  $+25$  °C. Первый вариант — это  $\text{C}_4$ -путь (или  $\text{C}_4$ -тип фотосинтеза), называемый также циклом Хетча—Слэка. Растения, осуществляющие данный тип фотосинтеза, распространены в тропических и субтропических областях.

Второй вариант — процесс, известный под названием метаболизма органических кислот по типу толстянковых (МОКТ-или САМ-фотосинтез). Растения с таким типом фотосинтеза часто встречаются в засушливых пустынных областях.

$\text{C}_3$ -растения превращают  $\text{CO}_2$  в углеводы только в реакциях цикла Кальвина.  $\text{C}_4$  растения и МОКТ - растения также осуществляют цикл Кальвина, но в них поглощение и превращение его в углеводы включает в себя и другие реакции.  $\text{C}_4$ -растения и МОКТ-растения отличаются друг от друга природой этих дополнительных реакций, временем суток, когда они происходят, и тем, в каких клетках находятся вещества, участвующие в этих реакциях.

У  $\text{C}_3$ -растений фотосинтез происходит только в клетках мезофилла листа, а у  $\text{C}_4$ -растений — в клетках мезофилла и в клетках обкладки сосудистых пучков.

Исследования показали, что в растениях, в которых процесс фотосинтеза протекает по  $\text{C}_4$ -пути, имеются два типа клеток и хлоропластов:

- 1) мелкие гранальные пластиды в клетках мезофилла листа;
- 2) крупные пластиды, часто лишенные гран, в клетках обкладки, окружающих сосудистые пучки.

#### 6. Зависимость фотосинтеза от внутренних и внешних факторов.

Фотосинтез осуществляется в полуавтономных органеллах – хлоропластах. Однако он в значительной мере контролируется процессами, происходящими в растении, и факторами внешней среды.

- Отток ассимилятов. Накопление фотоассимилятов в хлоропластах и в околопластидном пространстве приводит к ингибированию ферментов, участвующих в фотосинтезе.

Содержание хлорофилла. С увеличением содержания в клетке хлорофилла увеличивается интенсивность фотосинтеза.

- Возраст листа и растения. В ходе роста листа интенсивность фотосинтеза увеличивается. После окончания роста листа она постепенно снижается. У многих однолетних растений интенсивность фотосинтеза достигает максимума в фазу бутонизации и цветения, а затем снижается.
- Свет. Имеется нижний порог освещенности, при котором растения начинают фотосинтезировать. Затем зависимость интенсивности фотосинтеза от освещенности имеет логарифмический характер с последующим выходом на плато. Угол наклона кривой зависимости интенсивности фотосинтеза от освещенности зависит от влияния других факторов. Так, у светолюбивых растений она выходит на плато при значительно более высокой освещенности, чем у теневыносливых растений. Уровень освещения, при котором поглощение  $\text{CO}_2$  в ходе фотосинтеза

равно выделению  $\text{CO}_2$  в процессе дыхания, называется компенсационным пунктом..

- Температура. При низкой освещенности фотосинтез идет с одинаковой скоростью при 15 и 25 $^{\circ}\text{C}$ . Это объясняется тем, что при низкой освещенности интенсивность фотосинтеза зависит от скорости световых реакций. При высокой освещенности интенсивность фотосинтеза лимитируется скоростью темновых реакций и  $Q_{10}$  примерно равен 2. Для большинства растения C3-типа оптимальная температура 20-25 $^{\circ}\text{C}$ , для растений C4-типа она равна 25-40 $^{\circ}\text{C}$ . При температуре выше оптимальной интенсивность фотосинтеза снижается из-за инактивации хлоропластов и закрытия устьиц.
- Содержание  $\text{CO}_2$  в воздухе. Повышение содержания  $\text{CO}_2$  с 0,03 % до 0,3 % вызывает увеличение интенсивности фотосинтеза. Дальнейшее возрастание концентрации  $\text{CO}_2$  до 1 % не сказывается на фотосинтезе, но более высокий уровень  $\text{CO}_2$  в воздухе приводит к депрессии фотосинтеза. Высокие концентрации  $\text{CO}_2$  особенно неблагоприятны при высокой освещенности, так как происходит ингибирование темновых реакций. Влияние содержания углекислого газа на фотосинтез зависит от вида растения.
- Минеральное питание. Исключение любого элемента минерального питания отрицательно сказывается на фотосинтезе. Особенно важны такие элементы как фосфор, магний, железо, марганец, медь, калий и азот. На всех этапах фотосинтеза участвуют фосфорилированные соединения. Калий активирует процессы фосфорилирования и участвует в открывании устьиц. Магний входит в состав хлорофиллов, активирует реакции карбоксилирования и восстановления НАДФ. Железо необходимо для синтеза хлорофиллов. Марганец участвует в фоторазложении воды. Медь входит в состав пластоцианина. Азот необходим для формирования хлоропластов и образования пигментов.

## 7. Показатели фотосинтеза.

Фотосинтез характеризуется следующими количественными показателями:

- интенсивностью фотосинтеза,
- продуктивностью фотосинтеза.

Интенсивность (скорость) фотосинтеза - это количество углекислого газа, которое усваивается единицей листовой поверхности за единицу времени. В зависимости от вида растения этот показатель колеблется от 5 до 25  $\text{мг CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{ч}$ .

Продуктивность фотосинтеза - это отношение суточного увеличения массы всего растения (в граммах) к площади листьев. В среднем эта величина составляет от 5 до 12 г сухого вещества на 1  $\text{м}^2$  листовой поверхности в сутки.

## 1.6 Лекция 6 (Л-6). Дыхание растений (2 часа)

### 1.6.1 Вопросы лекции:

1. Значение дыхания в жизни растений.
2. Ферменты дыхания и принципы окислительного фосфорилирования.
3. Дыхательный коэффициент растений.
4. Химизм дыхания. Гликолиз, цикл Кребса. Пентозофосфатный цикл.
5. Роль дыхания в управлении продукционными процессами и при хранении с.-х. продукции.

### 1.6.2 Краткое содержание вопросов:

1. Значение дыхания в жизни растений.



Дыхание — один из центральных процессов обмена веществ растительного организма. Выделяющаяся при дыхании энергия тратится как на процессы роста, так и на поддержание в активном состоянии уже закончивших рост органов растения. Вместе с тем значение дыхания не ограничивается тем, что это процесс, поставляющий энергию. Дыхание, подобно фотосинтезу, сложный окислительно-восстановительный процесс, идущий через ряд этапов. На его промежуточных стадиях образуются органические соединения, которые затем используются в различных метаболических реакциях. К промежуточным соединениям относят органические кислоты и пентозы, образующиеся при разных путях дыхательного распада. Таким образом, процесс дыхания — источник многих метаболитов. Несмотря на то, что процесс дыхания в суммарном виде противоположен фотосинтезу, в некоторых случаях они могут дополнять друг друга. Оба процесса являются поставщиками как энергетических эквивалентов (АТФ, НАДФ.Н<sup>+</sup>), так и метаболитов. Как видно из суммарного уравнения, в процессе дыхания образуется также вода. Эта вода в крайних условиях обезвоживания может быть использована растением и предохранить его от гибели. В некоторых случаях, когда энергия дыхания выделяется в виде тепла, дыхание ведет к бесполезной потере сухого вещества. В этой связи при рассмотрении процесса дыхания надо помнить, что не всегда усиление процесса дыхания является полезным для растительного организма.

## 2. Ферменты дыхания и принципы окислительного фосфорилирования.

Восстановленные формы НАД и ФАД окисляются ферментами дыхательной цепи, благодаря этому происходит присоединение фосфата к АДФ, т.е. фосфорилирование. Поэтому весь окислительно-восстановительный процесс целиком получил название окислительное фосфорилирование. Дыхательная цепь включает множество белков-переносчиков. Всего цепь переноса электронов включает в себя множество разнообразных белков, которые организованы в 4 большие мембраносвязанные ферментные комплексы. Также существует еще один комплекс, участвующий не в переносе электронов, а синтезирующий АТФ. Его называют 5 комплексом. Строение ферментативных комплексов дыхательной цепи. 1 комплекс. НАДН-КоQ-оксидоредуктаза. Этот комплекс также имеет рабочее название НАДН-дегидрогеназа. Состоит из 42 полипептидных цепей, содержит флавопротеины (ФМН), и 6 железосерных белков с общей молекулярной массой до 900 кДа. Функция: Принимает электроны от НАДН и передает их на коэнзим Q (убихинон). Переносит 4 иона Н<sup>+</sup> на наружную поверхность внутренней митохондриальной мембраны 2 комплекс. ФАД-КоQ-оксидоредуктаза. Сукцинатдегидрогеназа данный комплекс как таковой не существует, его выделение условно. Он включает в себя ФАД-зависимые ферменты, расположенные во внутренней мембране митохондрий — такие как:

- сукцинатдегидрогеназа (единственный фермент ЦТК встроенный в мембрану),
- ацил-КоА-дегидрогеназа (окисление жирных кислот),
- глицерол-3-фосфат-дегидрогеназа (челночный механизм переноса НАДН в митохондрию).

Функция: Восстановление ФАД в окислительно-восстановительных реакциях, обеспечивающих передачу электронов от ФАДН<sub>2</sub> на железосерные белки внутренней мембраны митохондрий и далее на коэнзим Q.

## 3. Дыхательный коэффициент растений.

Отношение объема выделяемого из организма углекислого газа к объему поглощаемого за то же время кислорода. Обозначается:

$$\frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{O}_2}}; \text{ ДК}; \text{ RQ}; \text{ R}$$

Определение ДК важно для исследования особенностей Газообмена и обмена веществ у животных и растительных организмов. При окислении в организме углеводов и полном доступе кислорода ДК равен 1, жиров — 0,7, белков — 0,8. У здорового человека в покое ДК равен  $0,85 \pm 0,1$ ; при умеренной работе, а также у животных, питающихся преимущественно растительной пищей, приближается к 1. У человека при очень длительной работе, голодании, у плотоядных животных (хищников), а также при спячке, когда из-за ограниченности запасов углеводов в организме усиливается диссимиляция жиров, ДК составляет около 0,7. ДК превышает 1 при интенсивном отложении в организме жиров, образующихся из поступающих с пищей углеводов (например, у человека при восстановлении нормального веса после голодания, после длительных заболеваний, а также у животных при откорме). До 2 ДК возрастает при усиленной работе и гипервентиляции лёгких, когда из организма выделяется дополнительно  $\text{CO}_2$ , находившийся в связанном состоянии. Ещё больших величин ДК достигает у анаэробов, у которых большая часть выделяемого  $\text{CO}_2$  образуется путём бескислородного окисления (брожения). ДК ниже 0,7 бывает при заболеваниях, связанных с нарушениями обмена веществ, после тяжёлой физической работы. У растений ДК зависит от химической природы дыхательного субстрата, содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в атмосфере и др. факторов, характеризуя, т. о., специфику и условия дыхания. При использовании клеткой для дыхания углеводов (проростки злаков) ДК равен примерно 1, жиров и белков (прорастающие семена масличных и бобовых) — 0,4—0,7. При недостатке  $\text{O}_2$  и затруднённом его доступе (семена с твёрдой оболочкой) ДК равен 2—3 и более; высокий ДК характерен также для клеток точек роста.

#### 4. Химизм дыхания. Гликолиз, цикл Кребса. Пентозофосфатный цикл.

На основании современных представлений общую схему дыхания можно представить в следующем виде: Процесс дыхания состоит из двух этапов. Первый - анаэробный (гликолиз), в результате которого углеводы распадаются до ПВК. Второй этап может протекать двумя путями: при аэробных условиях - до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  и при анаэробных условиях до спирта или др. соединений. На преобразование 1 молекулы глюкозы в 2 молекулы ПВК затрачивается 2 молекулы АТФ (подготовительная фаза). При окислении ФГА до ФГК восстанавливается 2 молекулы НАД ( $2 \times 3 = 6$  АТФ). При 1 и 2 субстратном фосфорилировании образуется 4 АТФ. Итого  $4 + 6 = 10 - 2 = 8$  АТФ  $\times 40$  кДж (10 ккал) = 335 кДж/моль (80 ккал). Пентозофосфатный цикл (или гексозомонофосфатный шунт), часто называют анатомическим окислением, в отличие от гликолитического или дихотомического, при котором образуется 2 триозы. Активно идет в тех клетках и тканях растений, где активно синтезируются такие вещества, как НК, липиды, компоненты клеточных стенок, фенольные соединения. Протекает в анаэробных условиях. Его условно можно разделить на две фазы: окислительную и рекомбинации сахаров и регенерации исходного субстрата. Аэробная фаза может быть разделена на три этапа: окислительное декарбоксилирование ПВК, цикл Кребса, окислительное фосфорилирование.

1. Окислительное декарбоксилирование ПВК: в окислительном декарбоксилировании ПВК участвуют пируватдегидрогеназный мультиферментный комплекс в состав которого входят ферменты - дегидролипилтрансацилаза, пируватдекарбоксилаза, дегидролипилдегидрогеназа, коферментами которых являются ТПФ, липоевая кислота, ФАД, НАД и КоА. В результате образуется ацетил КоА, выделяется первая молекула  $\text{CO}_2$  и восстанавливается НАД зависимая дегидрогеназа.
2. Цикл ди- и трикарбоновых кислот: цикл протекает в строме митохондрий, включает совокупность реакций в ходе которых происходят декарбоксилирование и дегидрирование ди- и трикарбоновых кислот. В цикле Кребса кислород воздуха

участие не принимает. Однако в цикле принимает участие кислород воды (мокрое окисление).

