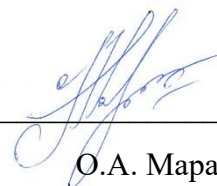


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»**

Кафедра ботаники и микробиологии

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  
биологии и экологии



---

О.А. Маракаев  
«19» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

«Специальная дисциплина в соответствии с темой диссертации на соискание  
ученой степени кандидата наук по научной специальности  
1.5.21 Физиология и биохимия растений»

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Форма обучения очная

Программа одобрена на заседании кафедры  
ботаники и микробиологии  
протокол № 9 от «18» апреля 2023 года

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины:

Целью освоения дисциплины является усвоение аспирантами знаний о природе физиологических процессов растительного организма; изучение механизмов регуляции и основных закономерностей взаимодействия растительного организма с окружающей средой; формирование у аспирантов научного представления об эволюции функций и роли растений в биосфере.

### 2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Данная дисциплина является обязательной для освоения и направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности 1.5.21 Физиология и биохимия растений по отрасли наук: биологические.

### 3. Планируемые результаты освоения дисциплины:

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- процессы жизнедеятельности растения, молекулярные основы, функции и механизмы их регуляции в системе целого организма;
- основные закономерности взаимоотношений растительного организма с окружающей средой;
- эволюцию функций и роль растений в биосфере и поддержании в ней равновесия;
- физико-химический, экологический и эволюционный аспекты физиологии растений.

Уметь:

- оценивать специфику растений по сравнению с другими живыми организмами;
- применять биохимические, физико-химические методы и приборы для проведения физиологических исследований.

Владеть:

- методами исследований функций растительного организма на различных уровнях организации – субклеточном, клеточном, организменном, биоценоотическом;
- физиологическими методами исследований в прикладных отраслях растениеводства и биотехнологии.

### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	
1	Общие вопросы	2	1				26	
2	Основные компоненты растительного организма и их функции	2	1				20	Собеседование

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	
3	Растительная клетка	2	2			2	20	Собеседование
4	<b>Всего за 2 семестр</b>		<b>4</b>			<b>2</b>	<b>66</b>	<b>72</b>
5	Биоэнергетика растительного организма	3	2				28	Собеседование
6	Водообмен	3	1				20	Собеседование
7	Минеральное питание	3	1				20	Собеседование
8	<b>Всего за 3 семестр</b>		<b>4</b>				<b>68</b>	<b>72</b>
9	Рост и развитие растений	4	2				34	Собеседование
10	Устойчивость растений к неблагоприятным факторам	4	2				34	Реферат Собеседование
11	<b>Всего за 4 семестр</b>		<b>4</b>				<b>68</b>	<b>72</b>
12	Взаимодействие физиологических процессов, их интеграция и согласованное функционирование органов	5	4			2	48	Задания для самостоятельной работы Собеседование
13							18	Кандидатский экзамен
14	<b>Всего за 5 семестр</b>		<b>4</b>			<b>2</b>	<b>66</b>	<b>72</b>
	<b>Всего 288 час.</b>		<b>16</b>			<b>4</b>	<b>268</b>	

### Содержание разделов дисциплины:

#### 1. Общие вопросы

Объекты биохимии и физиологии растений – эукариотические фототрофные организмы. Уникальные особенности растительного организма: фото- и автотрофность. Автотрофность в отношении усвоения минеральных элементов. Специфика обмена зеленых растений по сравнению с другими организмами. Космическая роль зеленого растения. Значение фотоавтотрофов в создании и поддержании газового состава атмосферы, водного, почвенного и климатического режима на планете.

Организация и координация функциональных систем зеленого растения. Физико-химический, экологический и эволюционный аспекты.

Методологические основы исследований в биохимии и физиологии растений. Специфические методы биохимии и физиологии растений. Сочетание различных уровней исследования (субклеточный, клеточный, организменный, биоценотический) в биохимии и физиологии растений.

Физиология и биохимия растений – теоретическая основа растениеводства и новых отраслей биотехнологии.

## **2. Основные компоненты растительного организма и их функции**

### **2.1. Углеводы.**

Особенности состава и метаболизма углеводов растений. Моносахариды, их структура и взаимопревращения, основные представители. Моносахара, как субстраты для синтеза других веществ. Фосфорные эфиры сахарозы и нуклеозиддифосфаты - активированные формы углеводов. Взаимопревращения моносахаридов, эпимеризация, альдо-кетозомеризация, фосфому-тазные реакции. Транскетолазные и трансальдолазные реакции. Олигосахариды, их состав, структура, основные представители. Сахароза; локализация ее синтеза и функции. Полисахариды: состав, типы связей, ветвление. Полисахариды запасные и структурные. Структура крахмала и его деградация. Образование крахмальных зерен в запасующих органах.

### **2.2. Липиды.**

Общие свойства липидов, классификация, номенклатура. Насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты: классификация, синтез, катаболизм и функции. Особенности строения ненасыщенных жирных кислот растений. Редкие жирные кислоты. Триглицериды и их функции. Полярные липиды: фосфо- и гликолипиды, их роль в обмене. Стероиды. Особенности растительных стероидов, фитостерины. Гликозиды, ацилгликозиды, эфиры стеринов. Биологические мембраны, специфика различных мембран растительной клетки.

### **2.3. Аминокислоты и белки.**

Структура и ионные свойства аминокислот. Протеиногенные аминокислоты. Аминосоединения, синтезируемые первично из минерального азота и синтез аминокислот. Реакции переаминирования. Ключевая роль глутаминовой кислоты в метаболизме аминокислот. Семейства аминокислот, которые происходят из пирувата, оксалоацетата, 2-оксоглутарата, шикимата и продуктов цикла Кальвина. Функции свободных аминокислот и аминокислот в составе белковых молекул. Реакции дезаминирования и декарбоксилирования аминокислот. Аминокислоты как субстраты синтеза других азотсодержащих соединений. Небелковые аминокислоты растений.

Первичная структура молекулы полипептида (пептидная связь. С- и N- конец полипептида). Фибриллярные и глобулярные белки. Ионные свойства полипептидов: рКа ионогенных групп, изоэлектрическая точка. Элементы вторичной структуры белков — α-спираль и β-структура. Третичная и четвертичная структура белков. Дисульфидные и водородные связи, ионные и гидрофобные взаимодействия. Роль отдельных аминокислот в образовании и поддержании пространственной структуры белковой молекулы. Белковые комплексы. Понятие субъединицы. Функциональная классификация белков.

### **2.4. Нуклеотиды и нуклеиновые кислоты.**

Пуриновые и пиримидиновые основания. Нуклеозиды и нуклеотиды: структура, синтез, функции. Нуклеозидполифосфаты. Циклические нуклеотиды и их роль. Нуклеотидные коферменты и переносчики соединений, их основные типы и биологическое значение.

Нуклеиновые кислоты: первичная структура, нуклеотидный состав. Вторичная и третичная структура ДНК. Структура РНК. Типы РНК (информационная, транспортная, рибосомальная).

### **2.5. Вещества специализированного обмена растений (вторичные метаболиты).**

Особенности соединений, которые относят к вторичным метаболитам. Основные классы вторичных метаболитов: строение, классификация и распространение.

*Алкалоиды:* протоалкалоиды, псевдоалкалоиды, истинные алкалоиды. Основные группы истинных алкалоидов.

*Изопреноиды* (терпеноиды). Основные группы изопреноидов (моно-, сескви-, ди- три- и тетратерпеноиды, полимерные изопреноиды). Каротиноиды: химическая природа и строение, физико-химические свойства.

*Фенольные соединения*. Основные группы фенольных соединений (фенолокислоты, фе-нилпропаноиды, стильбены, флавоноиды и изофлавоноиды, полимерные фенольные соединения).

*Минорные классы вторичных метаболитов*. Небелковые аминокислоты, цианогенные гликозиды, серусодержащие гликозиды (глюкозинолаты), растительные амины, необычные липиды (жирные кислоты, цианолипиды), беталины, полиацетиленовые производные, алкамиды, тиофены. Основные представители вторичных соединений каждого класса и их распространение среди растений разных видов.

*Пути биосинтеза* основных классов вторичных метаболитов. Предшественники биосинтеза вторичных метаболитов. Точки "ответвления" вторичного метаболизма от первичного. Модификации вторичных метаболитов (гликозилирование, гидроксилирование, метоксилирование, метилирование). Энзимология синтеза вторичных метаболитов. Основные ферменты биосинтеза алкалоидов, изопреноидов, фенольных соединений, их характеристика. Дублирование путей синтеза вторичных метаболитов. Немевалонатный путь синтеза изопреноидов, его локализация и значение.