#### 5. Роль дыхания в управлении продукционными процессами и при хранении с.-х. продукции

Наиболее широко распространенным и важным приемом регуляции дыхания является регуляция состава газовой среды. Так, увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере ведет не только к увеличению интенсивности фотосинтеза, но и, автоматически, к уменьшению интенсивности процесса дыхания, что, безусловно, способствует повышению урожая культур в защищенном грунте. Особенно важным процессом в практике сельского хозяйства является процесс сохранения семян, плодов, корнеплодов, клубней как семенного, так и продовольственного назначения. Сохранность указанной продукции обеспечивается соблюдением определенного режима влажности и температуры, а также газового состава среды и использованием ряда регуляторов роста. При этом все физиологические процессы внутри семян, корнеплодов, клубней, плодов снижаются до минимума, что и обеспечивает долгий период их сохранности. Очень важным моментом является закладка на хранение хорошо вызревших плодов, корнеплодов, клубней, семян. Недозрелые органы при дыхании переходят на систему анаэробного разложения органических веществ, накапливают этиловый спирт, ацетальдегид, поэтому их вкус значительно ухудшается и хранятся они хуже, быстрее заболевают, теряют нужные качества: всхожесть, способность к прорастанию. Регуляция дыхания семян, регуляция дыхания плодов. Поглощение воды и минеральных веществ растением непосредственно не связано друг с другом. Поэтому поглощение воды не может вызвать поглощения солей, а поглощение ионов может вызвать изменения в оводненности протоплазматических структур и повлечь за собой поглощение воды. Определяющим условием поглощения растениями минеральных элементов является поглощающая способность почвы. Вопросы поглощения почвой различных ионов были изучены русским ученым Гедройцем. Согласно его теории катионы в коллоидах почвы способны обмениваться с катионами почвенного раствора. Эти катионы называются поглощенными или обменными, а общее их количество на 100 г почвы (в мг/экв) называется емкостью поглощения или емкостью обмена. Адсорбция и удерживание растворимых веществ - это свойство почвы, которое называется поглощающей способностью. Эта способность определяется коллоидной частью почвы, которая называется почвенным поглощающим комплексом. От состава обменных катионов зависят свойства почвы.

### 1.7 Лекция 7 (Л-7). Минеральное питание растений (2 часа)

#### 1.7.1 Вопросы лекции:

1. Химический элементный состав живых организмов..
2. Макро- и микроэлементы их физиологическая роль.
3. Корневое и некорневое питание.
4. Поглощение, транспорт, распределение, реутилизация элементов минерального питания.
5. Проблема нитратов и тяжёлых металлов при получении растениеводческой продукции.

#### 1.7.2 Краткое содержание вопросов:

1. Химический элементный состав живых организмов.

Девять химических элементов - углерод, водород, кислород, фосфор, калий, кальций, магний, серебро и железо - составляют около 99% живого веса растений, животных и человека и называются макроэлементами. Остальные химические элементы, составляющие 1-2%, называются микроэлементами. Это - кобальт, йод, марганец, цинк, медь, бор, молибден, мышьяк и др. Они содержатся в 100-х и 100.000-х долях процента.

Элементы, содержание которых в организме составляет миллионные и миллиардные доли процента, называются ультрамикроэлементами. Так, недостаток фтора в питьевой воде вызывает кариес зубов, а избыток приводит к крапчатости зубной эмали и разрушению зубов. Недостаток кобальта вызывает развитие малокровия, а высокие дозы - отравление. Микроэлементы и их комплексы, содержащиеся в растениях, обычно не вызывают побочных токсичных действий даже при их избытке. В тканях организма человека происходит избирательное накопление ряда микроэлементов. В сыворотке крови наиболее богат микроэлементами белок гамма-глобулин. Кобальт обнаружен преимущественно в гипофизе, висмут - в поджелудочной и щитовидной железах. Отделы головного мозга, различные по морфологическому строению и функции, также накапливают неодинаковое количество микроэлементов меди, марганца, кремния, титана, алюминия и др. В некоторых отделах серого вещества головного мозга обнаружен молибден, в хвостатом теле - хром, в зрительном бугре много ванадия и титана. Висмут содержится только в красном ядре. Радиоактивные элементы (радий) у человека концентрируются в мозгу, а у растений они накапливаются в корневой системе. При недостатке микроэлементов в организме развивается ряд заболеваний, лечение которых проводится только введением соответствующих микроэлементов. Все процессы обмена в организмах, в том числе и внутриклеточный обмен, совершаются при обязательном участии определенных химических веществ. При процессах возбуждения и торможения происходит определенный сдвиг содержания микроэлементов, содержащихся в головном мозге и в крови (меди, марганца, алюминия, кремния, титана). Во время судорог снижается содержание меди. Установлена связь между развитием лейкоза и содержанием в кроветворных органах бария.

## 2. Макро- и микроэлементы их физиологическая роль.

Макроэлементы. Их содержание в растениях колеблется от 0,01-10% от сырой массы растения. Необходимые макроэлементы растений: азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера, натрий, кремний, железо, селен. С помощью гравийных и водных культур была показана их необходимость для растений и были разработаны специальные смеси для водных культур. Азот. Входит в состав белков, нуклеиновых кислот, АТФ, АДФ, коферментов, хлорофиллов, цитохромов, некоторых липидов, многих витаминов, гормонов роста растений. Азот является составной частью важнейших для жизни веществ. Он непосредственно влияет на рост растений. Фосфор. Входит в состав ДНК, РНК, АТФ, коферментов, фосфолипидов, сахарофосфатов, белков, многих других промежуточных продуктов метаболизма. Фосфорсодержащие вещества занимают центральное место в конструктивном и энергетическом обмене. Важна роль фосфора в фотосинтезе и дыхании. Кроме того энергия при фотосинтетическом и окислительном фосфорилировании запасается в макроэргических фосфатных связях АТФ. Фосфор важен для цветения и плодоношения растений. Калий. Не входит в состав органического вещества, регулирует состояние цитоплазмы клеток растений, повышая ее проницаемость и уменьшая вязкость, находится в клеточном соке, принимает активное участие в осмотических явлениях клеток, движении устьиц, усиливает биосинтез крахмала, ускоряет процессы фотосинтетического фосфорилирования, отток ассимилятов. Основная роль калия – регуляторная – принимает участие в процессах обмена веществ в растении.

Микроэлементы. Их содержание в растениях достигает 0,00001-0,001% сырой массы. Являются абсолютно необходимыми для жизнедеятельности растений: медь, цинк, бор, марганец, молибден и некоторые другие. Их действие строго специфично, при исключении хотя бы одного из них из питания растений нарушаются процессы жизнедеятельности, невозможна замена одного на другой. Железо. Содержится в количестве 0,08%. В качестве кофактора входит в состав ферментов, участвующих в синтезе хлорофилла, входит в состав оксиредуктаз, в ферментный комплекс нитрогеназы, то есть участвует в азотфиксации, содержится в молекулах цитохромов, ферредоксина, участвует в процессе переноса электронов. Медь. Встречается в составе ферментов,

участвующих в биосинтезе хлорофилла, входит в состав ферментов оксидаз, участвующих в дыхании, в состав белка пластоцианина, активирует нитроредуктазу, то есть участвует в азотном обмене.

### 3. Корневое и некорневое питание.

Уровень подготовки агрономов специализированных сельскохозяйственных предприятий растет с каждым годом, как и уровень технологической оснащенности земледелия. Применение удобрений сегодня прочно вошло в интенсивные технологии выращивания как одна из основных составляющих, обеспечивающих получение высокого урожая. Растут и объемы применения удобрений на гектар пашни и разнообразие способов их применения. Даже в годы финансового кризиса, когда многие хозяйства испытывали дефицит оборотных средств, на удобрения деньги находили, потому что всем понятно – без них высокого урожая не получишь. Азот и зольные элементы поглощаются из почвы деятельной поверхностью корневой системы растений в виде ионов (анионов и катионов). Так, азот может поглощаться в виде аниона  $\text{NO}_3^-$  и катиона  $\text{NH}_4^+$  (только бобовые растения способны в симбиозе с клубеньковыми бактериями усваивать молекулярный азот атмосферы), фосфор и сера — в виде анионов фосфорной и серной кислот —  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , калий, кальций, магний, натрий, железо — в виде катионов  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , а микроэлементы — в виде соответствующих анионов или катионов. Растения усваивают ионы не только из почвенного раствора, но и ионы, поглощенные коллоидами. Более того, растения активно (благодаря растворяющей способности корневых выделений, включающих угольную кислоту, органические кислоты и аминокислоты) воздействуют на твердую фазу почвы, переводя необходимые питательные вещества в доступную форму. Мощность корневой системы, ее строение и характер распределения в почве у разных видов растений резко различаются. Для примера достаточно сравнить известные всем слаборазвитые корешки салата с корневой системой капусты, картофеля или томатов, сопоставить объемы почвы, которые охватывают корни таких корнеплодов, как редис и сахарная свекла. Активная часть корней, благодаря которой происходит поглощение элементов минерального питания из почвы, представлена молодыми растущими корешками. По мере нарастания каждого отдельного корешка верхняя его часть утолщается, покрывается снаружи опробковевшей тканью и теряет способность к поглощению питательных веществ.

### 4. Поглощение, транспорт, распределение, реутилизация элементов минерального питания.

Проявление реутилизации элементов является частью общей системы корневого питания растений, называемого минеральным. Повторное использование растением ранее поглощенных им элементов пищи составляет также процесс круговорота их внутри растительного организма. Далеко не все элементы в растении способны своевременно «выручать» его в неблагоприятные периоды роста и развития, связанные с погодными (микроклиматическими) условиями и наличием элементов пищи в почве. Как известно, передвижение веществ внутри растения осуществляется с помощью воды. Элементы, которые не подвергаются реутилизации, входят в состав химически инертных (мало активных) или труднорастворимых соединений. Поэтому обеспечивать растения такими элементами нужно через заправку ими почвы (с соответствующей ее кислотностью) и последующих одной или нескольких подкормок. Элементы, способные на повторное использование, также частично входят в состав малоподвижных соединений и не могут реутилизироваться полностью (например, азот и фосфор). Кроме того, степень повторного использования зависит от общего уровня и условий питания каждой культуры и отдельных растений. Элементы питания, поглощаемые корнями, поднимаются с восходящим током воды по растению в те точки (органы), где происходят интенсивные процессы образования

сложных биологических соединений. Но в этих же местах происходят одновременно процессы распада веществ. Продукты распада движутся по растению сначала вниз, а затем снова вверх, к новым растущим органам, подвергаясь здесь новому использованию.

#### 5. Проблема нитратов и тяжёлых металлов при получении растениеводческой продукции.

В настоящее время основные дозовые нагрузки на население, связанные с аварийными выбросами радионуклидов на ЧАЭС, обусловлены потреблением с/х продуктов, производимых на загрязнённых территориях. В целях сокращения поступления радионуклидов в организм человека в первую очередь необходимо снижать интенсивность их поступления в растения, являющиеся основным фактором вовлечения радионуклидов в биологический круговорот. Для снижения концентрации радионуклидов в с/х растениях могут быть использованы такие приёмы:

1) Мероприятия, направленные на увеличение плодородия почвы и рост урожайности - это внесение органических удобрений (навоза, компоста, перегноя, золы), внесение минеральных удобрений; известкование почвы; приёмы агротехники. Снижение концентрации радионуклидов в растениях при внесении удобрений обусловлено рядом причин: улучшение условий питания растений и связанное с этим увеличение, биомассы, что приводит к "разбавлению" радионуклидов, т.е. к уменьшению их содержания в единице массы растениеводческой продукции. Эффективность уменьшения содержания радионуклидов в урожае в результате внесения удобрений и известкования на бедных питательными веществами почвах существенно выше, чем на почвах плодородных. Использование агрохимических приёмов в зависимости от типа почвы и биологических особенностей растений снижает содержание радионуклидов в урожае в 2 -20 раз. Основным агротехническим приёмом для ограничения перехода радионуклидов в растения является пахота почвы, что приводит к перераспределению радиоактивных веществ в корнеобитаемом слое почвы. Например, содержание изотопа стронция-90, выпавшего на пахотные земли в результате аварии на ЧАЭС, в слое почвы глубиной 0 - 5 см составляло 79%, а в ниже лежащих слоях 5-15 см и 15-30 см соответственно 13% и 8% от общего содержания в почве. При регулярной перепашке распределение стронция-90 в пахотном слое таково следующим: в слое 0-5 см — 31-57%, а в слоях 5-15 и 15-30-24-42 и 14-27% соответственно. В результате перераспределения радионуклидов в пахотном слое их переход в растения уменьшается. Особенно значительный эффект наблюдается для растений, имеющих мелкую корневую систему.

Ко второй группе относятся следующие основные приёмы:

- 1) механическое удаление верхнего загрязнённого слоя почвы
- 2) глубокая вспашка с захоронением загрязнённого верхнего слоя почвы
- 3) фитомелиорация загрязнённых почв
- 4) внесение в почву специальных мелиорантов, связывающих радионуклиды в труднодоступные для растений формы
- 5) специальный подбор сельскохозяйственных растений для выращивания на загрязнённых территориях.

## 1.8 Лекция 8 (Л-8). Рост и развитие растений (2 часа)

### 1.8.1 Вопросы лекции:

1. Понятие об онтогенезе, росте и развитии растений.
2. Основные закономерности роста и развития.
3. Понятие о движениях растений. Тропизмы и настии.
4. Синтетические физиологические вещества и их влияние на растения.
5. Биохимический состав плодов и овощей в процессе хранения.

### 1.8.2 Краткое содержание вопросов:

1. Понятие об онтогенезе, росте и развитии растений.

Онтогенез(жизненный цикл), или индивидуальное развитие, —комплекс последовательных и необратимых изменений жизнедеятельности и структуры растений от возникновения из оплодотворенной яйцеклетки, зачаточной или вегетативной почки до естественной смерти. Онтогенез является последовательной реализацией наследственной генетической программы развития организма в конкретных условиях внешней среды. Для характеристики онтогенеза растений используют термины «рост» и «развитие». Рост — новообразование цитоплазмы и клеточных структур, приводящее к увеличению числа и размеров клеток, тканей, органов и всего растения в целом. Рост растений нельзя рассматривать как чисто количественный процесс. Так, появляющиеся побеги, листья качественно отличаются друг от друга. Растения в отличие от животных организмов вырастают в течение всей жизни, но обычно с некоторыми перерывами (период покоя). Развитие —качественные изменения живых структур, обусловленные прохождением организмом жизненного цикла. Развитие— качественные изменения структуры и функций растения в целом и его отдельных частей — органов, тканей и клеток, возникающие в процессе онтогенеза. Возникновение качественных различий между клетками, тканями и органами получило название дифференцировки. Формообразование (или морфогенез) у растений включает в себя процессы заложения, роста и развития клеток (цитогенез), тканей (гистогенез) и органов (органогенез).Процессы роста и развития тесно взаимосвязаны. Однако быстрый рост может сопровождаться медленным развитием и наоборот. Озимые растения при весеннем посеве быстро растут, но не переходят к репродукции. Осенью при пониженных температурах озимые растения растут медленно, но в них проходят процессы развития. Показателем темпов развития служит переход растений к репродукции.

## 2.Основные закономерности роста и развития.

Общебиологическими свойствами живой материи являются процессы роста и развития, которые начинаются с момента оплодотворения яйцеклетки и представляют собой непрерывный поступательный процесс, протекающий в течение всей жизни. Организм развивается скачкообразно, и разница между отдельными этапами жизни сводится к количественным и качественным изменениям. Ростом называется увеличение размеров и объема развивающегося организма за счет размножения клеток тела и возрастания массы живого вещества. Изменения касаются прежде всего антропометрических показателей. В одних органах (таких как кости, легкие) рост осуществляется в основном за счет увеличения числа клеток, в других (мышцах, нервной ткани) преобладают процессы увеличения размеров самих клеток. Необходимо сказать, что данное определение роста не затрагивает изменений, обусловленных жиротложением или задержкой воды. Абсолютными показателями роста организма являются повышение в нем общего количества белка и увеличение размеров костей. Общий рост характеризуется увеличением длины тела, зависящим от роста и развития скелета, что, в свою очередь, является одним из основных показателей здоровья и физического развития ребенка. Рост и физическое развитие происходят одновременно. При этом имеет место усложнение строения, которое называется морфологической дифференцировкойтканей, органов и их систем; изменяется форма органов и всего организма; совершенствуются и усложняются функции и поведение. Между ростом и развитием имеется взаимная закономерная зависимость. В ходе этого процесса накапливаются количественные изменения, что приводит к появлению новых качеств. Нельзя считать наличие возрастных особенностей в строении или деятельности различных физиологических систем свидетельством неполноценности организма ребенка на отдельных возрастных этапах, потому что каждый возраст характеризуется именно комплексом подобных особенностей. Взаимосвязь физического и психического развития детей.Известный педагог и анатом П.Ф. Лесгафт выдвинул положение о взаимосвязи физического и психического развития детей: физическое воспитание осуществляется путем воздействия на психику детей, что, в свою очередь, отражается на развитии психики. Иначе говоря, физическое развитие

обуславливает психическое. Это особенно отчетливо обнаруживается при врожденном недоразвитии больших полушарий головного мозга, которое проявляется в слабоумии.

### 3. Понятие о движениях растений. Тропизмы и настии.

Растительный организм обладает способностью к определенной ориентировке своих органов в пространстве. Реагируя на внешние воздействия, растения меняют ориентировку органов. Различают движения отдельных органов растения, связанные с ростом - ростовые и с изменениями в тургорном напряжении отдельных клеток и тканей - тургорные. Ростовые движения, в свою очередь, бывают двух типов: тропические движения, или тропизмы, — движения, вызванные односторонним воздействием какого-либо фактора внешней среды; настические движения, или настии, — движения, вызванные общим диффузным изменением какого-либо фактора. В зависимости от фактора, вызывающего тропические движения, различают геотропизм, фототропизм, хемотропизм, тигмотропизм, гидротропизм. Геотропизм - движения, вызванные односторонним влиянием силы тяжести. Если положить проросток горизонтально, то через определенный промежуток времени корень изгибается вниз, а стебель - вверх. Еще в начале XIX в. был изобретен прибор клиноостат. В этом приборе проросток в горизонтальном положении привязывается к вращающейся оси. Благодаря этому сила притяжения действует попеременно на нижнюю и верхнюю стороны проростка. В этом случае рост проростка идет строго горизонтально и никаких изгибов не наблюдается. Геотропическая реакция — «пороговое» явление, т. е. геотропический изгиб происходит лишь при достижении раздражителем какого-то определенного уровня. Количество раздражителя равно силе гравитации, умноженной на время. Для того чтобы произошел изгиб, проросток должен быть выдержан в горизонтальном положении определенное время (время презентации). Если проростки выдержать это время в горизонтальном положении, а затем поместить вертикально, то все равно изгиб произойдет. Тигмотропизм — реакция растений на одностороннее механическое воздействие. Тигмотропизм свойствен лазающим и выющимся растениям. Настические движения бывают двух типов: эпинастии - изгиб вниз и гипонастии - изгиб вверх. В зависимости от фактора, вызывающего те или иные настические движения, различают термонастии, фотонастии, никтинастии и др. Термонастии - движения, вызванные сменой температуры. Фотонастии - движения, вызванные сменой света и темноты. Цветки одних растений (соцветия одуванчика) закрываются при наступлении темноты и открываются на свету.

### 4. Синтетические физиологические вещества и их влияние на растения.

Ферменты. Биохимические процессы совершаются в клетке при помощи очень многочисленных ферментов, или энзимов. Ферменты представляют собой простые или сложные белки и находятся в состоянии коллоидов. Витамины. Большое значение в жизни клетки имеют витамины. Витамины необходимы для нормальной жизнедеятельности не только животных и человека, но и растений. Синтезируются витамины преимущественно в зеленых листьях растений. Не все органы и ткани зеленых растений могут самостоятельно синтезировать все витамины или провитамины. Корни растений, камбиальная ткань или выделенные из семян зародыши, растущие в темноте, требуют снабжения витаминами для нормального роста и развития. В сельскохозяйственной практике известно, что в ряде случаев растения испытывают недостаток витаминов и нужна специальная подкормка витаминами для хорошего развития растения. Растворяющиеся в жирах витамины (группы А, D, E, K) образуются преимущественно в животных организмах. В растениях большей частью встречаются только вещества (провитамины), из которых в животном организме вырабатывается тот или иной витамин. Так, из каротиноидов, очень распространенных в растениях пигментов, образуются витамины группы А; встречающиеся в растениях стеролы (высокомолекулярные спирты) под влиянием ультрафиолетового облучения образуют витамины группы D. Витамин PP (никотиновая кислота), H (биотин) и другие также входят в состав ферментов,



регулирующих белковый обмен. Витамин С (аскорбиновая кислота) в особенно больших количествах встречается в плодах шиповника, незрелых грецких орехах, черной смородине, капусте, хвое. Витамин С также участвует во многих окислительно-восстановительных процессах живой клетки. Фитогормоны. Растительные гормоны (фитогормоны) представляют собой вещества, "распространяющиеся, - по выражению К. А. Тимирязева, - в организмах и вызывающие органические изменения на далеких расстояниях".

#### 5. Биохимический состав плодов и овощей в процессе хранения.

В плодах и овощах, помещенных на хранение, происходят разнообразные процессы: физические, биохимические, химические. Из физических процессов наиболее существенное значение имеют испарение влаги и изменение температуры. Свежие плоды и овощи богаты водой, имеют большие размеры клеток, незначительную толщину покровных тканей, содержат мало коллоидных веществ, и поэтому при хранении интенсивно теряют влагу. Это приводит к уменьшению массы, увяданию, потере товарного вида. Потери влаги зависят от удельной поверхности плодов и овощей, степени зрелости, воздухообмена, наличия механических повреждений, способа и вида упаковки. Мелкие, незрелые плоды, теряют больше влаги, так как они имеют большую удельную поверхность и менее развитые покровные ткани. С повышением скорости движения воздуха в хранилище испарение увеличивается. Увеличение температуры при хранении делает воздух более сухим, что влечет за собой большее испарение влаги. Испарение влаги зависит от способа хранения, вида упаковки. Чем ниже температура, тем меньше испаряется влаги, дыхание менее интенсивно, задерживается развитие вредных микроорганизмов. К биохимическим процессам, происходящим под действием ферментов, относится дыхание. В процессе дыхания происходит окислительный процесс распада органических веществ до углекислого газа и воды при участии кислорода с выделением энергии. Такое дыхание называется аэробным. Анаэробное дыхание нежелательно еще и потому, что связано с расходом большого количества питательных веществ на дыхание. При хранении создают условия, исключая анаэробное дыхание: проветривают помещение, поддерживают на определенном уровне температуру и относительную влажность воздуха (ОВВ). На интенсивность дыхания влияют сорт и вид овощей и плодов, зрелость, наличие механических повреждений, оснащенность, температура, газовый состав. Повышение температуры хранения на 10 °C увеличивает интенсивность дыхания в два раза. За счет дыхания может возрастать температура продукта. Основные направления химических процессов во время хранения - гидролитический распад сложных органических соединений до более простых. Изменения касаются прежде всего углеводов. Крахмал, подвергаясь гидролизу, переходит в сахарозу, которая распадается до глюкозы и фруктозы. В результате количество крахмала и сахарозы в плодах уменьшается, часть Сахаров тратится на дыхание, благодаря чему общая сумма

### **1.9 Лекция 9 (Л-9). Приспособление и устойчивость растений (2 часа)**

#### **1.9.1 Вопросы лекции:**

1. Понятия физиологического стресса, устойчивости и адаптации к факторам окружающей среды.
2. Адаптивный потенциал растений.
3. Устойчивость растений и проблемы величины и качества урожая
4. Физиологические механизмы устойчивости в период хранения продукции растениеводства.

#### **1.9.2 Краткое содержание вопросов:**

## 1. Понятия физиологического стресса, устойчивости, и адаптации к факторам окружающей среды.

Способность к защите от повреждающих и неблагоприятных факторов среды – обязательное свойство любого, в том числе и растительного, организма. Ответные реакции, индуцируемые в организме внешними воздействиями, часто объединяют терминам «адаптационный синдром», а также широко распространившимся термином «стресс». По Г. Селье, стресс – это совокупность всех неспецифических изменений, возникающих в организме под влиянием любых неблагоприятных и повреждающих факторов (стрессоров). Селье считал, что одной из отличительных характеристик живых организмов является способность адаптироваться к стрессорам путем «концентрирования усилий, или напряжения». При сопоставлении фаз триад у растений и животных наибольшим сомнениям подверглась идентичность первой фазы. Судя по доминирующим в ней реакциям, она не могла быть названа фазой тревоги. Ее предлагается именовать первичной стрессовой реакцией. Стрессовыми называют те внешние факторы, которые оказывают неблагоприятное воздействие на растение. В большинстве случаев стрессовое воздействие оценивают по его влиянию на выживание растительного организма, процессы роста, ассимиляции углекислоты или элементов минерального питания. Разные виды растений устойчивы (или неустойчивы) к различным стрессовым воздействиям, т. е. характер стрессового воздействия зависит и от вида (сорта) растения, и от стрессового фактора. Приобретение устойчивости под воздействием одного из неблагоприятных факторов может вызывать повышение устойчивости растительного организма к другим стрессовым воздействиям. Это явление называется кросс-устойчивостью, или кросс-адаптацией. Адаптация – это совокупность морфологических, физиологических и химических приспособительных реакций, обеспечивающих возможность выживания определенного вида растений при действии неблагоприятных условий среды. Все изменения в клетках растений связаны с гормональным балансом. Накопление АБК происходит и при корневой гипоксии, но в большей мере при аноксии. АБК подавляет синтез м-РНК аэробных белков и индуцирует работу генов, кодирующих анаэробные белки.

## 2. Адаптивный потенциал растений.

Исследования, проведенные в последние десятилетия показывают, что биотические и абиотические факторы, вызывающие чрезмерные окислительные нагрузки на растения ограничивают получение высоких стабильных урожаев хорошего качества. Водный обмен – одна из наиболее важных составляющих жизнедеятельности растений. Поддержание в клетках и тканях определенного уровня водного баланса является обязательным условием не только нормального роста и развития растений, но и их устойчивости к факторам внешней среды. В условиях периодически возникающих засух и возрастающей техногенной нагрузки на почву несомненный научный и практический интерес представляет изучение влияния микроэлементов на адаптивную способность и повышение устойчивости растений. При этом микроэлементы способствуют созданию продуктов питания, обогащенных специальными биологически активными добавками. В настоящее время особый интерес приобретают исследования по влиянию различных микроэлементов на продуктивность сельскохозяйственных растений в стрессовых условиях, способствующих образованию свободных радикалов. Однако данных по влиянию селена на формирование продуктивности, и показатели качества, особенно у растений, различающихся по засухоустойчивости, практически нет. В зависимости от почвенных условий и среды роста разница в поступлении селена может наблюдаться и для одной группы или вида растений. Влияния стрессовых условий на формирование продуктивности сельскохозяйственных растений необходимо учитывать в связи с тем, что они приводят к снижению урожаев. В условиях дефицита влаги в клетках растений

происходит образование активных форм кислорода, которые могут реагировать с белками, липидами и нуклеиновыми кислотами, изменяя или разрушая их структуру, обнаружено также резкое ингибирование аккумуляции пролина и торможение активности пероксидазы в присутствии селена, что свидетельствует о защитном действии элемента при водном стрессе. Таким образом, присутствие селена в растениях и способность последних аккумулировать его из сред служат в определенной степени доказательством необходимости его для жизнедеятельности растений, в том числе и в стрессовых ситуациях.