### 2.7. Ферменты и механизмы их действия.

Характеристика ферментов как высокоспециализированных белковых катализаторов. Алифатическая и простетическая части фермента. Кофакторы ферментной реакции. Энергетическая основа катализа: активный центр фермента. Специфичность действия ферментов. Ферментная кинетика. Фермент-субстратный комплекс. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Величины  $K_m$  и  $V_{max}$ , их биологический смысл. Ингибирование ферментов. Действие pH и температуры на скорость ферментной реакции. Конкурентное, неконкурентное и необратимое ингибирование. Механизмы регуляции ферментной активности. Регуляция по принципу обратной связи: активация и ингибирование. Аллостерическая регуляция. Индукция и репрессия синтеза. Изозимы и конформеры. Регулирование с участием протеинкиназ.

## 3. Растительная клетка

Особенности строения, структурная и функциональная организация растительной клетки. Симбиогенная гипотеза возникновения растительной клетки.

*Ядро*. Особенности организации ядерного генома растений. Структура генома, полиморфизм растительной ДНК. Копийность разных генов и участков ДНК. Особенности метилирования растительной ДНК и его влияние на экспрессию ядерных генов. Мобильные генетические элементы растений (транспозоны). Ретротранспозоны и ДНК-транспозоны. As и Ds - элементы.

*Пластидная система*. Типы пластид, особенности строения, онтогенез. Геном пластид. Прокариотические черты и копияность пластидного генома. Полицистронный тип репликации пластидных генов. Мозаичная структура пластидных генов. Созревание пластидной РНК, сплайсинг и редактирование транскриптов. Стабильность пластидной РНК. Белки, кодируемые пластидным геномом. Синтез белка в пластидах и его регуляция светом. РНК-полимеразы пластид, пластидные рибосомы. Двойное кодирование (ядерное и пластидное) большинства компонентов фотосинтетического аппарата: ФС1, ФСП,  $b_6f$ -комплекса, ССК, АТФ-синтазы, пластидной НАД-Н-дегидрогеназы, Rubisco. Транспорт ядерно-кодируемых белков в пластиды. Размножение и наследование пластид.

*Митохондрии растений*. Особенности строения митохондрий растений. Особенности структуры митохондриального генома растений. Прокариотические черты и размер митохондриального генома растений. Мозаичная структура митохондриальных генов, сплайсинг и редактирование транскриптов. Белки, кодируемые митохондриальным геномом. Особенности синтеза белка в митохондриях, рибосомы митохондрий, транспорт белков и некоторых т-РНК из ядра в митохондрию. Двойное кодирование (ядерное и

пластидное) большинства белков дыхательной ЭТЦ: НАД-Н-дегидрогеназы, сукцинат-дегидрогеназы, bc-комплекса, цитохром-оксидазы, АТФ-синтазы.

Перенос генетического материала между органеллами. Совместная работа трех геномов.

*Мембранные системы растительной клетки.* Плазмалемма, тонопласт, ЭПР, аппарат Гольджи.

Особенности строения плазмалеммы. Транспортные системы плазмалеммы, протонная энергетика транспортных систем,  $H^+$ -АТФаза Р-типа.

Особенности строения тонопласта. Транспортные системы тонопласта.  $H^+$ -АТФаза V-типа, пирофосфатаза.

Эндоплазматический ретикулум (ЭР) растительной клетки. Шероховатый и гладкий ЭР. Различные функциональные участки растительного ЭПР. Сигнальные последовательности белков, транспортируемых в ЭПР. KDEL-последовательность. Функции ЭПР.

Аппарат Гольджи (АГ). Структура АГ. Транспортные везикулы, диктиосомы, пузырьки. Два основных направления транспорта - плазмалемма и вакуоль. Основные транспортируемые вещества.

*Вакуоль.* Литический и запасающий типы вакуолей. Белковые маркеры типов вакуолей. Сигнальные последовательности белков, транспортируемых в вакуоль. Возникновение вакуолей *de novo*. Транспорт веществ в запасающие и литические вакуоли (слияние везикул, автофагия везикул). Сигнальные последовательности транспорта белков в вакуоль. Функции вакуолярной системы клетки.

*Цитоскелет растительной клетки.* Структура цитоскелета. Актин и тубулин, их полимеризация и деполимеризация, G-актин и F-актин. Белки, ассоциированные с цитоскелетом. Участие актиновых филаментов во внутриклеточных движениях. Участие цитоскелета в движении и закреплении органелл. Роль цитоскелета в синтезе целлюлозы. Участие цитоскелета в процессе деления клетки,

*Клеточная стенка (КС).* Углеводные компоненты клеточной стенки. Целлюлоза, гемицеллюлозы, пектины. Каллоза. Структурные белки клеточной стенки: белки, обогащенные гидроксипролином (HRGPs), пролином (PRPs), глицином (GRPs), арабиногалактановые белки (AGPs). Функциональные белки КС: экспансины, ферменты.

Первичная и вторичная клеточная стенка. Лигнины, воска, кутин, суберин. Плазмодесмы (ПД), их строение. Количество плазмодесм на разных участках клеточной стенки и в разных тканях. Транспорт веществ по плазмодесмам. Два типа строения клеточной стенки у покрытосеменных растений. Образование клеточной стенки. Биосинтез микрофибрилл целлюлозы и их самосборка. Роль аппарата Гольджи в биосинтезе элементов матрикса. Функции КС: каркасная, защитная, транспортная, регуляторная, сигнальная. Олигосахарины.

*Онтогенез клетки растения.* Стадии онтогенеза: деление клетки, рост клетки растяжением, дифференцировка, старение и смерть. Клеточный (митотический) цикл. Фазы цикла - G1, S, G2, M. Запуск и регулирование клеточного цикла. Циклины, циклин-зависимые протеинкиназы (CDKs). Апоптоз растительных клеток - программная гибель клетки. Сигналы и механизмы апоптоза.

*Клетки растений in vitro.* Дедифференциация растительной клетки *in vitro* и формирование популяции пролиферирующих клеток. Структурные и функциональные особенности клеток растений *in vitro*. Гетерогенность и асинхронность популяции клеток растений вне организма. Изолированные протопласты клеток растений. Использование клеток растений *in vitro* как модельной системы в физиологических исследованиях и в биотехнологии.

#### **4. Биоэнергетика растительного организма**

*Принципы термодинамики.* Законы химической термодинамики. Свободная энергия; изменение стандартной свободной энергии ( $\Delta G^\circ$ ). Эндергонические и экзергонические

реакции. Химическое равновесие, химический потенциал. Выражение изменения свободной энергии редокс- реакции в единицах электрохимического стандартного окислительно-восстановительного потенциала.

*Преобразование энергии в клетке.* Внешние источники энергии для организмов. Две основные формы запасаения энергии в клетке: электрохимический потенциал протонов на энергизованных мембранах и макроэргические связи, взаимопревращение этих форм энергии. Энергетика процессов синтеза и гидролиза АТФ. Трансформация энергии на сопрягающих мембранах: электрохимический потенциал - движущая сила фосфорилирования. Уникальность энергетических процессов растений: фотосинтез и дыхание.

#### 4.1. Фотосинтез.

Значение фотосинтеза в трансформации вещества и энергии в природе. Физико-химическая сущность процесса фотосинтеза и его значение в энергетическом и пластическом обмене растения. Лист как орган фотосинтеза. Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата. Основные показатели мезоструктуры листа.

Элементы структуры молекулы хлорофилла, ответственные за функцию поглощения, запасаения и преобразования энергии в процессе фотосинтеза. Механизм поглощения и испускания света молекулой; спектры поглощения. Электронно-возбужденные состояния хлорофиллов, пути их дезактивации. Преобразования электромагнитной энергии в редокс-энергию; обратимые окислительно-восстановительные превращения хлорофиллов.

Хлорофилл-белковые комплексы (ХБК); механизмы образования, значение связи пигментов с белком. Ориентация пигментов в ХБК. Механизмы энергетического взаимодействия пигментов в комплексах (экситонное взаимодействие) и между комплексами (переходные состояния).

Роль каротиноидов в фотосинтезе. Антенная функция, возбужденные состояния каротиноидов, механизмы миграции энергии на хлорофилл. Механизм защитного действия каротиноидов. Функции каротиноидов в реакционном центре, специфика цис-конформации. Значение ксантофилловых циклов у высших растений и водорослей; фотопротекторная функция зеаксантина и диазоксантина.

Первичные процессы фотосинтеза, их структурно-функциональная организация. Представление о фотосинтетической единице. Антенный комплекс, реакционный центр. Механизмы миграции энергии в хлоропластах. Современные модели структурной организации реакционных центров бактерий и высших растений. Механизм преобразования электромагнитной энергии в энергию разделенных зарядов в фотохимических центрах.

Электрон-транспортная цепь фотосинтеза. Представления о совместном функционировании двух фотосистем. Компоненты ЭТЦ и последовательность переноса электрона по цепи (Z-схема). Циклический, нециклический и псевдоциклический электронный транспорт. Пространственная организация ЭТЦ в тилакоидной мембране: основные функциональные комплексы ЭТЦ (ФС-1, ФС-2), их структура и функции. Строение и функции ФС-2. Организация в тилакоидной мембране и функционирование реакционного центра ФС-2. Система фотолиза воды и образования кислорода при фотосинтезе. Строение и функции ФС-1. Образование трансмембранного протонного градиента в процессе электронного транспорта. Структура и функции цитохром  $b_6/f$  комплекса, Q - цикл. Регуляция потоков электронов при фотосинтезе. Фотосинтетический контроль. Локализация ЭТЦ комплексов в гранальных и стромальных мембранах тилакоидов. Системы регуляции циклического и нециклического электронного транспорта. Образование при фотосинтезе активных форм кислорода. Процессы фотоингибирования и фотодеструкции; защитные механизмы хлоропластов.

Фотосинтетическое фосфорилирование. Основные типы, их физиологическое значение, механизмы регуляции. Механизмы энергетического сопряжения транспорта

электронов и синтеза АТФ. Сопрягающие факторы фотофосфорилирования, их функции, структура, механизм действия. Механизм работы каталитических центров CF<sub>1</sub>.

Регуляция потоков электронов при фотосинтезе. Фотосинтетический контроль. Локализация комплексов ЭТЦ в гранальных и стромальных мембранах тилакоидов. Система регуляции циклического и нециклического электронного транспорта. Конечные продукты световой и темновой фазы фотосинтеза.

Химизм процессов ассимиляции углерода в фотосинтезе. Использование продуктов световой стадии для ассимиляции углекислоты. Рубиско: содержание фермента, структура, функции, регуляция. Цикл Кальвина, основные ферменты и механизмы регуляции цикла. Фотодыхание. ФЭП- карбоксилаза, ее характеристика и локализация. Цикл Хэтча-Слэка-Карпилова, его функциональное значение. Организация процесса ассимиляции в клетках мезофилла и обкладки: особенности строения хлоропластов и реакций фотосинтеза. Обмен соединениями между мезофильными клетками и клетками обкладки. Характеристика групп C<sub>4</sub> растений. Фотосинтез у САМ- растений: особенности организации процесса запасаения энергии и фиксации углекислоты во времени.

Транспорт продуктов фотосинтеза из хлоропласта: челночные системы выноса. Механизмы, контролирующие обмен метаболитами между хлоропластами и цитоплазматической фазой клетки. Превращения Сахаров в цитоплазме и цитозоле; запасные и транспортные формы Сахаров. Включение углерода в аминокислоты.

Ассимиляция углекислоты в листе. Действие внешних факторов (интенсивность и качество света, фотопериод, концентрация CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, температура и др.) на фотосинтез. Различие в кривых зависимости скорости ассимиляции от концентрации CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в газовой среде у C-3 и C-4 растений. Квантовый выход фотосинтеза. Транспорт CO<sub>2</sub> к местам фиксации, роль карбоангидразы. Устьичная и клеточная проводимость для CO<sub>2</sub> в зависимости от внешних факторов и возраста листа.

#### 4.2. Дыхание.

Ферментные системы дыхания. Характеристика отдельных групп дыхательных ферментов: пиридинзависимые дегидрогеназы, флавинзависимые дегидрогеназы, оксидазы. Переносчики электронов: хиноны, железосерные белки, цитохромы, их химическое строение и свойства.

Гликолиз. Основные ферменты синтеза и гидролиза сахарозы и крахмала. Ферментативные реакции и энергетический баланс гликолиза, компартментация процесса в клетках растений. Гликолиз и глюконеогенез. Особенности гликолиза у растений: АТФ-зависимая фосфофруктокиназа и пирогликолатзависимая фосфофруктокиназа - регуляторные ферменты гликолиза. Фруктозо-2,6 фосфат - регуляторная молекула углеводного обмена в растениях.

Окислительный пентозофосфатный цикл. Ферментативные реакции и регуляция цикла. Компартментация цикла в клетке и его роль в метаболизме растений.

Пируватдегидрогеназный комплекс: структура и регуляция.

Цикл трикарбоновых кислот. Ферментативные реакции и регуляция цикла. Роль маликэнзима в регуляции работы цикла. Энергетическая эффективность процесса. Особенности цикла трикарбоновых кислот в растениях.

Глиоксилатный цикл. Глиоксисомы и глиоксилатный цикл.

Дыхательная электронтранспортная цепь: основные компоненты, способы регистрации редокс- состояний. Структура и функции комплексов ЭТЦ дыхания: НАДН-дегидрогеназный комплекс. Сукцинатдегидрогеназный комплекс. Цитохром b/c комплекс. Цитохромоксидазный комплекс. Механизм образования трансмембранного протонного градиента в процессе электронного транспорта.

Особенности ЭТЦ дыхания растений. Альтернативные НАДН-дегидрогеназы - локализация в мембранах и функции. Альтернативная оксидаза: структура, функции, принципы регуляции. Альтернативный путь переноса электронов в дыхательной цепи



растений и его физиологическое значение. Ингибиторы электронного транспорта и ингибиторный анализ при изучении дыхательной активности растительных митохондрий.

Окислительное фосфорилирование. Энергизация мембран при функционировании ЭТЦ дыхания. АТФ- синтаза митохондрий. Структура, локализация, пространственная организация. Современные представления о механизме синтеза АТФ.

Регуляция электронного транспорта в дыхательной цепи. Дыхательный контроль. Понятие о разобщителях. Энергетическая эффективность дыхания. Челночные системы выноса АТФ и транспорт метаболитов через мембраны митохондрий.

Функции дыхания у растений. Интермедиаты окислительных реакций как субстраты для синтеза новых соединений. Превращение органических кислот в митохондриях. Роль дыхания в создании и поддержании электрохимического потенциала на клеточных мембранах (плазмалемма, тонопласт, мембрана ЭР). Электронтранспортные цепи плазмалеммы, эндоплазматического ретикула, митохондрий, их структура и функции.

Цитоплазматические оксидазы (аскорбатоксидаза, полифенолоксидазы, ксантиноксидазы, пероксидазы, каталазы). Их локализация, функции, вклад в общее поглощение кислорода растительной тканью. Изменения в интенсивности и путях дыхания в онтогенезе и при действии факторов среды.

## **5. Водообмен**

Количество потребляемой растением воды, содержание воды в клетках, тканях и органах. Молекулярная структура и физические свойства воды. Взаимодействие молекул воды и биополимеров, гидратация. Состояние воды в клетке. Вода, как структурный компонент растительной клетки, ее участие в биохимических реакциях.

Термодинамические показатели состояния воды: активность воды, химический и водный потенциал. Составляющие водного потенциала клетки: осмотический, матричный потенциал, потенциал давления. Градиент водного потенциала как движущая сила поступления и передвижения воды. Основные закономерности поглощения воды клеткой: взаимосвязь между изменениями водного потенциала клетки, водного потенциала раствора и водного потенциала давления. Аквапорины (белки водных каналов), их структура, принцип работы. Аквапорины плазмалеммы и тонопласта, их роль в поддержании водного баланса воды.

Транспорт воды по растению. Корень как основной орган поглощения воды. Механизм радиального транспорта воды в корне. Роль ризодермы и эндодермы в этом процессе. Поступление воды в сосуды ксилемы. Ксилема — основная транспортная магистраль движения водного тока в системе «почва – растение – атмосфера». Характеристика «нижнего» и «верхнего» двигателей водного тока. Корневое давление.

Выделение воды растением. Гуттация, «плач» растений. Транспирация и ее роль в жизни растений. Количественные показатели транспирации: интенсивность, продуктивность, транспирационный коэффициент. Устьичная и кутикулярная транспирация. Строение устьиц у двудольных и однодольных растений, механизм устьичных движений. Влияние внешних факторов (свет, температура, влажность воздуха, почвы) на интенсивность транспирации. Суточные колебания транспирации. Регуляторная роль устьиц в водо- и газообмене.

Экология водообмена растений. Особенности водообмена у растений разных экологических групп (ксерофитов, мезофитов, гигрофитов, галофитов).

## **6. Минеральное питание**

Потребность растений в элементах минерального питания. Содержание и соотношение минеральных элементов в почве и растениях, концентрирование элементов в тканях растения. Функциональная классификация элементов минерального питания.

Корень как орган поглощения минеральных элементов, специфических синтезов с их участием и транспорта. Рост корня как основа поступления элементов минерального питания. Значение зон роста корня в этом процессе. Система взаимодействия «корень - почва». Роль микоризы.

Поглощение ионов и их передвижение в корне. Клеточная стенка как фаза для движения ионов. Понятие свободного пространства (СП): водное и доннановское СП, оценка их размеров. Механизмы поступления ионов в СП и значение этого этапа поглощения.

Транспорт ионов через мембраны; движущие силы переноса ионов. Пассивный и активный транспорт ионов. Уравнение Нернста.