### 3. Устойчивость растений и проблемы величины и качества урожая

Неблагоприятные почвенно-климатические и погодные условия - одна из главных причин высокой вариабельности урожайности сельскохозяйственных культур на большей части территории России. Только в XX столетии сильные засухи 14 раз поражали Европейскую ее часть и 8 раз регионы Западной Сибири. В течение последних пяти столетий эти явления проявляются здесь в среднем один раз в каждые 10 лет. Под действием засух и суховеев урожайность зерновых культур снижается на 10-60%, кормовых на 20-50%, овощных на 15-20%, плодовых на 25-55% и выше. Наибольший ущерб посевам наносят почвенные и атмосферные засухи, которые наблюдаются почти ежегодно на 70% площадей зерновых культур. Причем в южных регионах летние засухи наступают каждый второй год с вероятностью 98% и снижают урожайность зерновых культур на 10-15 ц/га и более. В целом же в зависимости от условий погоды урожайность сельскохозяйственных культур изменяется в 2-3 раза в зонах устойчивого увлажнения и в 5-6 раз в зонах неустойчивого увлажнения. Как подчеркивает Д.Н. Иванцов, ни в одной из Европейских стран и США нет такой амплитуды изменчивости урожайности пшеницы по годам, как у нас в среднем для всех хлебов (200% отношение крайних сборов при 130-158% для пшеницы у них). При этом на 10 средних сборов в России приходится от 3,5 до 10,7 выдающихся, а также феноменальных (ничего подобного в Западной Европе и США нет). Автор считает, что для России норма урожайности - не средние сборы, а резко отклоняющиеся от нормы; сама интенсивность колебаний увеличивается с севера и запада к югу и востоку. Установлено, что в России для ликвидации недорода необходимо в 4,5 раза больше времени, чем в странах Западной Европы и США. Именно засухи оказывались в прошлом основной причиной голода и массового переселения людей в России. А.С. Ермолов в книге «Наши неурожай и продовольственный вопрос» приводит слова Великого князя Ярослава Мудрого: «Голод от неурожая, а неурожай от вёдра». Он упоминает и данные исследований В.И. Щенцина о том, что в период XIII-XVIII вв. в России было 44 неурожая, которые вызвали голод. С 1601 г., когда неурожай продолжались три года подряд, в России начинается более или менее организованная работа с их бедственными последствиями, и тут мы уже видим начало тех мер по обеспечению населения продовольствием, которые предпринимались в течение последующих столетий.

### 4. Физиологические механизмы устойчивости в период хранения продукции растениеводства.

Сельское хозяйство производит не только основные пищевые продукты, но и сырье для перерабатывающих производств. При переработке доброкачественного сырья увеличивается выход продуктов хорошего качества, расширяется их ассортимент. Однако из-за неумелого обращения с продуктами во время уборки и в послеуборочный период снижается их качество, что ограничивает использование сырья по назначению. В целом на качество продукции растениеводства влияют следующие факторы:

1. Посевной материал (вид, сорт, подготовка семян к посеву, класс семян по ГОСТ);

2. Условия выращивания (географическое положение, почва, севооборот, удобрения, орошение, поражение болезнями и вредителями, метеоусловия);
3. Условия уборки урожая (сроки и способы уборки, состояние и режимы эксплуатации технических средств, погода);
4. Транспортирование урожая (виды и состояние транспорта, тары, расстояния перевозки, погодные условия);
5. Первичная обработка (своевременность виды и способы обработки, режимы работы машин, погодные условия);
6. Хранение урожая (подготовка к хранению, способы хранения и типы хранилищ, режимы хранения, организация контроля);
7. Переработка на предприятиях (рецептура, применяемая аппаратура, технологическая схема процесса);

Для бесперебойного снабжения населения продуктами питания и промышленности сырьем необходимо иметь достаточные запасы каждого вида продукта. Потери продуктов хранения – следствие их физических и физиологических свойств. Только знание природы продукта и происходящих в нем процессов, а также разработанных режимов хранения позволяет свести потери до минимума. Различают два вида взаимосвязанных потерь при хранении: массы и качества. По природе потери могут быть физическими и биологическими. Например, при хранении зерна к биологическим потерям относят дыхание, прорастание зерна, развитие микроорганизмов, насекомых и клещей, самосогревание, уничтожение птицами и грызунами. Физические потери происходят в результате травм, распыла, просыпи. Потери массы. Уменьшение массы продукта при хранении может произойти вследствие физических потерь и биологических процессов. Другой вид физических потерь – это неучтенный распыл, который образуется в процессе перемещения продукта с отделением мельчайших частиц покровных тканей. Перед хранением стоят следующие задачи: Сохранять продукты и семенные фонды с минимальными потерями массы и без снижения качества; Повышать качество продуктов и семенных фондов в период хранения, правильно применяя режимы и технологические приемы. Организовывать хранение продуктов наиболее рентабельно, с наименьшими затратами труда и средств на единицу массы продукта, снижать издержки при хранении.

## **1.10 Лекция 10 (Л-10). Физиология и биохимия формирования урожая (2 часа)**

### **1.10.1 Вопросы лекции:**

1. Превращения органических веществ в семенах культур при их созревании
2. Практическое использование в растениеводстве гиббереллинов и цитокининов
3. Вынужденный покой: физиолого-биохимические изменения растений в период подготовки к покою, биологическое значение покоя
4. Биохимические процессы, происходящие при послеуборочном дозревании семян

### **1.10.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Превращения органических веществ в семенах культур при их созревании

Основными запасными веществами семян масличных растений являются жиры, содержание которых в семенах подсолнечника, льна, конопли, горчицы составляет 30-50%. Синтезируются жиры из углеводов, которые поступают в семена из листьев, стеблей и элементов соцветия. Качество масла изменяется в процессе созревания семян: как правило, в нем усиливается синтез ненасыщенных кислот. Основными белками семян масличных культур являются альбумины и глобулины. Это хорошо сбалансированные по аминокислотному составу белки, имеющие высокую питательную ценность. Общее количество белков в семенах составляет 15-30%. Во время созревания в семенах масличных растений происходят два конкурирующих процесса - образование белков из

аминокислот, а также синтез жиров из углеводов. В условиях дефицита влаги синтез последних веществ ослабляется, в результате в семенах повышается концентрация белков. Как более энергоемкий процесс, синтез белков замедляется сильнее при меньшем поступлении световой энергии к растениям. При возделывании масличных растений в условиях повышенной влажности и умеренных температур в их семенах образуется больше полиненасыщенных жирных кислот. Многие масличные культуры во время формирования и налива семян интенсивно поглощают корнями фосфор и калий. При недостатке этих минеральных элементов в почве снижается накопление жиров в семенах.

## 2. Практическое использование в растениеводстве гиббереллинов и цитокининов

Для многоклеточных организмов характерен тип регуляции, который связан с взаимодействием между отдельными клетками, тканями или даже органами. Для осуществления такой координации в организме вырабатываются гормоны. Гормоны растений получили название фитогормоны - вещества, вырабатываемые в процессе естественного обмена веществ и оказывающие в ничтожных количествах регуляторное влияние, координирующее физиологические процессы.

Гиббереллины - группа гормонов растений, регулирующих рост и разнообразные процессы развития такие как: удлинение стебля, прорастание семян, цветение, проявление пола. Гиббереллины заметно усиливают вытягивание стебля и у многих нормальных растений. Так, высота стебля у многих растений под влиянием опрыскивания гиббереллином увеличивается примерно на 30-50%. Существует определенная зависимость между скоростью роста стебля растений и содержанием гиббереллинов. Так, содержание гиббереллинов и ход роста стебля конопли хорошо коррелируют друг с другом. Это свойство позволяет некоторым исследователям считать гиббереллин гормоном роста стебля. С ростом стебля и выходом растения из розеточного состояния (стрелкованием) связано влияние гиббереллина на зацветание длиннодневных растений в условиях короткого дня.

Показано значение гиббереллинов для образования столонов у картофеля.

Гиббереллины, подобно ауксинам, участвуют в разрастании завязи и образовании плодов. Гиббереллины накапливаются в почках при выходе из покоящегося состояния. В соответствии с этим обработка гиббереллином вызывает прерывание покоя у почек. Сходная картина наблюдается на семенах.

В ряде случаев при действии гиббереллина возрастает общая масса растительного организма. Таким образом, он способствует не перераспределению питательных веществ, а общему их накоплению. На свету влияние гиббереллина, внесенного извне, сказывается сильнее. Все это указывает на значение гиббереллина для регуляции процесса

## 3. Вынужденный покой: физиолого-биохимические изменения растений в период подготовки к покою, биологическое значение покоя

Рост растений не является непрерывным процессом. У большинства растений время от времени наступают периоды резкого замедления или даже почти полной приостановки ростовых процессов, периоды покоя.

Покой растений - такое состояние, при котором видимый рост их не происходит. Способность переходить в состояние покоя выработалась у растений в процессе эволюции. В покоящееся состояние может вступать как растительный организм в целом, так и отдельные его части (семена, корни, клубни). В некоторых случаях растительный организм может находиться в растущем состоянии, а отдельные почки - в покоящемся (спящем).

Однако покой - это не только защитная реакция организма против неблагоприятных условий. Растения переходят в покоящееся состояние и при наличии всех условий,

необходимых для роста. Временная приостановка ростовых процессов характерна и для тропических растений, несмотря на благоприятные условия в течение целого года. Если растение не прошло периода покоя, в последующем темпы роста его снижаются, ухудшается плодоношение. После периода покоя рост растений усиливается. Таким образом, в период покоя происходят определенные изменения, подготавливающие последующий рост. Все сказанное позволяет считать, что период покоя - не только приспособление к неблагоприятным условиям, но и необходимое звено онтогенеза растений.

Вынужденный покой - покой растений, полностью обусловленный внешними факторами. Переход растения или его отдельных органов в покоящееся состояние, прежде всего, является приспособлением к перенесению неблагоприятных условий.

#### 4. Биохимические процессы, происходящие при послеуборочном дозревании семян

Послеуборочное дозревание семян - это биохимический процесс, протекающий в свежесобранных семенах и ведущий к их физиологической зрелости, т. е. способности давать нормальные всходы. Свежесобранные семена не способны прорасти сразу же после уборки, если их не подвергнуть различной предпосевной подготовке. Послеуборочное дозревание сопровождается сложными биохимическими превращениями (завершение синтеза белков и др.) с участием ферментов. До окончания дозревания семена имеют пониженную всхожесть или не прорастают совсем. При правильном хранении в зерновой массе не происходят нежелательные физиологические процессы, а, напротив, в первый период хранения свежесобранного зерна происходит его дальнейшее дозревание, которое заключается в повышении жизнеспособности семян, их всхожести и энергии прорастания. Отмечается также улучшение технологических качеств в небольших пределах: повышается качество сырой клейковины в зерне пшеницы, увеличивается выход масла при переработке маслосемян. Комплекс сложных биохимических процессов в зерне и семенах при хранении, приводящих к улучшению их посевных и технологических качеств, и получил название послеуборочного дозревания.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### 1.1 Лабораторная работа № 1. Физиология и биохимия растительной клетки.

Плазмолиз и деплазмолиз растительной клетки. Влияние анионов и катионов солей на форму и время плазмолиза. (2 часа)

#### 1.1.1 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Лук красный, стеклянная палочка, препаровальная игла, лезвие бритвы, микроскоп, фильтровальная бумага, предметное и покровное стекла, стакан с водой, пинцет. растворы: 0,7М  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 1М  $\text{KNO}_3$ , 1М  $\text{KCNS}$ .

#### 1.1.2 Описание (ход) работы:

##### Плазмолиз и деплазмолиз растительной клетки

*Вводные пояснения:* Растительная клетка представляет собой осмотическую систему, в которой протопласт играет роль полупроницаемой оболочки, а осмотически деятельным раствором является клеточный сок. Если внешний раствор будет более

концентрированным, чем раствор внутри клетки, то вода будет выходить из клетки. При рассмотрении таких клеток под микроскопом можно наблюдать отставание протоплазмы от оболочки клетки. Это явление известно под названием плазмолиза. Пространство, образующееся между протопластом и клеточной стенкой, заполняется внешним раствором. При использовании объектов с наличием антоциана (красящего пигмента), происходит постепенное увеличение его концентрации, вследствие потери большого количества воды клеточным соком в процессе плазмолитического сокращения протопласта, и красная окраска клеточного сока становится темнее, чем у неплазмолизированных.

После замены плазмолитика водой клеточный сок заполняет весь объем клетки, протоплазма прижимается к ее стенкам.

Состояние полного насыщения клетки водой называется тургором. При медленно наступающем деплазмолизе клетки остаются живыми. Если деплазмолиз проходит быстро, то протопласты механически разрушаются, клетки отмирают, а пигменты при этом вымываются и среды обесцвечиваются.

*Ход работы.* Кусочек эпидермиса с вогнутой стороны чешуи лука помещают в каплю воды на предметное стекло. Изготовленный таким образом препарат покрывают покровным стеклом и рассматривают в микроскоп при малом увеличении, чтобы убедиться в тургорном состоянии клеток среза. Все клетки в этом случае будут иметь равномерную окраску от антоциана. Затем, с одной стороны покровного стекла помещают каплю раствора азотнокислого калия (1 М), а с противоположной стороны, не сдвигая препарата, начинают отсасывать воду кусочками фильтровальной бумаги. Все время необходимо следить за тем, что происходит в клетках эпидермиса лука.