Градиент электрохимического потенциала ионов водорода - энергетическая основа активного переноса ионов через плазмалемму. Различия энергетики активного транспорта ионов растительной и животной клеток. Н-АТФаза плазмалеммы, ее структура, функционирование и регулирование. 14-3-3 белки. Другие ионные насосы, действующие на плазмалемме. Вторичный активный транспорт ионов. Белки-переносчики ионов (портеры). Кинетический подход и теория переносчиков. Уравнения Михаэлиса-Ментен; использование  $V_{max}$  и  $K_m$  для характеристики транспортных систем. Ионные каналы растений; общая характеристика их структуры, функционирования и регуляции.

Особенности транспортных систем мембран вакуоли и ЭР. Н-АТФаза V-типа, пиррофосфатаза.

Модели поступления ионов в корень, транспорт минеральных веществ в ксилему. Апопластный и симпластный путь. Роль плазмодесм и ЭР. Взаимодействие и регуляция систем транспорта ионов из среды в корень и загрузки ксилемы. Специфика радиального транспорта минеральных элементов. Синтетическая функция корня. Связь поступления и превращения ионов с процессами дыхания. Регуляция поступления ионов на уровне целого растения.

#### 6.1. Роль макроэлементов.

*Азот.* Особенности азотного обмена растений. Источники азота для растений. Минеральные формы азота, используемые растениями. Физиологические особенности поступления и включения в обмен аммиачного и нитратного азота. Характеристика систем транспорта нитрата и аммония. Видовая специфика усвоения разных форм азота

Симбиотическая фиксация молекулярного азота: механизмы восстановления, источники энергии и восстановители. Характеристика и функционирование нитрогеназы.

Восстановление нитратов растениями. Нитрат- и нитритредуктаза: структура ферментов, локализация, регуляция активности и синтеза. Конститутивная и индуцибельная нитрогеназа. Этапы восстановления окисленного азота и их регуляция в клетке *in vivo*.

Альтернативные пути усвоения аммонийного азота; локализация реакций в клетке и характеристика ферментов (глутаматдегидрогеназы, глутаминсинтетазы, глутаматсинтазы). Ассимиляция азота в хлоропласте, связь с фотосинтезом. Пути усвоения восстановленного азота у бобовых. Уреиды.

Запасные и транспортные формы минерального и органического азота в зависимости от источника азотного питания. Накопление нитрата в тканях и его пулы. Круговорот азота по растению, реутилизация азота.

*Сера.* Поступление серы в растение, реакции восстановления и ассимиляции; аденозинфосфосульфат (АФС) фосфоаденозинфосфосульфат (ФАФС). Основные соединения серы в клетке, участие в окислительно-восстановительных реакциях. Глутатион, тиоферредоксин, фитохелатины, их функции у растений. Органические соединения окисленной серы.

*Фосфор.* Формы минерального фосфора в тканях, их содержание и функции. Особенности поступления фосфора и транспорта его соединений в растении. Формы минерального фосфора в тканях, их функции. Основные фосфорсодержащие компоненты клетки, их роль. Запасные формы фосфора. Компартиментация соединений фосфора. Роль фосфора в регулировании активности ферментов.

*Калий.* Содержание и распределение калия в клетке, тканях и органах растения; его циркуляция и реутилизация, характеристика систем транспорта  $K^+$  их функции в растении.

Роль  $K^+$  в поддержании потенциала на мембранах. Калий и гомеостаз внутриклеточной и тканевой среды (ионный баланс, pH, осморегуляция, гидратация и конформация макромолекул). Роль калия в регуляции ферментных систем.

*Кальций.* Накопление, формы соединений, особенности поступления и перемещения  $Ca^{2+}$  по растению. Концентрация и распределение  $Ca^{2+}$  в структурах клетки. Сигнальная роль  $Ca^{2+}$ . Характеристика мембранных систем транспорта  $Ca^{2+}$ , особенности их регуляции и роль в формировании  $Ca^{2+}$ -сигнала. Структурная роль кальция в клеточной стенке.

*Магний.* Содержание и соединения магния в тканях растений. Запасные формы  $Mg^{2+}$ , его реутилизация и перераспределение в растении. Значение связи  $Mg^{2+}$  с аденозинфосфатами и фосфорилированными сахарами. Функции магния в фотосинтезе. Магний как активатор ферментных систем; роль в синтезе аминоксил-тРНК и в функционировании рибосом.

## 6.2. Микроэлементы.

Свойства тяжелых металлов, определяющие их роль в ЭТЦ фотосинтеза и дыхания и других редокс-реакциях.

*Железо:* доступность в почве, валентность поглощаемой формы, роль микоризы. Особенности поступления железа у двудольных и однодольных растений. Соединения железа; распределение по компартментам клетки и в растении. Комплексы железа в белках редокс-цепей и других ферментах.

*Медь:* Содержание и распределение в клетке и тканях. Участие в окислительно-восстановительных процессах дыхания и фотосинтеза. Функции цитозольных оксидаз (аскорбат-, фенол- и диаминооксидаз).

*Марганец:* Активируемые им ферментные системы, его специфичность, как кофактора. Роль  $Mn^{2+}$  в функционировании ФС-2.

*Молибден:* Потребность в элементе; его значение для процессов утилизации азота среды. Молибдин и функционирование нитрогеназы и нитратредуктазы.

*Цинк:* Структурная роль в поддержании ферментной активности и при синтезе белка. Zn-содержащие ферменты: карбоангидраза, супероксиддисмутаза (СОД).

*Бор:* компартментация в клетке; формы соединений. Механизмы участия в регуляции физиологических процессов и метаболизма. Структурная роль в клеточной стенке.

Нарушения в метаболизме растений при недостатке микроэлементов.

Функции «полезных» элементов: натрий, хлор, кремний, кобальт.

## 7. Дальний транспорт и круговорот веществ в растении

Транслокация веществ из листьев в другие органы: флоэмные ситовидные элементы. Состав транслоцируемых веществ (сахара, аминокислоты, гормоны, неорганические ионы и др.). Передвижение фотоассимилятов из мезофилла к сосудам флоэмы по апопласту и симпласту. Механизмы загрузки флоэмы из апопласта и симпласта. Роль сопровождающих клеток. Тип загрузки флоэмы у растений различных систематических групп и ее зависимость от климатических условий. Механизм передвижения веществ по флоэме. Модель потока воды под давлением. Пores ситовидной пластинки как открытые каналы. Скорость передвижения веществ по флоэме; их выгрузка из ситовидных элементов. Восходящий транспорт веществ по ксилеме. Состав ксилемного эксудата. Взаимосвязь транспорта воды и растворенных веществ по ксилеме. Скорости транспорта воды и отдельных веществ. Взаимодействие флоэмных и ксилемных потоков азотистых веществ и ионов. Круговорот и реутилизация минеральных веществ в растении. Функциональная роль этих физиологических процессов.

## 8. Рост и развитие растений

Определение понятий «рост» и «развитие» растений. Проблема роста и развития на организменном, органном, клеточном и молекулярном уровнях. Существование организма как развертывание во времени генетической программы; воздействие внешних факторов.

Общие закономерности роста. Показатели роста, S-образный характер кривой роста, его фазы. Компоненты «классического» анализа роста и математический анализ процесса.

Типы роста у растений. Организация меристем корня и стебля. Рост и деятельность меристем. Клеточные основы роста. Рост растений и среда. Влияние температуры, света, воды, газового состава атмосферы, элементов минерального питания на ростовые процессы.

Жизненный цикл высших растений. Основные этапы онтогенеза (эмбриональный, ювенильный, репродуктивный, зрелости, старения), их морфологические, физиологические и метаболические особенности. Состояние покоя у растений. Типы покоя и их значение для жизнедеятельности растений.

Механизмы морфогенеза растений. Полярность. Индукция генетических программ, морфогенетические градиенты и ориентация клеток в пространстве. Целостность и коррелятивное взаимодействие органов. Регенерация.

Гормональная регуляция роста и развития растений.

*Ауксины.* Биосинтез, образование конъюгатов, деградация ауксинов. Активный транспорт ауксинов в растениях. Физиологические ответы на ауксины: аттрагирующий эффект, растяжение клеток и тропизмы, дифференцировка клеток под действием ауксинов, апикальное доминирование, активизация делений клеток камбия, ризогенез. Ауксин как гормон стеблевого апекса.

*Цитокинины.* Биосинтез, образование конъюгатов, деградация цитокининов. Физиологическое действие: аттрагирующий эффект, стимуляция клеточных делений, дифференцировка под действием цитокининов, снятие апикального доминирования с боковых почек. Цитокинин как гормон корневого апекса.

Взаимодействие ауксинов и цитокининов. Понятие об антагонизме и синергизме. Гормональный баланс в растении. Культура *in vitro* как модель для изучения гормонального баланса. Поддержание гормонального баланса за счет регенерации точек синтеза ауксинов и цитокининов. Бактерии, использующие нарушение гормонального баланса между ауксинами и цито-кининами (*Agrobacterium tumefaciens*, *A. rhizogenes*).

*Гиббереллины.* Пути биосинтеза и многообразие гиббереллинов. Образование конъюгатов и деградация. Физиологическое действие гиббереллинов: растяжение клеток и активизация интеркалярных меристем, образование цветоносов, прерывание покоя и стимуляция ростовых процессов. Эндогенный уровень гиббереллинов и длина дня. Гиббереллины как гормоны листьев. Карликовость, вызванная нарушениями синтеза гиббереллинов. Взаимодействие с другими гормонами.

*Абсцизовая кислота.* Пути биосинтеза АБК в растениях и в грибах, ее метаболизм. Физиологическое действие: остановка роста, подготовка к состоянию покоя. Активизация синтеза запасных веществ. АБК как гормон абиотического стресса. Стратегия ответа на засуху, понижение температуры, засоление. Роль АБК в индукции защитных процессов (синтез осмопротекторов, полиаминов, белков-шапиронинов; закрывание устьиц; листопад, вызванный дефицитом воды; созревание сухих плодов и семян). Взаимодействие АБК и гиббереллинов в процессах регуляции покоя.

*Этилен.* Биосинтез этилена. Специфика этилена как газообразного гормона. Физиологическое действие: тройной ответ проростков на этилен. Этилен как гормон механического и биотического стресса. Ситуации биомеханического воздействия: повреждение насекомыми и крупными травоядными, фитопатогенными грибами. Стратегия ответа на биотический стресс. Созревание сочных плодов и листопад в умеренных широтах как подготовка к механическому стрессу. Роль этилена как “гормона тревоги” в биоценозах. Взаимодействие этилена с ауксинами и другими гормонами. Мутации, повреждающие биосинтез этилена или его рецепцию.

*Регуляторы роста растений.* Брассиностероиды: биосинтез, многообразие. Физиологические эффекты: растяжение клеток, роль в дифференцировке мезофилла. Жасмоновая кислота. Биосинтез и физиологические эффекты. Место жасмонатов в регуляции ответа. Сходство ответов на жасмонат и на АБК. Салицилат и другие фенольные

соединения. Возможная роль в регуляции термогенеза, ответа на вирусную инфекцию, цветении. Взаимодействие с другими гормонами. Олигосахарины.

*Фоторегуляция у растений.* Основные принципы фоторецепции. Отличие фоторецепторных комплексов от энергопреобразующих. Физиологически важные области спектра: красная и синяя. Фитохром и криптохром.

Фитохромная система. Спектральные свойства молекулы. Этапы превращения  $Ph_r$  -  $Ph_{fr}$ : изменения в структуре хромофора и апопротеина. Гены, кодирующие биосинтез. Фитохром А и В: сходства и отличия. Физиологические реакции, опосредованные фитохромной системой: светозависимое прорастание, деэтиоляция, синдром избегания тени. К/ДК-обратимость. Фитохром как «входные ворота» для фотопериодического сигнала.

Структура криптохромов. Использование мутантов для исследования криптохрома. Ответы на синий свет: разгибание апикальной петельки проростков, фототропизмы, устьичные движения.

Системы регуляции физиологических процессов.

*Сеть путей передачи сигнала в клетке.* Восприятие воздействий и сигнальных молекул. Рецепторы стимулов и гормонов, их локализация. Роль плазмалеммы. Передача сигнала. Взаимодействие рецепторов с посредниками, передающими сигнал. Вторичные посредники передачи сигнала (фосфолипаза  $C^{2+}$ , цАМФ, инозитол-3-фосфат и др.). Участие кальция в передаче сигнала. Роль кальмодулина и  $Ca^{2+}$ -САМ комплекса в формировании ответной реакции. Протеинкиназы, значение реакции фосфорилирования/дефосфорилирования в регуляции активности ферментов. Специфика передачи и формирования ответа на определенный стимул.

*Фотопериодизм.* Феноменология фотопериодизма: цветение и группы фотопериодических растений, регуляция листопада, образования почек, перехода к состоянию покоя. Восприятие длины дня: эффект прерывания ночи, фитохром, внутренние часы. Гормональная теория цветения Чайлахяна. Изменения гормонального баланса, приводящие к физиологическому ответу на фотопериод. Регуляция развития климатическими факторами.

Внутренние ритмы развития растений. Периодические явления в ритмах органогенеза и роста растений. Циркадные ритмы, механизм их образования. Настройка циркадных ритмов фотопериодом. Пластохрон. Корректировка внутренних ритмов развития внешними климатическими факторами: засухой, понижениями температуры. Глубокий (физиологический) покой и вынужденный покой. Температура и развитие растений. Явления стратификации и яровизации как экологическая адаптация. Гормональная теория вернализации растений. Прерывание глубокого покоя пониженными температурами: прорастание семян, выход почек из состояния покоя, цветение.

Эмбриональное развитие. Развитие зародыша у двудольных растений в норме. Использование мутантов для изучения механизмов развития зародыша. Мутации нарушающие развитие корневого и стеблевого апекса, суспензора, некоторых слоев тканей в зародышах. Соматический эмбриогенез, факторы, влияющие на индукцию, образование и формирование зародышей *in vitro*.

Прорастание семян. Гормональный баланс при прорастании семян. Отношение АБК/гиббереллины. Мутации синтеза АБК и ответа. Связь гормонального статуса семени с биосинтезом других веществ.

Регуляция вегетативного роста растений. Рост корня. Роль фитогормонов. Дифференцировка корневых волосков. Серия мутантов с нарушениями инициации и элонгации корневых волосков, формы волосков. Мутации, нарушающие гравитропизм.

Рост побеговой системы. Установление филлотаксиса при прорастании семени. Роль фитогормонов. Мутации арабидопсиса с измененным развитием вегетативного апекса. Рост листа. Роль фитогормонов в закладке и развитии листа. Связь развития листа и меристемы побега.

Регуляция генеративного развития растений. Индукция и эвокация цветения. Развитие соцветий. Раннее генеративное развитие, позднее генеративное развитие, развитие цветков. Нормальное развитие цветка. Модель «войны позиций» (ABC). Генетические функции A, B и C. Семейства генов, содержащих MADS-домен.

Проявления пола у растений. Самонесовместимость. Гетероморфная и гомоморфная самонесовместимость. Спорофитный и гаметофитный контроль самонесовместимости. Регуляция пола. Жизненные циклы растений. Условия минерального питания, возраст, гормональный статус как факторы, влияющие на пол растений. Половые хромосомы. Мужские и женские цветки у однодомных растений.

### **9. Устойчивость растений к неблагоприятным факторам**

Стресс и адаптация – общая характеристика явлений. Неблагоприятные факторы биотической и абиотической природы. Ответные реакции растений на действие стрессоров. Специфические и неспецифические реакции. Природа неспецифических реакций. Стрессовые белки и их функции.

*Водный дефицит.* Классификация растений по их устойчивости к засухе. Ксерофиты. Способность растений поддерживать водный ток в системе: почва-растение -атмосфера в условиях засухи. Факторы, обеспечивающие движение воды из почвы в растение и в атмосферу у ксерофитов. Осмотический и гидростатический потенциалы у разных по засухоустойчивости растений. Регуляция осмотического потенциала давления с помощью осмолитов. Химическая природа и биосинтез осмолитов. Протекторная функция осмолитов. Защита белков в условиях дегидратации цитоплазмы. Пролин и полиолы как важнейшие протекторы белков. Полиамины -протекторы нуклеиновых кислот. Бетаины и их защитные функции. Белки, синтезирующиеся в условиях дегидратации. Их защитная роль. C<sub>4</sub> и САМ- типы метаболизма как системы экономии влаги у засухоустойчивых растений.

*Высокие концентрации солей.* Типы почвенного засоления. Галофиты и гликофиты. Повреждающее действие солей. Адаптация растений к осмотическому и токсическому действию солей. Способы поддержания оводнённости. Осморегуляторная и протекторная функции осмолитов. Протекторные белки (ПБ), синтезирующиеся в растениях при солевом стрессе. Индукция биосинтеза ПБ высокими концентрациями солей. Функции протекторных белков. Системы ионного гомеостатирования клеток. Компартиментация ионов, роль вакуоли. Роль плазмалеммы и тонопласта в поддержании низких концентраций Na<sup>+</sup> в цитоплазме при засолении. Na<sup>+</sup>-транспортирующие системы и их свойства. Дальний транспорт Na<sup>+</sup> (уровень целого растения). Стратегия избегания накопления ионов в активно метаболизирующих тканях и генеративных органах в условиях засоления.

*Экстремальные температуры.* Растения как экзотермные организмы. Температурные адаптации, связанные с изменением содержания ферментов в клетках и их изоферментного состава. Адаптации, обеспечивающие постоянство K<sub>m</sub> при температурных сдвигах. Структурные перестройки клеточных мембран при температурных адаптациях. Роль изменения химического состава жирных кислот и соотношения насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в обеспечении необходимой подвижности липидного бислоя мембраны при температурных адаптациях. Изменение вязкости липидов и регуляция активности локализованных в мембранах ферментов. Роль и функция десатураз в изменении индекса ненасыщенности жирных кислот при температурных адаптациях.