Записывают результаты наблюдения, делают вывод.

#### **Влияние анионов и катионов солей на форму и время плазмолиза.**

*Вводные пояснения.* Протоплазма обладает в большей или меньшей степени жидкой консистенцией и поэтому, подчиняясь силам поверхностного натяжения, стремится принять при плазмолизе сферическую форму. Плазмолиз, при котором протопласт имеет округлую форму, называется выпуклым плазмолизом. В изодиаметрических клетках паренхимы протопласт остается при плазмолизировании целым. В сильно вытянутых клетках он часто распадается, в процессе плазмолизования, на части, которые в большинстве случаев остаются соединенным друг с другом тонкими плазматическими нитями. Такой плазмолиз также можно назвать выпуклым.

Если, наоборот, связь пограничного слоя плазмы с оболочкой или вязкость цитоплазмы очень велики, то протопласт при плазмолизе подчиняется силам поверхностного натяжения очень медленно или совсем им не подчиняется. Плазмолиз получается в том случае не выпуклым, а с преобладанием вогнутых форм – вогнутый плазмолиз. Если вогнутый плазмолиз выражен чрезмерно, то говорят о судорожном плазмолизе. Наличие длительного судорожного плазмолиза всегда указывает на очень сильную связь протопласта с оболочкой и на высокую степень вязкости цитоплазмы. У некоторых клеток, кроме выпуклого и вогнутого плазмолиза, можно наблюдать еще угловое отделение протопласта. Эта форма плазмолиза называется угловой.

Возникающие формы плазмолиза неустойчивы. Почти при каждом плазмолизе отделение протопласта начинается с вогнутой формы, которая в дальнейшем ходе сокращения стремится перейти в выпуклую.

Катионы и анионы солей оказывают специфическое и многообразное действие на цитоплазму. Одним из заметных внешних проявлений этого действия являются изменения в степени набухания и вязкости цитоплазмы, для оценки которых используют время плазмолиза.

Временем плазмолиза называется период, который проходит с момента погружения в раствор плазмолитикаткани растения до наступления выпуклого плазмолиза. Этот

показатель может характеризовать вязкость цитоплазмы: чем больше время наступления выпуклого плазмолиза, тем выше вязкость цитоплазмы.

Можно показать противоположное действие одновалентных и двухвалентных ионов металлов. Так, кальций, являющийся одним из наиболее жизненно важных металлов, вызывает уплотнение и обезвоживание, тогда как калий – набухание и разжижение. Если расположить соли одного щелочного металла, но с различными анионами, то получится следующий хорошо известный в коллоидной химии лиотропный ряд анионов: цитрат – тартрат – сульфат – ацетат – хлорид – нитрат – иодид – роданит. Такие ряды при действии солей можно наблюдать и на живых объектах. Цитрат вызывает наименьшее набухание, роданид способствует сильному набуханию.

*Ход работы.* Кусочек эпидермиса с вогнутой поверхности чешуи красного лука помещают в каплю раствора испытуемой соли, накрывают покровным стеклом и тут же приступают к просматриванию под микроскопом. Необходимо проследить за сменой форм плазмолиза: начальной, вогнутой и выпуклой. Определяют время плазмолиза в каждой соли. Результаты записывают в таблицу.

#### **.Влияние катионов и анионов солей на время плазмолиза протопласта**

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

На основании полученных результатов делают выводы о влиянии катионов и анионов на вязкость цитоплазмы.

## **2.2.Лабораторная работа № 2. Водный обмен растений.**

### **Значение воды для формирования урожая с.-х. культур**

Определение осмотического давления и водного потенциала растительных кооток методом плазмолиза.

Определение интенсивности транспирации весовым методом. Определение состояния устьиц. (2 часа)

#### **2.2.1 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Торзионные весы, подставки для подвешивания листьев, ножницы

#### **2.4.2 Описание (ход) работы:**

*Вводные пояснения.* Интенсивность транспирации – количество воды, испарившейся с единицы листовой поверхности в единицу времени. Зависит от внешних факторов, времени суток и колеблется в пределах от 15 до 250 г/м<sup>2</sup> ч.

Весовой метод определения интенсивности транспирации основан на учете воды при испарении. Им можно изучать транспирацию целого растения или отдельных его частей. Чтобы во время опыта оводненность тканей не снижалась, нижнюю часть растения или черешок листа помещают в колбу, заполненную водой.

Относительная транспирация – отношение интенсивности транспирации к интенсивности испарения со свободной водной поверхности при тех же условиях. Характеризуют способность растений регулировать транспирацию и обычно составляет 0,1...0,5, поднимается иногда до 1,0 и опускается у некоторых хорошо защищенных листьев до 0,01 и ниже.



*Ход работы.* Определение интенсивности транспирации проводят со срезанными листочками. Черешок листа плотно укрепляют ватой в отверстии резиновой пробки, а нижний конец черешка подрезают наискось под водой примерно на 1 см для восстановления водных нитей в проводящих сосудах. Вставляют пробку с листом в горлышко стеклянной колбы с водой так, чтобы черешок листа был погружен в воду. Пробка не должна касаться воды. Смонтированный таким образом прибор взвешивают на весах. Через час взвешивают повторно. По разнице с первоначальной массой устанавливают количество воды, которое испарил лист во время опыта. Единица измерения интенсивности транспирации – г воды на 1м<sup>2</sup> листовой поверхности в час.

Для определения площади листа, взятого для опыта, можно использовать весовой метод. Берут лист бумаги площадью 100 см<sup>2</sup> (10 x 10 см) и взвешивают его. Затем на него накладывают исследуемый лист растения, тщательно обводят его контур, вырезают и взвешивают. Составляют пропорцию: если квадрат бумаги в 100 см<sup>2</sup> имеет массу А, а кусочек бумаги, вырезанный по контуру листа, площадью S – В г, то площадь листа

$$S = \frac{100 \text{ В}}{А} \quad (1)$$

Интенсивность транспирации рассчитывают по формуле:

$$I_T = \frac{10000 \text{ С}}{ST}, \quad (2)$$

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

S – площадь листа , см<sup>2</sup>;

T – продолжительность опыта, ч.

Параллельно в тех же условиях определяют испарение со свободной водной поверхности, для чего учитывают количество воды, испарившейся за час с поверхности чашки Петри. Площадь ее определяют по формуле:

$$S = \pi r^2,$$

где r – радиус внутренней поверхности чашки Петри, а  $\pi \approx 3,14$ .

Рассчитывают интенсивность испарения со свободной водной поверхности (Е) по формуле 2 и вычисляют величину относительной транспирации :

$$I_T \quad \text{OT} = \frac{\quad}{Е} \quad (3)$$

Результаты опыта записывают в таблицу. Делают выводы.

#### **Расчет интенсивности транспирации и относительной транспирации растений**

Вариант	Масса испарившейся воды, г	Площадь листа, см <sup>2</sup>	Интенсивность транспирации, гм <sup>2</sup> /ч	Площадь чашки Петри, см <sup>2</sup>	Интенсивность испарения с водной поверхности, г м <sup>2</sup> /ч	Относительная транспирация

### **2.3. Лабораторная работа № 3. Фотосинтез как основа биоэнергетики биосферы.**

Фотосинтез как основа продуктивности растений

**Изучение химических свойств хлорофилла. Изучение оптических свойств хлорофилла ( 2 часа)**

#### **2.3.1 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Свежие или сухие листья различных растений, ступка с пестиком,  $\text{CaCO}_3$ , 96 % - ный этиловый спирт, кварцевый песок или толченное стекло, вазелин, стеклянная палочка, воронка, колбочка на 25 мл, бумажные фильтры, бензин, вода, пипетка, мерная пипетка на 5-10 мл, 20% спиртовой раствор  $\text{KOH}$ , спиртовка, 10% раствор  $\text{HCl}$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$ , пробирки в штативе (10шт), спиртовка, раствор каротина и ксантофилла, спектроскоп, настольная лампа, темная бумага.

### 2.3.2 Описание (ход) работы:

#### а) Получение спиртового раствора пигментов

*Материалы и оборудование.* Свежие или сухие листья различных растений, ступка с пестиком,  $\text{CaCO}_3$ , 96 % - ный этиловый спирт, кварцевый песок или толченное стекло, вазелин, стеклянная палочка, воронка, колбочка на 25 мл, бумажные фильтры.

*Вводные пояснения.* Пигментная система хлоропласта представлена двумя типами пигментов: зелеными – хлорофиллами и желтыми – каротиноидами.

Хлорофиллы представлены хлорофиллом *a* ( $\text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{O}_5\text{N}_4\text{Mg}$  – зеленый с синеватым оттенком) и хлорофиллом *b* ( $\text{C}_{55}\text{H}_{70}\text{O}_6\text{N}_4\text{Mg}$  – зеленый с желтоватым оттенком). Основным функциональным пигментом является хлорофилл *a*, являющийся непосредственным донором энергии для фотосинтезирующих реакций. Остальные пигменты лишь передают поглощенную ими энергию хлорофиллу *a*.

По химической природе хлорофиллы *a* и *b* – сложные эфиры, состоящие из дикарбоновой кислоты хлорофиллина и двух спиртов – метилового и фитола. Структурная основа молекулы хлорофилла – порфириновое ядро, образованное из четырех пиррольных колец, в центре которого находится атом магния, удерживаемый в этом положении за счет связей с атомами азота. Азот придает ядру гидрофильный характер, фитол обладает гидрофобными свойствами. Хлорофилл *b* отличается от хлорофилла *a* тем, что у него одна из метильных групп замещена на альдегидную.

Каротиноиды – соединения, которые можно рассматривать как производные изопрена. Их подразделяют на каротины и ксантофиллы. Каротины – непредельные углеводороды, химический состав которых можно выразить формулой  $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$ . Наиболее распространенными из них являются ликопин,  $\alpha$ -каротин,  $\beta$ -каротин и  $\gamma$ -каротин. У высших растений преобладает  $\beta$ -каротин. Ксантофиллы – кислородосодержащие производные каротинов, химический состав которых выражается формулой  $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_2$  или  $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_4$ , например, лютеин ( $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_2$ ) и виолаксантин ( $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_4$ ).

Для извлечения пигментов из растительной ткани обычно используют полярные растворители (этиловый спирт, ацетон), которые разрушают связь пигментов с липопротеидами пластид, обеспечивая их более полное экстрагирование.

*Ход работы.* Свежие или сухие листья измельчают, помещают в ступку, добавляют небольшое количество  $\text{CaCO}_3$  для нейтрализации кислот клеточного сока, а также чистый кварцевый песок или толченное стекло. Затем добавляют спирт и продолжают растирать до получения однородной темно-зеленой массы. Носик ступки с наружной стороны смазывают вазелином и по стеклянной палочке осторожно сливают вытяжку через воронку с фильтром в колбочку на 25 мл.

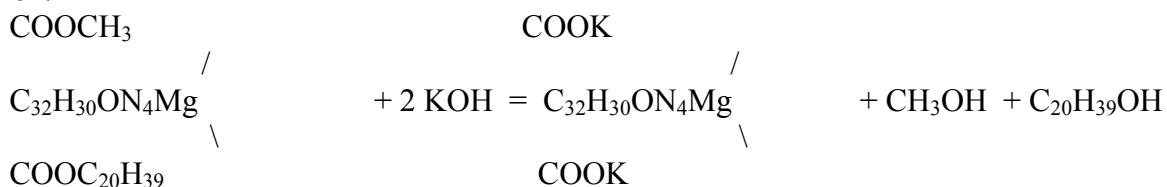
#### б) Разделение пигментов по Краусу

*Вводные пояснения.* Разделение пигментов основано на их различной растворимости в полярных и неполярных растворителях, например, в спирте и бензине. Эти растворители не смешиваются, образуя два слоя – верхний, бензиновый, и нижний, спиртовой.

*Ход работы.* В пробирку наливают 2-3 мл спиртовой вытяжки пигментов, добавляют 3-4 мл бензина и 2-3 капли воды (чтобы спирт не смешивался с бензином). Содержимое пробирки энергично встряхивают, а затем дают ему отстояться. Определяют, какие пигменты лучше растворяются в спирте, а какие в бензине. Зарисовывают окраску слоев, указав разделение пигментов.

#### в) Действие щелочи на хлорофилл

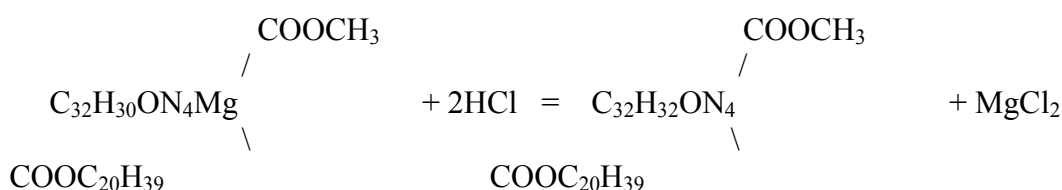
*Вводные пояснения.* Хлорофилл – сложный эфир дикарбоновой кислоты хлорофиллина и двух спиртов – метилового (CH<sub>3</sub>OH) и фитола (C<sub>20</sub>H<sub>39</sub>OH). При действии щелочью эфирные связи омыляются, с образованием соли хлорофиллиновой кислоты (сохраняют зеленую окраску и оптические свойства хлорофилла) и свободных спиртов:



*Ход работы.* К 1 мл спиртового раствора пигментов добавляют 0,5 мл спиртовой щелочи и нагревают до кипения 2-3 раза. К охлажденному раствору добавляют 0,5 мл воды и равный объем бензина, взбалтывают, а затем дают отстояться. Получается разделение пигментов, обратное методу Крауса. Указывают распределение пигментов и продуктов омыления, учитывая, что каротиноиды с щелочью не реагируют.

#### г) Действие кислоты на хлорофилл

*Вводные пояснения.* Зеленый цвет хлорофилла связан с наличием в порфириновом ядре атома магния, соединенного через атомы азота с четырьмя пиррольными кольцами. Атом магния сравнительно слабо удерживается в порфириновом ядре хлорофилла и при воздействии сильных кислот замещается двумя протонами с образованием соединения бурого цвета - феофитина.



При действии на феофитин солей меди или цинка происходит замещение протонов на соответствующий металл, с образованием соединений, имеющих зеленую окраску.

*Ход работы.* В две пробирки наливают по 2-3 мл спиртового раствора пигментов, а затем добавляют по 1-2 капли крепкой соляной кислоты. Содержимое пробирок энергично встряхивают, отмечают окраску раствора. Одну пробирку оставляют для контроля, а во вторую вносят небольшое количество уксуснокислого цинка и доводят до кипения. Отмечают изменение окраски, записывают уравнение реакции.

#### д) Спектры поглощения пигментов

*Вводные пояснения.* Одно из основных свойств хлорофилла – способность поглощать световую энергию видимой части спектра (от 380 до 720 нм), которая в дальнейшем превращается в химическую. Пигменты поглощают видимый свет не полностью, то есть каждый пигмент имеет свой характерный спектр поглощения. Минимум поглощения хлорофилла лежит в зоне зеленых лучей, чем и объясняется зеленая окраска, максимум в красной (660 и 640 нм) и сине-фиолетовой (430 и 450 нм) частях спектра. При этом в живом листе у хлорофиллов более широкий и выровненный спектр поглощения. Так, у хлорофилла *a* в красной части спектра имеется несколько пиков поглощения – 670, 683, 700, 710 нм, у хлорофилла *b* – 650.... 655 нм. Все это обусловлено степенью агрегации молекул пигмента и характером их связи с липопротеиновым комплексом в ламеллах тилакоидов.

Для установления спектра поглощения хлорофилла используют спектроскоп. Если пропустить белый свет через раствор хлорофилла, а затем разложить его при помощи призмы, то отдельные участки спектра будут выглядеть как темные полосы. Такой спектр

называют спектром поглощения. Сопоставляя спектры поглощения растворов разной концентрации (или одного и того же раствора, но при разной толщине слоя), можно установить степень поглощения отдельных лучей: чем слабее поглощается данный участок спектра, тем концентрированнее нужно взять раствор, чтобы добиться исчезновения этого участка в спектре поглощения. Поглощаемые в наибольшей степени лучи можно определить по полосам в спектре поглощения очень разбавленного раствора.

*Ход работы.* Направляют спектроскоп на источник света и регулируют его так, чтобы спектр получился четкий и достаточно яркий. Наливают исследуемый раствор в пробирку, помещают ее перед щелью спектроскопа и определяют наличие темных полос, которые соответствуют лучам, поглощаемым хлорофиллом. Изучают спектры поглощения растворов хлорофилла разной концентрации, разбавляя спиртовой раствор в соотношениях 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5. Для сравнения рассматривают спектр каротина и ксантофилла (бензиновый слой, полученный после омыления хлорофилла).

#### **е) Флуоресценция хлорофилла**

*Вводные пояснения.* Хлорофилл обладает оптическим свойством, называемым флуоресценцией. Флуоресценция – излучение поглощенных квантов света. В соответствии с правилом Стокса флуоресценция сдвинута в более длинно-волновую часть по сравнению с поглощением света, максимум ее – 650 – 668 нм. Хлорофилл в листе флуоресцирует слабо. Это связано с тем, что энергия поглощенных квантов в основном преобразуется в химическую, причем по степени флуоресценции листа можно судить об эффективности фотосинтеза. Чем интенсивнее флуоресценция, тем ниже КПД использования поглощенной энергии.

*Ход работы.* Пробирку со спиртовым раствором пигментов помещают на темную бумагу у источника освещения и рассматривают в отраженном свете. Отмечают цвет хлорофилла и делают выводы.

### **2.4. Лабораторная работа № 4. Дыхание**

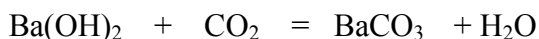
Определение интенсивности дыхания по Бойсен-Иенсену.

#### **2.4.1 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

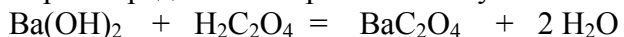
Различные растительные объекты (проросшие и не проросшие семена, листья, цветки и т.д.); 0,1 н. раствор Ва(ОН)<sub>2</sub> в бюретке, закрытой пробкой, в которую вставлена трубка с натронной известью; 0,1 н. раствор щавелевой кислоты (Н<sub>2</sub>С<sub>2</sub>О<sub>4</sub>) в бюретке, фенолфталеин в капельнице, весы, конические колбы (3 шт.) и резиновые пробки к ним, марля.

#### **2.4.2 Описание (ход) работы:**

*Вводные пояснения.* Под интенсивностью дыхания понимают количество СО<sub>2</sub>, выделенное единицей массы растения за единицу времени. Она зависит от возраста, интенсивности роста, органа, внешних и внутренних условий. Для определения интенсивности дыхания по количеству выделенного СО<sub>2</sub> в замкнутый сосуд помещают навеску исследуемого материала и определенное количество щелочи. Выделенный в процессе дыхания СО<sub>2</sub> реагирует со щелочью, в результате чего концентрация раствора уменьшается:



Через определенное время оставшуюся в колбе щелочь титруют:



Сравнивают полученную величину с результатом титрования такого же количества исходного раствора щелочи. Это необходимо для определения исходной концентрации щелочи и одновременно для учета того количества СО<sub>2</sub>, которое содержалось в сосуде до опыта, а также поглощаемого щелочью во время открывания сосуда. Разность между результатом титрования содержимого контрольного и опытного сосудов прямо пропорциональна количеству выделяемого при дыхании СО<sub>2</sub>.

Продолжительность экспозиции зависит от размера навески и интенсивности дыхания исследуемого объекта. Если время поглощения не велико, то разность между результатами титрования  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  в контрольной и опытных колбах будет не достоверной. И наоборот, если же в колбе окажется слишком мало щелочи, то может произойти неполное поглощение  $\text{CO}_2$ . Желательно поэтому подобрать такую экспозицию, чтобы на связывание  $\text{CO}_2$  было израсходовано 10-40 % щелочи.

Ход работы. Навеску исследуемого материала (5-10 г.) помещают в марлевый мешочек и прикрепляют его к пробке при помощи крючка, вставленного в пробку. Вносят в колбу 2 капли фенолфталеина и наливают 10 мл 0,1 н.  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ . Быстро опускают в колбу материал, плотно закрывают колбу пробкой и записывают время начала опыта.

В контрольную (пустую) колбу также наливают 10 мл 0,1 н.  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  и 2 капли фенолфталеина, а потом плотно закрывают пробкой. Колбы с объектами, содержащими хлорофилл, на все время опыта помещают в темноту для исключения процесса фотосинтеза. Время от времени колбы осторожно покачивают, чтобы разрушить пленку  $\text{BaCO}_3$ , препятствующую полноте поглощения  $\text{CO}_2$ , не допуская попадания ни одной капли раствора на мешочек с материалом.

Через 1-2 ч вынимают материал, быстро закрывают колбу пробкой и отмечают время окончания опыта. Проводят титрование оставшейся щелочи, приливая через отверстие в пробке 0,1 н. щавелевую кислоту до слабо-розовой окраски, исчезающей от одной капли кислоты. Чтобы избежать уменьшения концентрации раствора из-за поглощения углекислоты воздуха, титрование проводят через резиновую пробку с двумя отверстиями, одно из которых закрыто трубкой с натронной известью, а в другое плотно вставлен конец бюретки.

В контрольной колбе  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  можно титровать через 20 минут после помещения в нее раствора (за это время колбу необходимо периодически взбалтывать).

В работе используют варианты предложенные преподавателем. Результаты записывают в таблицу, делают вывод.

#### **Определение интенсивности дыхания.**

Вариант	Масса пробы, г	Количество $\text{Ba}(\text{OH})_2$ в колбе, мл	Продолжительность опыта, час	Пошло $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , мл		Интенсивность дыхания, мг/г час
				контроль	опыт	

Расчет интенсивности дыхания проводят по формуле:

$$X = \frac{(a - b) K_{2,2}}{mt},$$

где: а – количество  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , пошедшее на титрование  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  в контрольной колбе, мл;

в – количество  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , пошедшее на титрование  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  в опытной колбе, мл;

К – поправка к титру  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ;

2,2 - количество мг  $\text{CO}_2$ , эквивалентное 1 мл 0,1 н.  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ;

m – масса пробы, г;

t – продолжительность опыта, час.

#### **Определение активности фермента каталазы по Баху и Опарину.**

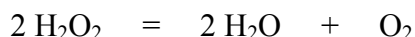
#### **2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Различные части растений (стебли, листья, семена), муфельная печь, тигли, щипцы для тиглей, вытяжной шкаф, весы, эксикатор, азотная кислота, 10 %- ныйраствор перекиси водорода, бюксы, сушильный шкаф.

#### 2.4.4 Описание (ход) работы:

*Вводные пояснения.* При окислении веществ в процессе дыхания в качестве побочного продукта образуется перекись водорода, оказывающая в высоких концентрациях токсическое действие на цитоплазму. Каталаза разлагает перекись водорода на воду и молекулярный кислород:

каталаза



Для определения активности каталазы могут служить самые разнообразные растительные объекты. Каталаза принадлежит к ферментам с пониженной термоустойчивостью. Температурный оптимум ее лежит в пределах от 0 до 10°C.

*Ход работы.* Берут 2 г листьев, растирают их в фарфоровой ступке с кварцевым песком, заливают 50 мл воды и настаивают 30 минут. Жидкость отфильтровывают через складчатый фильтр. Для определения берут 2 пробы по 20 мл: одну пробу кипятят (5 минут от начала кипения), убивая фермент, и она служит контролем. После остывания контрольной пробы в обе колбочки прибавляют по 20 мл воды и по 3 мл 1 %-ного раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Колбы оставляют стоять при комнатной температуре 15 или 30 минут, после чего, одновременно, в обе колбы прибавляют по 5 мл 10 %-ного раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Перекись водорода, не разложенную каталазой, титруют 0,1 н раствором  $\text{KMnO}_4$  до розовой окраски, исчезающей в течение минуты. Титрование идет по уравнению:



Активность каталазы выражается числом миллилитров 0,1 н. раствора  $\text{KMnO}_4$ . В контрольной пробе количество раствора  $\text{KMnO}_4$ , пошедшего на титрование, будет больше, чем в опытной. Активность каталазы определяется по разности числа миллилитров раствора  $\text{KMnO}_4$ , пошедшего на титрование контрольной и опытной пробы.

Результат пересчитывают на 1 г листьев и на единицу времени (1 час) по следующей схеме.

1. Определяем, какая навеска соответствует 20 мл вытяжки.

$$\begin{array}{l} 2 \text{ г} - 50 \text{ мл} \\ x \text{ г} - 20 \text{ мл} \end{array} X = 0,8 \text{ г}$$

2. Установим расход  $\text{KMnO}_4$  на титрование при навеске равной 1 г по пропорции:

$$0,8 \text{ г} - y_1 \text{ мл } \text{KMnO}_4$$

$$1 \text{ г} - y_2 \text{ мл } \text{KMnO}_4,$$

где  $y_1$  – количество 0,1 н.  $\text{KMnO}_4$ , пошедшее на титрование при навеске 0,8 г;

$y_2$  – количество 0,1 н.  $\text{KMnO}_4$ , которое пойдет на титрование при навеске равной 1 г.

Полученные результаты умножаем на 2, если продолжительность опыта 30 минут, или же на 4, если продолжительность опыта 15 минут.

Результаты опыта записывают в таблицу и делают выводы.

#### **Определение активности каталазы**

Вариант	Количество 0,1 н раствора $\text{KMnO}_4$ , пошедшее на титрование, мл		Активность каталазы, мл 0,1 н. раствора $\text{KMnO}_4$ на 1 г листьев в час.
	контрольная колба	опытная колба	

--	--	--	--

## 2.5. Лабораторная работа № 5. Минеральное питание

Микрохимический анализ золы растений. ( 2 часа)

### 2.5.1 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

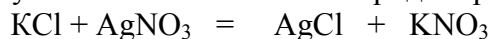
Зола, дистиллированная вода, 10 %-ный раствор соляной кислоты, 1 %-ный раствор серной кислоты, 10 %-ный раствор аммиака, 1 %-ный раствор фосфорнокислого натрия, 1 %-ный раствор молибденовокислого аммония в 1 %-ном растворе азотной кислоты, 1 %-ный раствор желтой кровяной соли, пробирки (2 шт.), воронка, бумажные фильтры, стеклянные палочки с заостренным концом, предметные стекла, пипетка, микроскоп, спиртовка, кусочки фильтровальной бумаги.

### 2.5.2 Описание (ход) работы:

*Вводные пояснения.* В золе, полученной после сжигания растительного материала, содержится большое количество элементов. Это и макроэлементы и микроэлементы. Для изучения химического состава золы можно использовать микрохимический метод, для которого требуется небольшое количество материала. Микрохимический метод основан на использовании реактивов, образующих при взаимодействии с химическим элементом кристаллы характерной формы, свойственной только этим солям, или дающих цветные реакции.