Толерантность растений к замораживанию. Предотвращение образования льда в клетках: 1) путем их обезвоживания в ходе формирования кристаллов льда в межклетниках; 2) путем биосинтеза биологических антифризов. Химическая природа биологических антифризов. Молекулярные механизмы их действия. Низкомолекулярные криопротекторы. Закалка растений. Изменения, происходящие в растительном организме в ходе закалки. Механизмы повышения морозоустойчивости при закалке.

*Активированный кислород.* Активные формы кислорода (АФК): супероксидный радикал, гидроксил- радикал, синглетный кислород. Механизмы их образования. Вклад

фотосинтетической и дыхательной ЭТЦ в генерацию супероксидного радикала. Роль высокой интенсивности света в перевосстановленности ЭТЦ хлоропластов и образовании супероксидных радикалов. Генерация АФК при стрессах. Токсическое действие АФК; стимуляция перекисного окисления липидов.

Механизмы защиты растений от избытка АФК. Пути предотвращения образования АФК в клетках растений. Антиоксидантные системы клетки: аскорбат-глутатионовый цикл, осто коферол. Антиоксидантные ферментативные системы. Семейство супероксиддисмутаз. Аскорбатпероксидаза, ксантофилльный цикл и др.

*Аноксия и гипоксия.* Растения, устойчивые к недостатку кислорода. Роль гликолиза в адаптации растений к недостатку кислорода. Анатомические особенности растений, устойчивых к аноксии и гипоксии - стратегия избежания анаэробноза. Роль гормонов в адаптации к анаэробнозу. Ответная реакция растений на резкое снижение содержания кислорода в среде. Белки, образующиеся в растениях в ходе адаптации к недостатку кислорода. Их функциональная роль. Попытки получения устойчивых к недостатку кислорода форм растений.

*Токсичность тяжелых металлов* для растений их накопление в тканях. Механизмы защиты: компартиментация и накопление тяжелых металлов в вакуолях и КС, Роль фитохелатинов. Видоспецифичность в чувствительности и устойчивости растений к избытку и недостатку тяжелых металлов в среде. Фиторемедиация.

*Фитоиммунитет.* Фитоиммунология как составная часть общей иммунологии. Функции иммунитета. Иммунитет. Двухфазность ответа растений на внедрение патогена: распознавание патогена и защитная реакция. Элиситоры, Роль пектинов в распознавании. Рецептор - лигандный тип взаимодействия растения-хозяина и патогена. Роль олигосахаридов в ответной реакции растения на внедрение патогена. Некротрофы и биотрофы — низко- и высокоспециализированные патогены. Детерминанты устойчивости растений к патогенам: антибиотические вещества (фитоалексины), механические барьеры, ауксотрофия, реакция сверхчувствительности и др. Детерминанты патогенности микроорганизмов: факторы, способствующие контакту микроорганизма и растения, супрессоры защитной реакции и токсины; факторы, обеспечивающие проникновение патогена и его питание внутри растения; факторы, обеспечивающие преодоление защитной реакции растения.

Тип и степень совместимости в системе: больное растение. Генетическая природа устойчивости растений к патогенам Вертикальная и горизонтальная устойчивости. Теория Флора «ген-на-ген». Сопряженная эволюция растения хозяина и патогена. Приобретение видовой и сортовой специализации патогеном (индукторно-супрессорная модель Хесса).

Роль вторичных метаболитов в вертикальной и горизонтальной устойчивости. Локализация синтеза и накопления вторичных метаболитов на уровне клетки, ткани, органа, целого растения. Состав и характеристика смол, слизей, камеди, латекса. Внешняя секреция вторичных метаболитов. Специализированные органы секреции. Состав и характеристика эфирных масел. Характеристика локализации синтеза и накопления основных групп вторичных метаболитов. Защитные функции вторичных соединений. Фитоалексины, Доказательства экологических функций вторичных соединений.

## **10. Взаимодействие физиологических процессов, их интеграция и согласованное функционирование органов**

Донорно-акцепторные взаимодействия как основа эндогенной регуляции фотосинтеза в системе растительного организма. Механизм эндогенной регуляции в системе растения: потоки углерода, используемые на синтез различных соединений и их распределение по тканям и органам. Теория фотосинтетической продуктивности. Пути повышения эффективности использования солнечной энергии при фотосинтезе. Донорно-акцепторные отношения, реутилизация и круговорот минеральных элементов в растении. Распределение веществ по органам и компартиментация процессов и соединений в клетке и тканях как

система пространственной и временной организации биохимических и физиологических процессов и способ регуляции их согласованного взаимодействия и интеграции.

Системы регуляции и их иерархия в растении.

Регуляция распределения роста и веществ, а также взаимодействия органов в целом растении.

Системы регуляции: трофическая, гормональная и электрофизиологическая. Понятие «запрос» и предполагаемые механизмы передачи сигнала. Донорно-акцепторные отношения.

Регуляция процессов на клеточном уровне. Метаболитная регуляция и механизм контроля протекания процесса по принципу отрицательной (положительной) связи конечными продуктами. Аденилатный контроль.

Компартментация процессов и веществ как способ организации регуляции процессов в пространстве и времени.

Взаимодействие дыхания и фотосинтеза: обмен продуктами и субстратами. Особенности дыхательного процесса в фотосинтезирующей клетке.

## **5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой литературы.

**Академическая лекция с элементами лекции-беседы** – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание аспирантов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

**Проблемная лекция** – изложение материала, предполагающее постановку проблемных и дискуссионных вопросов, освещение различных научных подходов, связанные с различными моделями интерпретации изучаемого материала. Проблемная лекция начинается с вопросов, с постановки проблемы, которую в ходе изложения материала необходимо решить. В лекции сочетаются проблемные и информационные начала. При этом процесс познания аспирантом в сотрудничестве и диалоге с преподавателем приближается к поисковой, исследовательской деятельности.

**Консультации** – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы аспирантов. На консультациях по просьбе аспирантов рассматриваются наиболее сложные разделы дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы аспирантов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

**Электронный учебный курс «Физиология и биохимия растений» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ**, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы аспирантов по темам дисциплины;
- представлен список литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;



- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в случае их проведения в дистанционном формате в режиме онлайн.

**6. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины**

**а) основная литература**

1. Медведев С.С. Физиология растений. СПб.: БХВ-Петербург, 2017. 496 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=2120519&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=2120519&cat_cd=YARSU)
2. Новиков Н.Н. Биохимия растений. М.: Ленанд, 2014. 679 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1847095&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1847095&cat_cd=YARSU)

**б) дополнительная литература**

1. Волоотовский И.Д., Конев С.В. Структурная динамика фоторецепторного аппарата. Мн.: Наука и техника, 1986. 208 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1892443&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1892443&cat_cd=YARSU)
2. Дьяков Ю.Т., Озерецковская О.Л., Джавахия В.Г., Багирова С.Ф. Общая и молекулярная фитопатология. М.: Общество фитопатологов, 2001. 302 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=303428&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=303428&cat_cd=YARSU)
3. Комиссаров Г.Г. Фотосинтез: физико-химический подход. М.: Едиториал УРСС, 2006. 223 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=356573&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=356573&cat_cd=YARSU)
4. Косулина Л.Г., Луценко Э.К., Аксенова В.А. Физиология устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды: учеб. пособие вузов / Отв. ред. А.Т. Мокроносов. Ростов на Дону: Изд-во Ростов. ун-та, 2006. 235 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=355625&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=355625&cat_cd=YARSU)
5. Кретонович В.Л. Основы биохимии растений: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1971. 464 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1293436&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1293436&cat_cd=YARSU)
6. Ленинджер А. Основы биохимии. В 3-х томах. М.: Мир, 1985.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1898356&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1898356&cat_cd=YARSU)
7. Лутова Л.А., Проворов Н.А., Тиходеев О.Н. и др. Генетика развития растений. СПб.: Наука, 2000. 539 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=296011&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=296011&cat_cd=YARSU)
8. Медведев С.С., Шарова Е.И. Биология развития растений. Начала биологии развития растений. Фитогормоны. СПб.: СПбГУ, 2011. 253 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1844626&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1844626&cat_cd=YARSU)
9. Полевой В.В. Физиология роста и развития растений: учеб. пособие для вузов. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1991. 239 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1065194&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1065194&cat_cd=YARSU)
10. Саламатова Т.С. Физиология растительной клетки: учеб. пособие для вузов. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1983. 232 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1065234&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1065234&cat_cd=YARSU)
11. Скулачев В.П. Энергетика биологических мембран. М.: Наука, 1989. 564 с.  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1895533&cat\\_cd=YARSU](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1895533&cat_cd=YARSU)

**в) ресурсы сети «Интернет» (при необходимости)**

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

**7. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав следующие помещения:

- учебные аудитории для проведения лекций;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы.

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ЯрГУ.

Автор:

Доцент кафедры ботаники и микробиологии, к.б.н.