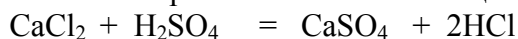
*Ход работы.* Готовят два раствора золы: в воде и в 10 %-ном растворе соляной кислоты. Для этого в фарфоровую чашечку помещают немного золы (1/4 см<sup>3</sup>), приливают 2 мл растворителя и тщательно размешивают стеклянной палочкой. Полученные растворы отфильтровывают. Все реакции, кроме реакций на хлориды и реакции берлинской лазури проводят на предметном стекле. Тонкими стеклянными палочками наносят на стекло капли испытуемого раствора и реактива на расстоянии 2-3 мм друг от друга, затем соединяют их тонким дугообразным канальцем. В месте соединения произойдет реакция, а по краям канальца – быстрая кристаллизация продуктов реакции. Кристаллический осадок рассматривают под микроскопом.

В водном растворе обнаруживают растворимые в воде хлориды. Реактивом служит азотнокислое серебро, результат – белые хлопья хлорида серебра. Реакция:

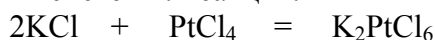


В вытяжке с соляной кислотой открывают:

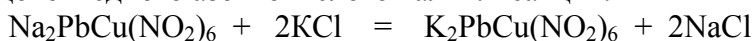
1. Кальций. Реактив – 1 %-ный раствор серной кислоты. Выпадают пучки игольчатых кристаллов гипса. Реакция:



2. Калий. Реактив – 1 %-ный раствор  $\text{PtCl}_4$ . Получается хлороплатинат калия, в виде желто-зеленых октаэдров и других кристаллов правильной системы. Реакция:

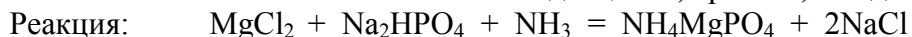


Для обнаружения калия может быть использован раствор комплексной соли  $\text{Na}_2\text{PbCu}(\text{NO}_2)_6$ . При этом образуются свинцово-черные и темно-коричневые кристаллы свинцово-медного азотнокислого калия. Реакция:



3. Магний. Каплю испытуемого раствора сначала нейтрализуют аммиаком, а затем соединяют с каплей 1 %-го раствора фосфорнокислого натрия. Кристаллы

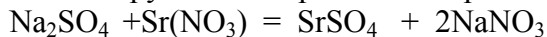
фосфорно-аммиачно-магнезиальной соли имеют вид ящичков, крышек, звезд или крыльев.



4. Фосфор. Реактив – 1 %-ный раствор молибденовокислого аммония в 1 %-ном растворе азотной кислоты. Получается зеленовато-желтый скрытокристаллический осадок фосфорно-молибденового аммиака. Реакция:

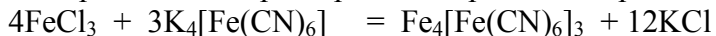


5. Сера. Реактив – 1 %-ный раствор азотнокислого стронция. Образуются мелкие закругленные кристаллы сернокислого стронция. Реакция:



6. Железо. Реактив – 1 %-ный раствор железистосинеродистого калия (желтая кровяная соль). Открытие элемента проводят в фарфоровой чашке.

Происходит характерное для реакции берлинской лазури посинение раствора:



В ходе работы зарисовывают соответствующие кристаллы и отмечают, какие элементы встречаются в золе. Результаты записывают в таблицу, делают выводы.

#### ***Наличие химических элементов в золе растений***

№ п/п	Химический элемент	Отметка о наличии	Рисунок кристалла	Примечание

## **2.6 Лабораторная работа № 6. Рост и развитие растений**

Определение жизнеспособности семян биохимическим методом (методом окрашивания). (2 часа)

### **2.6.1 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Семена пшеницы, ячменя или кукурузы, 0,1 %-ный раствор индигокармина или кислого фуксина, дистиллированная вода, лупа, лезвие, препаровальная игла, колбы на 50 мл.

Семена люцерны синей, термостат, чашки Петри, пинцет, фильтровальная бумага, 0,5 %-ный раствор NaOH.

### **2.6.2 Описание (ход) работы:**

Ход работы. Окрашивание тканей кислым фуксином. Чтобы определить состояние клеток стеблевого конуса нарастания, через нижнюю полусантиметровую часть побега, по центру его, делают продольный срез и берут для анализа только одну половину. Полученный срез погружают в 0,3 %-ный раствор фуксина на 15 минут. По истечению времени при помощи пипетки или капельницы раствор красителя смывают до тех пор, пока стекающая вода не станет бесцветной. Затем срезы накрывают покровными стеклами и рассматривают под микроскопом при увеличении  $\times 70 \dots \times 100$ .

Состояние побега оценивают по тому месту среза, где находится конус нарастания, окружающие его листочки и нижняя стеблевая часть. Живые клетки тканей после окрашивания кислым фуксином и промывания водой остаются бледно-зелеными или бесцветными, поврежденные окрашиваются в слабо-розовый, погибшие становятся ярко-красными. При просмотре срезов обращают внимание на следующее: не окрашена ли в розовый цвет тонкая прослойка клеток стеблевой части побега под конусом нарастания (при этом повреждении отмирание побега может произойти очень поздно – перед колошением – образовавшиеся колосья могут быть бесплодными). Кроме того, отмечают, не окрашены ли в красный или розовый цвет клетки стеблевой части побега и клетки конуса нарастания, что свидетельствует о больших повреждениях посевов.



Если главный побег жизнеспособен, другие побеги не анализируют. Если же главный побег нежизнеспособен, анализируют второй, а в случае его повреждения – последующие побеги. Степень повреждения растений выражают в процентах от общего числа побегов в пробе. Полученные результаты заносят в таблицу, делают выводы.

#### **Определение жизнеспособности растений**

Вариант	Побег	Состояние конусов нарастания побегов		Количество живых растений, % общего их числа	Оценка состояния посевов
		число живых	число поврежденных		

Окрашивание тканей тетразолом. В обычном состоянии тетразол (трифенилтетразолхлорид) – бесцветное вещество. В живых же клетках под действием ферментов он превращается в ярко окрашенный продукт – формазин, который накапливается в виде кристаллов малинового или темно-вишневого цвета. Мертвые нежизнеспособные клетки окраски не приобретают.

Пробы для анализа готовят также как и при использовании кислого фуксина. Половинки стебля длиной 5 мм с обнаженным конусом нарастания заливают 0,5 %-ным раствором тетразола и помещают на 1 час в термостат при 40<sup>0</sup>С. После этого подсчитывают число живых и погибших растений. У живых растений конус нарастания окрашивается в оранжевый или красный цвет, у погибших – не окрашивается. Результаты записывают по форме, приведенной для окрашивания тканей кислым фуксином.

### **2.7. Лабораторная работа № 7. Приспособление и устойчивость растений.**

Определение засухоустойчивости по водоудерживающей способности тканей. (2 часа)

#### **2.7.1 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Растения различных сортов мягкой и твердой пшеницы, ячменя, торзионные или аналитические весы, термостат, сушильный шкаф, стаканы, насыщенный раствор CaCl<sub>2</sub>, ножницы.

#### **2.7.2 Описание (ход) работы:**

*Вводные пояснения.* Из многочисленных лабораторно-аналитических методов, с помощью которых можно судить об отдельных механизмах засухоустойчивости, следует выделить, прежде всего, методики оценки различных показателей водного режима, которые свидетельствуют о способности растений защищаться от засухи с помощью физиологических приспособлений. Наиболее значимым из показателей водного режима является водоудерживающая способность.

Устойчивые сорта отличаются тем, что в процессе засухи механизмы водоудерживания действуют у них более длительное время. В связи с этим информативность данного показателя резко возрастает, если определить его в динамике, в ходе углубления засухи. Для анализа берут здоровые, интенсивно функционирующие, но закончившие рост листья и другие органы.

*Ход работы.* Для анализа обычно берут 3 - 4 повторности по 3 - 4 листа в каждой. Листья срезают, взвешивают на торзионных или аналитических весах, а затем помещают на специальные сетки для завядания в термостат, где поддерживают постоянную температуру воздуха (от 20 до 30<sup>0</sup>С) и относительно стабильную влажность воздуха за счет стаканов с насыщенным раствором хлористого кальция. Время завядания листьев мягкой пшеницы – 3 - 4 ч, твердой пшеницы – 4 - 5 ч, ячменя – 5 - 6 ч. За это

время листья потеряют не менее 40 - 50 % воды от общего ее содержания. После завядания материал снова взвешивают, по разности определяют количество потерянной воды. Затем листья высушивают при 105<sup>0</sup>С для определения сухой массы и подсчитывают общее содержание воды в навеске. По разности между общим исходным содержанием воды и количеством потерянной воды определяют содержание оставшейся в растении воды. Водоудерживающую способность можно охарактеризовать как по относительному количеству потерянной воды (в случае, если растения выращивали при достаточной влагообеспеченности или в условиях слабой засухи), так и по относительному содержанию оставшейся после завядания воды (когда растения, в силу жесткой засухи, уже до завядания значительно обезвожены).

Полученные данные заносят в таблицу. Расчет водоудерживающей способности производят в процентах от общего содержания воды по формулам:

$$a = \frac{B - b}{A} \cdot 100, \% \quad \text{или}$$

$$a = \frac{b - B}{A} \cdot 100, \%$$

где а- водоудерживающая способность; А- содержание воды в листьях до завядания, г; б- сырая масса листьев после завядания, г; В - исходная сырая масса листьев, г; В - сухая масса листьев, г.

**. Определение водоудерживающей способности листьев**

Вариант	Повторность	Масса листьев, г			Содержание воды в листьях до завядания (А)	Водоудерживающая способность, % (а)
		исходная (Б)	после завядания (б)	после высушивания (В)		

По результатам расчета водоудерживающей способности листьев делают выводы о засухоустойчивости растений.

## 2.8 Лабораторная работа № 8. Физиология и биохимия формирования качества урожая

Обнаружение запасных и других веществ в растениях гистохимическим методом (2 часа)

### 2. 8.1 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Набухшие зерновки злаков, семена бобовых, клещевины, конопли, льна, семечки подсолнечника, клубни картофеля, георгины, топинамбура, луковица лука, корень моркови, плоды груши, винограда, раствор J в KJ, спирт, жидкость Фелинга, осмиевая кислота (от 0,25 до 10 %), глицерин, микроскоп, спиртовка, предметные и покровные стекла.

### 2. 8.2 Описание (ход) работы:

*Вводные пояснения.* Для обнаружения запасных веществ берут набухшие семена различных растений, плоды, корнеплоды: для глюкозы и фруктозы - корнеплод моркови, луковицу лука, плоды груши или винограда; для крахмала – зерновки злаков, клубни картофеля; для инулина – клубни топинамбура; для жиров – семена клещевины, подсолнечника, конопли, льна; для белков – семена бобовых.

*Ход работы.* Реакции проводят с использованием срезов, на предметном стекле. Для каждой реакции берут свежий срез.

1. Крахмал. Реактив – раствор йода в йодистом калии. На срез (например, клубня картофеля, набухшего зерна пшеницы) наносят каплю этого раствора. Наблюдают реакцию. Срез, содержащий крахмал, окрашивается в синий цвет.
2. Инулин. Клубни топинамбура помещают на 14 дней (не менее) в 50 % -ный раствор спирта. Затем делают срезы и рассматривают их под микроскопом. На стенках клеток будут видны сферокристаллы выделившегося инулина.
3. Глюкоза или фруктоза. Реактив – жидкость Фелинга, приготовленная по рецепту Пастера. Срезы берут не очень тонкие (в 3 - 4 слоя неповрежденных клеток). После приготовления срезов их ополаскивают в воде, помещают на предметное стекло в каплю разбавленной жидкости Фелинга и осторожно нагревают. В присутствии восстанавливающих сахаров образуется красный осадок  $\text{Cu}_2\text{O}$ .
4. Жиры. Реактив - осмиевая кислота (слабый раствор - от 0,25 до 1,0 %). Срезы погружают в каплю кислоты, закрывают покровным стеклом и рассматривают в микроскоп. Осмиевая кислота окрашивает жир в бурый или черный цвет.
5. Белки. Реактив – йод в растворе йодистого калия. Срез помещают на предметное стекло в каплю глицерина, к которому прибавляют каплю реактива. Закрывают срез покровным стеклом и рассматривают в микроскоп. Белок окрашивается в золотисто-желтый цвет.

Полученные результаты заносят в таблицу.

#### **Обнаружение запасных веществ**

Вид растения	Орган растения	Наличие органического вещества (+;-)	Вид органического вещества	Примечание

#### **Определение амилазы в прорастающих семенах**

*Материалы и оборудование.* Проросшие семена пшеницы, ячменя и гороха, фарфоровые ступки с пестиками, кварцевый песок, центрифужные пробирки на 50 мл, градуированные пипетки на 1,5 и 10 мл, мерные цилиндры на 25 мл, весы, водяная баня или термостат, мерные колбы на 50 мл, конические колбы на 100 мл, центрифуга, фотозлектроколориметр ФЭК – 56М, растворы: 1 %-ный раствор NaCl; 0,2 н. ацетатный буфер (pH 5,5); 2 %-ный раствор крахмала; 1 н. раствор HCl; 0,1 н. раствор HCl.

*Вводные пояснения.* В процессе прорастания семян крахмал распадается на более простые соединения. Гидролитический распад крахмала может проходить при участии четырех видов гидролаз:  $\alpha$ -амилазы,  $\beta$ -амилазы, глюкоамилазы и амилопектин-1,6-глюкозидазы. По мере набухания семян, в период прорастания, возрастает активность гидролитических ферментов, при этом содержание крахмала падает, а сахаров – возрастает.

Определение суммарной активности амилаз включает выделение амилаз раствором NaCl, инкубацию их со стандартным раствором крахмала в течение заданного промежутка времени и фотоколориметрическое определение негидролизованного амилазами остаточного крахмала. Активность амилаз выражается в миллиграммах гидролизованного крахмала за 1 час на 1 мл раствора ферментов.

*Ход работы.* Взвешивают 4 грамма проросших семян пшеницы, ячменя или гороха, помещают в фарфоровую ступку, добавляют немного промытого и прокаленного кварцевого песка, 10 мл 1%-ного раствора NaCl и тщательно растирают до получения однообразной мелкодисперсной кашицы. Добавляют еще 5 мл раствора NaCl и продолжают растирать. Затем суспензию количественно переносят в центрифужную пробирку на 50 мл. Ступку и пестик несколько раз ополаскивают небольшими порциями NaCl и сливают их в пробирку, следя, чтобы общий объем жидкости не превысил 40 - 45 мл. В пробирку помещают стеклянную палочку и содержимое тщательно перемешивают,

после чего оставляют на 1 час в холодильнике (далее перемешивают через каждые 15 минут). Затем пробирку вынимают из холодильника и центрифугируют 15 минут. Надосадочную жидкость (препарат амилаз) осторожно сливают в чистую сухую колбу, закрывают ее и при необходимости помещают в холодильник.

Активность амилаз, выделенных из того или иного объекта, определяют при помощи специально приготовленных растворов чистого крахмала заданной концентрации. В две градуированные на 10 мл чистые сухие пробирки вносят по 3 мл 0,2 н. ацетатного буфера с pH 5,5 и по 3 мл 2 %-ного раствора крахмала. Осторожным встряхиванием содержимое пробирок перемешивают и ставят на водяную баню, нагретую до 40<sup>0</sup>С. По достижении указанной температуры в одну пробирку приливают 0,5 мл ферментного препарата (опыт), а во вторую пробирку вместо ферментного препарата вносят 0,5 мл воды. Смесь в пробирках осторожно перемешивают и вновь помещают на 30 минут на водяную баню, нагретую до 40<sup>0</sup>С.

Через 30 минут инкубирования в реакционную смесь каждой пробирки, для остановки реакции, вносят по 2 мл 1 н. раствора HCl, содержимое перемешивают. Затем из каждой пробирки берут по 0,5 мл смеси и вносят в мерные колбы на 50 мл, которые заранее до половины заполнены водой и в них внесено по 1 мл 0,1 н. раствора HCl и по 5 капель 0,3 %-ного раствора йода в 3 %-ном растворе KI. Колбы доводят до метки водой, закрывают и хорошо перемешивают содержимое.

Окрашивание смеси лучше проводить во времени с интервалами 3 минуты, стремясь к тому, чтобы период от начала окрашивания до фотоколориметрирования для каждой колбы был примерно одинаковым (в среднем 3 мин). Фотоколориметрирование проводят при красном светофильтре.

Активность амилаз рассчитывают по формуле:

$$AA = \frac{E_k - E_0}{E_k} \cdot \frac{2 \cdot 2}{60},$$

где AA – активность амилаз - мг гидролизованного крахмала за 1 ч на 1 мл ферментного раствора,

$E_k - E_0$  - светопоглощение, соответственно, контрольного и опытного растворов в единицах шкалы прибора,

$2 \cdot 2$  – коэффициенты пересчета на 1 ч и 1 мл ферментного раствора,

60 – коэффициент пересчета на 1 мг крахмала (3 мл 2 % раствора соответствуют 60 мг).

Полученные результаты заносят в таблицу, делают выводы.

Вариант	Условия опыта	№ колбы	Светопоглощение растворов, единиц прибора		AA, мг гидролизованного крахмала за 1 час на 1 мл ферментного раствора
			контрольного	опытного	

### 3.Методические указания по подготовке к практическим занятиям

### **3.1 Практическое занятие № 1. Применение методов листовой диагностики минерального питания. (2 часа)**

#### **3.1.1. Описание (ход) работы:**

Диагностика питания растений, определение степени обеспеченности растений питательными веществами в период их вегетации. Д. п. р. позволяет установить недостаток того или иного питательного элемента в растении и своевременно проводить подкормку. Наиболее распространены два метода Д. п. р. — визуальный и химический. Известны также приёмы диагностики, основанные на введении питательных веществ в вегетативные части растений (по типу некорневого питания).

Визуальная диагностика — определение недостаточности минерального питания растений по цвету, форме и величине листьев и пятен отмерших тканей и др. внешним признакам. При недостатке азота (азотное голодание) листья приобретают бледно-зелёную окраску, переходящую у некоторых растений в оранжевую и красную, или начинают отмирать ткани листа от верхушки к основанию (кукуруза). Признаком фосфорного голодания служит тёмно-зелёная с голубоватым оттенком, фиолетовая (кукуруза, сорго, томат) или пурпурная (капуста) окраска листьев; по краям нижних листьев появляются пятна бурого или чёрного цвета. Калийное голодание вызывает морщинистость листовых пластинок, укороченность междоузлий, потерю тургора, тёмно-зелёную с голубоватым или бронзовым (картофель, томаты) оттенком окраску листьев, пожелтение, побурение и отмирание тканей по краям их. При недостатке магния листья бледнеют, что связано с уменьшением в них хлорофилла, между жилками образуются пятна различных оттенков, наблюдается ломкость листьев. Недостаток железа приводит к хлорозу верхних молодых листьев, отмиранию тканей по краям их, засыханию побегов; бора — к слабому цветению и плодообразованию, отмиранию верхушечных почек, хлорозу листьев; меди — к хлорозу молодых листьев, потере тургора, замедлению процесса образования семян; марганца — к узорчатости листьев и появлению на них мелких пятен из отмирающих тканей; цинка — к пожелтению, пятнистости, розетчатости и асимметричности листьев, укороченности междоузлий; молибдена — к пожелтению листьев, а у бобовых растений — к слабому развитию на корнях клубеньков. Метод визуальной диагностики прост, не требует специального оборудования, но не совсем точен, т.к. иногда внешние признаки голодания от недостатка разных элементов имеют сходство. Кроме того, вредители, болезни и неблагоприятные условия погоды могут вызвать изменения внешнего вида растений, похожие на симптомы голодания. В таких случаях нужно подтвердить диагноз химическим анализом.

Химическая диагностика — определение недостаточности питания растений по результатам химического анализа листа, сока, среза или вытяжки из черешков, жилок и стеблей. На основе результатов химического анализа на отдельные элементы устанавливают содержание элементов в растении и определяют их недостаток. Более простой способ химической диагностики состоит в капельном анализе сока из черешков или жилок листа с помощью полевой лаборатории Магницкого, а также в проведении анализов непосредственно на срезах растений прибором Церлинг ОП-2. Полученное при этом окрашивание сока или срезов сравнивают с эталонами.

Нарушение нормального питания растений и обмена веществ в них вызывает не только недостаток, но и избыток отдельных элементов. Чтобы полнее выявить условия питания растений и более эффективно применять удобрения, очень важно располагать данными диагностики в отдельные фазы развития растения и результатами почвы анализа.

## **3.2 Практическое занятие № 2. Физиологические основы устойчивости растений (2 часа)**

### **3.2.1 Описание (ход) работы:**

**Физиологические основы устойчивости растений** В процессе своей жизнедеятельности растения подвергаются воздействию самых разных неблагоприятных факторов среды, или стрессоров. Наиболее распространенные стрессоры – засуха, высокая и низкая температура, недостаток кислорода, избыток солей в почве и т.д. Однако растения способны выживать даже в неблагоприятных условиях благодаря наличию у них свойства устойчивости – способности сохранять относительно стабильное внутреннее состояние (гомеостаз) в меняющихся условиях среды. В агрономическом смысле устойчивость – это способность растений давать достаточно стабильный урожай в неблагоприятных условиях среды.

#### **Адаптация**

При полностью благоприятных окружающих условиях в растении происходит определенный набор физиологических процессов. Если на такое растение подействовать каким-либо стрессором, то растение изменяет этот набор реакций таким образом, чтобы минимизировать вредное действие стрессора. Такое изменение называется адаптацией. Если бы растение не имело способности адаптироваться, то оно погибло бы даже при слабом стрессовом воздействии. Например, искусственно получены растения-мутанты, которые неспособны закрывать устьица; такие растения гибнут даже при очень слабом водном дефиците.

Процесс адаптации растения к действию неблагоприятного фактора среды состоит из 4 фаз: повреждение (1), возбуждение (2), закалка (3) и репарация (4):

1. Повреждение – из-за воздействия стрессора нарушается нормальное функционирование систем растения
2. Возбуждение – в ответ на повреждение в организме растения запускаются различные механизмы, которые должны снизить степень вредного влияния на растение
3. Закалка – эти механизмы начинают действовать, и с их помощью метаболизм растения изменяется так, чтобы действие повреждающего фактора было наименьшим. В результате растение приспособляется к действию неблагоприятного фактора.
4. Репарация – после того как растение приспособилось к неблагоприятному фактору и ему уже не грозит гибель, оно начинает восстанавливать структуры, поврежденные в ходе предыдущих 3 фаз.

Следует помнить, что растение (даже с самыми совершенными механизмами адаптации к определенному стрессору) при воздействии данного стрессора всегда будет развиваться хуже, чем в оптимальных условиях; например, хлопчатник хорошо приспособлен к высокому содержанию солей в почве, но тем не менее на незасоленных почвах он развивается намного лучше, чем на засоленных. Кроме того, на перестройку метаболизма растения в процессе адаптации тратится много веществ и энергии. По этим 2 причинам любой стрессор снижает продуктивность с/х растений – как восприимчивых, так и устойчивых. Устойчивые сорта отличаются от восприимчивых только тем, что амплитуда колебания на кривой у них меньше, т.е. их метаболизм подстраивается под действие стрессора с меньшими тратами энергии и испытывает от действия стрессора меньшее угнетение, чем метаболизм восприимчивых сортов.

#### ***Механизмы адаптации растений***

Адаптация к действию стрессора у растений может осуществляться различными способами. Однако ключевым фактором здесь является время, которое растение имеет того, чтобы адаптироваться. В зависимости от длительности адаптации механизмы адаптации делят на 3 типа: эволюционные, онтогенетические и срочные.

*Эволюционные адаптации* – это адаптации, которые формируются в результате постоянного действия определенного неблагоприятного фактора на множество последовательных поколений растений. Эволюционные адаптации постоянны – они функционируют в растении вне зависимости от того, действует на него данный стрессор или нет; также они передаются по наследству. Например, у кактусов для уменьшения транспирации листья превратились в колючки; естественно, что даже если кактус выращивать в условиях хорошей влагообеспеченности, колючки не превратятся обратно в листья. Таким образом, в отличие от других типов адаптации, которые включаются в растении только в ответ на действие стрессора, эволюционные адаптации действуют постоянно.

Однако в с/х производстве чаще приходится встречаться не с постоянно действующими стрессорами, а с временным их воздействием – например, в 3 года из 10 наступает засуха. Для приспособления к таким стрессорам существует 2 типа адаптаций – онтогенетические и срочные.

*Онтогенетические адаптации* – это приспособление растения к определенным условиям, возникающим в ходе индивидуального развития данного растения. Например, при понижении температуры ниже оптимума в мембранах растительных клеток увеличивается доля ненасыщенных жирных кислот, которые не дают мембране терять текучесть. Онтогенетические адаптации не передаются по наследству. Онтогенетические адаптации для своего проявления требуют достаточно много времени: естественно, что увеличить долю ненасыщенных жирных кислот в мембранах за несколько секунд невозможно – необходимо синтезировать эти кислоты, транспортировать их к мембране, встроить и т.д., а все это требует времени.

Однако в природе нередко встречаются ситуации, когда растение подвергается быстрому, неожиданному и интенсивному воздействию стрессора – например, заморозку, засухе и др. В этом случае онтогенетические адаптации «не успеют» приспособить растение к стрессору, и поэтому в растении включаются механизмы *срочной адаптации*. Задача срочной адаптации – в течение короткого времени поддержать жизнедеятельность растения, пока не включатся механизмы онтогенетической адаптации. Любые механизмы срочной адаптации всегда требуют для работы огромных затрат энергии и ресурсов, поэтому они не могут поддерживать существование растения в течение длительного времени. Единственное и важнейшее преимущество этих механизмов – быстрота ответа на стрессор. К системам срочной адаптации относится, например, система белков теплового шока, которая включается в ответ на резкое повышение температуры.

#### ***Активная и пассивная адаптация***

Кроме вышеприведенной классификации, все механизмы адаптации можно разделить на 2 группы – активные и пассивные

##### ***Активная адаптация***

Активная адаптация – это активное противодействие растения неблагоприятному фактору. Для осуществления активной адаптации в растении обязательно должен начаться синтез новых белков (в т.ч. ферментов), которые обеспечивают жизнедеятельность растения в неблагоприятных условиях. Бытовым примером активной адаптации – человек начинает дрожать при низкой температуре; в результате мышечной дрожи энергия АТФ превращается в тепловую энергию, и организм человека согревается. У растений типичным механизмом активной адаптации является система белков теплового шока.

##### ***Пассивная адаптация***

Пассивная адаптация – это избегание повреждающего действия стрессора или сосуществование с ним. Например, у многих пустынных растений листья покрыты толстой блестящей кутикулой, которая уменьшает нагрев листа и снижает практически до нуля испарение воды с поверхности эпидермиса листьев. Некоторые растения, живущие на почвах, загрязненных тяжелыми металлами, изолируют поглощенные ионы тяжелых металлов в малоактивных клеточных органеллах – вакуолях, а также в стареющих листьях и тем самым без вреда для себя «сосуществуют» с тяжелыми металлами. Многие растения пошли по стратегии избегания еще дальше – на время действия неблагоприятного фактора они гибнут или впадают в состояние глубокого покоя. Например, пустынные растения-эфемеры в течение короткого (1,5-2 мес.) периода дождей полностью проходят вегетацию и дают семена, а с окончанием периода дождей отмирают; древесные растения умеренных широт на зиму сбрасывают листву и впадают в состояние глубокого покоя.