О.А. Маракаев

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины**  
«Специальная дисциплина в соответствии с темой диссертации  
на соискание ученой степени кандидата наук»  
по научной специальности 1.5.21 Физиология и биохимия растений

**Оценочные материалы**  
**для проведения текущей и/или промежуточной аттестации**  
**аспирантов по дисциплине**

**1. Контрольные задания и (или) иные материалы,**  
**используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

В качестве средств текущего контроля используется собеседование, выполнение заданий для самостоятельной работы, а также написание в течение семестра одного реферата на выбранную тему.

**Список вопросов для собеседования по темам 2-го семестра:**

1. Объекты биохимии и физиологии растений – эукариотические фототрофные организмы. Уникальные особенности растительного организма: фото- и автотрофность.
2. Автотрофность в отношении усвоения минеральных элементов. Специфика обмена зеленых растений по сравнению с другими организмами.
3. Организация и координация функциональных систем зеленого растения. Физико-химический, экологический и эволюционный аспекты.
4. Методологические основы исследований в биохимии и физиологии растений. Специфические методы биохимии и физиологии растений.
5. Сочетание различных уровней исследования (субклеточный, клеточный, организменный, биоценотический) в биохимии и физиологии растений.
6. Физиология и биохимия растений – теоретическая основа растениеводства и новых отраслей биотехнологии.
7. Особенности строения, структурная и функциональная организация растительной клетки. Симбиогенная гипотеза возникновения растительной клетки.
8. Особенности организации ядерного генома растений. Структура генома, полиморфизм растительной ДНК.
9. Типы пластид, особенности строения, онтогенез. Геном пластид. Прокариотические черты и копияность пластидного генома. Полицистронный тип репликации пластидных генов. Размножение и наследование пластид.
10. Особенности строения митохондрий растений. Особенности структуры митохондриального генома растений. Прокариотические черты и размер митохондриального генома растений.
11. Перенос генетического материала между органеллами. Совместная работа трех геномов.
12. Особенности строения плазмалеммы. Транспортные системы плазмалеммы, протонная энергетика транспортных систем,  $H^+$ -АТФаза Р-типа.
13. Особенности строения тонопласта. Транспортные системы тонопласта.  $H^+$ -АТФаза V-типа, пирофосфатаза.
14. Эндоплазматический ретикулум (ЭР) растительной клетки. Шероховатый и гладкий ЭР. Различные функциональные участки растительного ЭПР. Сигнальные последовательности белков, транспортируемых в ЭПР. KDEL-последовательность. Функции ЭПР.

15. Аппарат Гольджи (АГ). Структура АГ. Транспортные везикулы, диктиосомы, пузырьки. Два основных направления транспорта - плазмалемма и вакуоль. Основные транспортируемые вещества.
16. Литический и запасающий типы вакуолей. Белковые маркеры типов вакуолей. Возникновение вакуолей *de novo*. Транспорт веществ в запасающие и литические вакуоли (слияние везикул, автофагия везикул). Функции вакуолярной системы клетки.
17. Структура цитоскелета. Актин и тубулин, их полимеризация и деполимеризация, G-актин и F-актин. Белки, ассоциированные с цитоскелетом. Функции цитоскелета.
18. Углеводные компоненты клеточной стенки. Целлюлоза, гемицеллюлозы, пектины. Каллоза. Первичная и вторичная клеточная стенка. Функции клеточной стенки.
19. Стадии онтогенеза растительной клетки: деление клетки, рост клетки растяжением, дифференцировка, старение и смерть. Запуск и регулирование клеточного цикла. Сигналы и механизмы апоптоза.
20. Дедифференциация растительной клетки *in vitro* и формирование популяции пролиферирующих клеток. Структурные и функциональные особенности клеток растений *in vitro*.
21. Гетерогенность и асинхронность популяции клеток растений вне организма. Изолированные протопласты клеток растений. Использование клеток растений *in vitro* как модельной системы в физиологических исследованиях и в биотехнологии.
22. Регуляция процессов на клеточном уровне. Метаболитная регуляция и механизм контроля протекания процесса по принципу отрицательной (положительной) связи конечными продуктами. Аденилатный контроль.
23. Компартиментация процессов и веществ как способ организации регуляции процессов в пространстве и времени.

#### **Список вопросов для собеседования по темам 3-го семестра:**

1. Преобразование энергии в клетке. Внешние источники энергии для организмов. Две основные формы запасания энергии в клетке: электрохимический потенциал протонов на энергизованных мембранах и макроэргические связи, взаимопревращение этих форм энергии.
2. Энергетика процессов синтеза и гидролиза АТФ. Трансформация энергии на сопрягающих мембранах: электрохимический потенциал – движущая сила фосфорилирования.
3. Значение фотосинтеза в трансформации вещества и энергии в природе. Физико-химическая сущность процесса фотосинтеза и его значение в энергетическом и пластическом обмене растения.
4. Лист как орган фотосинтеза. Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата. Основные показатели мезоструктуры листа. Механизм поглощения и испускания света молекулой; спектры поглощения.
5. Хлорофилл-белковые комплексы (ХБК); механизмы образования, значение связи пигментов с белком. Ориентация пигментов в ХБК.
6. Роль каротиноидов в фотосинтезе. Антенная функция, возбужденные состояния каротиноидов, механизмы миграции энергии на хлорофилл. Механизм защитного действия каротиноидов. Функции каротиноидов. Значение ксантофилловых циклов.
7. Первичные процессы фотосинтеза, их структурно-функциональная организация. Представление о фотосинтетической единице. Антенный комплекс, реакционный центр. Механизмы миграции энергии в хлоропластах.
8. Электрон-транспортная цепь фотосинтеза. Представления о совместном функционировании двух фотосистем. Компоненты ЭТЦ и последовательность переноса электрона по цепи (Z-схема).

9. Фотосинтетическое фосфорилирование. Основные типы, их физиологическое значение, механизмы регуляции. Механизмы энергетического сопряжения транспорта электронов и синтеза АТФ.
10. Химизм процессов ассимиляции углерода в фотосинтезе. Использование продуктов световой стадии для ассимиляции углекислоты.
11. Цикл Кальвина, основные ферменты и механизмы регуляции цикла. Рубиско: содержание фермента, структура, функции, регуляция. Фотодыхание.
12. Цикл Хэтча-Слэка-Карпилова, его функциональное значение. ФЭП-карбоксилаза, ее характеристика и локализация. Организация процесса ассимиляции в клетках мезофилла и обкладки: особенности строения хлоропластов и реакций фотосинтеза.
13. Фотосинтез у САМ- растений: особенности организации процесса запасания энергии и фиксации углекислоты во времени.
14. Превращения Сахаров в цитоплазме и цитозоле; запасные и транспортные формы Сахаров. Включение углерода в аминокислоты.
15. Ассимиляция углекислоты в листе. Действие внешних факторов (интенсивность и качество света, фотопериод, концентрация  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , температура и др.) на фотосинтез. Различие в кривых зависимости скорости ассимиляции от концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в газовой среде у С-3 и С-4 растений. Квантовый выход фотосинтеза. Транспорт  $\text{CO}_2$  к местам фиксации. Устьичная и клеточная проводимость для  $\text{CO}_2$  в зависимости от внешних факторов и возраста листа.
16. Ферментные системы дыхания. Характеристика отдельных групп дыхательных ферментов: пиридинзависимые дегидрогеназы, флавинзависимые дегидрогеназы, оксидазы. Переносчики электронов: хиноны, железосерные белки, цитохромы, их химическое строение и свойства.
17. Основные ферменты синтеза и гидролиза сахарозы и крахмала. Ферментативные реакции и энергетический баланс гликолиза, компартментация процесса в клетках растений. Гликолиз и глюконеогенез.
18. Окислительный пентозофосфатный цикл. Ферментативные реакции и регуляция цикла. Компартментация цикла в клетке и его роль в метаболизме растений.
19. Цикл трикарбоновых кислот. Ферментативные реакции и регуляция цикла. Роль маликэнзима в регуляции работы цикла. Энергетическая эффективность процесса. Особенности цикла трикарбоновых кислот в растениях.
20. Глиоксилатный цикл. Глиоксисомы и глиоксилатный цикл.
21. Особенности ЭТЦ дыхания растений. Окислительное фосфорилирование. Энергизация мембран при функционировании ЭТЦ дыхания. АТФ-синтаза митохондрий. Современные представления о механизме синтеза АТФ.
22. Функции дыхания у растений. Превращение органических кислот в митохондриях. Роль дыхания в создании и поддержании электрохимического потенциала на клеточных мембранах.
23. Цитоплазматические оксидазы (аскорбатоксидаза, полифенолоксидазы, ксантиноксидазы, пероксидазы, каталазы). Их локализация, функции, вклад в общее поглощение кислорода растительной тканью.
24. Количество потребляемой растением воды, содержание воды в клетках, тканях и органах. Взаимодействие молекул воды и биополимеров, гидратация. Состояние воды в клетке. Вода, как структурный компонент растительной клетки, ее участие в биохимических реакциях.
25. Термодинамические показатели состояния воды: активность воды, химический и водный потенциал. Составляющие водного потенциала клетки: осмотический, матричный потенциал, потенциал давления.
26. Градиент водного потенциала как движущая сила поступления и передвижения воды. Основные закономерности поглощения воды клеткой. Аквапорины, их структура, принцип работы. Роль в поддержании водного баланса.

27. Транспорт воды по растению. Корень как основной орган поглощения воды. Механизм радиального транспорта воды в корне. Роль ризодермы и эндодермы в этом процессе.
28. Поступление воды в сосуды ксилемы. Ксилема – основная транспортная магистраль движения водного тока в системе «почва – растение – атмосфера». Характеристика «нижнего» и «верхнего» двигателей водного тока. Корневое давление.
29. Выделение воды растением. Гуттация, «плач» растений. Транспирация и ее роль в жизни растений. Количественные показатели транспирации. Устьичная и кутикулярная транспирация.
30. Строение устьиц у двудольных и однодольных растений, механизм устьичных движений. Влияние внешних факторов на интенсивность транспирации. Регуляторная роль устьиц в водо- и газообмене.
31. Экология водообмена растений. Особенности водообмена у растений разных экологических групп (ксерофитов, мезофитов, гигрофитов, галофитов).
32. Потребность растений в элементах минерального питания. Содержание и соотношение минеральных элементов в почве и растениях. Функциональная классификация элементов минерального питания.
33. Корень как орган поглощения минеральных элементов, специфических синтезов с их участием и транспорта. Рост корня как основа поступления элементов минерального питания. Значение зон роста корня в этом процессе. Система взаимодействия «корень – почва». Роль микоризы.
34. Поглощение ионов и их передвижение в корне. Клеточная стенка как фаза для движения ионов. Понятие свободного пространства. Механизмы поступления ионов.
35. Транспорт ионов через мембраны, движущие силы переноса ионов. Пассивный и активный транспорт ионов.
36. Градиент электрохимического потенциала ионов водорода. Ионные насосы, общая характеристика их структуры, функционирования и регуляции. Вторичный активный транспорт ионов. Белки-переносчики ионов.
37. Модели поступления ионов в корень, транспорт минеральных веществ в ксилему. Апопластный и симпластный путь. Роль плазмодесм и ЭР. Взаимодействие и регуляция систем транспорта ионов из среды в корень и загрузки ксилемы.
38. Специфика радиального транспорта минеральных элементов. Синтетическая функция корня. Связь поступления и превращения ионов с процессами дыхания. Регуляция поступления ионов на уровне целого растения.
39. Особенности азотного обмена растений. Источники азота для растений. Минеральные формы азота, используемые растениями. Физиологические особенности поступления и включения в обмен аммиачного и нитратного азота. Характеристика систем транспорта нитрата и аммония. Видовая специфика усвоения разных форм азота
40. Симбиотическая фиксация молекулярного азота: механизмы восстановления, источники энергии и восстановители. Характеристика и функционирование нитрогеназы.
41. Восстановление нитратов растениями. Нитрат- и нитритредуктаза. Этапы восстановления окисленного азота и их регуляция в клетке *in vivo*.
42. Альтернативные пути усвоения аммонийного азота. Ассимиляция азота в хлоропласте, связь с фотосинтезом. Пути усвоения восстановленного азота у бобовых.
43. Запасные и транспортные формы минерального и органического азота в зависимости от источника азотного питания. Накопление нитрата в тканях и его пулы. Круговорот азота по растению, реутилизация азота.
44. Поступление серы в растение, реакции восстановления и ассимиляции. Основные соединения серы в клетке.
45. Формы минерального фосфора в тканях, их содержание и функции. Особенности поступления фосфора и транспорта его соединений в растении. Формы минерального фосфора в тканях, их функции. Физиологическое значение фосфора.

46. Содержание и распределение калия в клетке, тканях и органах растения; его циркуляция и реутилизация, характеристика систем транспорта  $K^+$ , их функции в растении. Физиологическое значение калия.
47. Накопление, формы соединений, особенности поступления и перемещения  $Ca^{2+}$  по растению. Концентрация и распределение  $Ca^{2+}$  в структурах клетки. Сигнальная роль  $Ca^{2+}$ . Физиологическое значение кальция.
48. Содержание и соединения магния в тканях растений. Запасные формы  $Mg^{2+}$ , его реутилизация и перераспределение в растении. Физиологическое значение магния.
49. Железо: доступность в почве, валентность поглощаемой формы, роль микоризы. Соединения железа; распределение по компартментам клетки и в растении. Физиологическое значение железа.
50. Медь: содержание и распределение в клетке и тканях. Участие в окислительно-восстановительных процессах дыхания и фотосинтеза.
51. Марганец: активируемые им ферментные системы, его специфичность, как кофактора. Роль  $Mn^{2+}$  в функционировании ФС-2.
52. Молибден: потребность в элементе; его значение для процессов утилизации азота среды. Функционирование нитрогеназы и нитратредуктазы.
53. Цинк: структурная роль в поддержании ферментной активности и при синтезе белка. Zn-содержащие ферменты: карбоангидраза, супероксиддисмутаза.
54. Бор: компартментация в клетке; формы соединений. Механизмы участия в регуляции физиологических процессов и метаболизма. Структурная роль в клеточной стенке.
55. Транслокация веществ из листьев в другие органы: флоэмные ситовидные элементы. Состав транслоцируемых веществ. Передвижение фотоассимилятов из мезофилла к сосудам флоэмы по апопласту и симпласту.
56. Механизмы загрузки флоэмы из апопласта и симпласта. Роль сопровождающих клеток. Тип загрузки флоэмы у растений различных систематических групп и ее зависимость от климатических условий. Механизм передвижения веществ по флоэме.
57. Модель потока воды под давлением. Поры ситовидной пластинки как открытые каналы. Скорость передвижения веществ по флоэме; их выгрузка из ситовидных элементов.
58. Восходящий транспорт веществ по ксилеме. Состав ксилемного эксудата. Взаимосвязь транспорта воды и растворенных веществ по ксилеме. Скорости транспорта воды и отдельных веществ.
59. Взаимодействие флоэмных и ксилемных потоков азотистых веществ и ионов. Круговорот и реутилизация минеральных веществ в растении. Функциональная роль этих физиологических процессов.

#### **Список вопросов для собеседования по темам 4-го семестра:**

1. Определение понятий «рост» и «развитие» растений. Проблема роста и развития на организменном, органном, клеточном и молекулярном уровнях. Существование организма как развертывание во времени генетической программы; воздействие внешних факторов.
2. Общие закономерности роста. Показатели роста, S-образный характер кривой роста, его фазы. Типы роста у растений. Клеточные основы роста.
3. Жизненный цикл высших растений. Основные этапы онтогенеза, их морфологические, физиологические и метаболические особенности. Состояние и типы покоя у растений.
4. Механизмы морфогенеза растений. Полярность. Индукция генетических программ, морфогенетические градиенты и ориентация клеток в пространстве. Целостность и коррелятивное взаимодействие органов. Регенерация.
5. Биосинтез, образование конъюгатов, деградация ауксинов. Активный транспорт ауксинов в растениях. Физиологические ответы на ауксины. Ауксин как гормон стеблевого апекса.
6. Биосинтез, образование конъюгатов, деградация цитокининов. Физиологическое действие. Цитокинин как гормон корневого апекса.

7. Взаимодействие ауксинов и цитокининов. Понятие об антагонизме и синергизме. Гормональный баланс в растении. Культура *in vitro* как модель для изучения гормонального баланса.
8. Пути биосинтеза и многообразие гиббереллинов. Образование конъюгатов и деградация. Физиологическое действие гиббереллинов. Эндогенный уровень гиббереллинов и длина дня. Взаимодействие с другими гормонами.
9. Пути биосинтеза АБК в растениях и в грибах, ее метаболизм. Физиологическое действие. Активизация синтеза запасных веществ. АБК как гормон абиотического стресса.
10. Биосинтез этилена. Специфика этилена как газообразного гормона. Физиологическое действие. Взаимодействие этилена с ауксинами и другими гормонами.
11. Брассиностероиды: биосинтез, многообразие. Физиологические эффекты. Жасмоновая кислота. Биосинтез и физиологические эффекты. Салицилат и другие фенольные соединения. Олигосахариды.
12. Основные принципы фоторецепции. Отличие фоторецепторных комплексов от энергопреобразующих. Фитохромная система. Спектральные свойства молекулы. Физиологические реакции, опосредованные фитохромной системой.
13. Структура криптохромов. Использование мутантов для исследования криптохрома. Ответы на синий свет.
14. Восприятие воздействий и сигнальных молекул. Рецепторы стимулов и гормонов, их локализация. Роль плазмалеммы. Передача сигнала. Взаимодействие рецепторов с посредниками, передающими сигнал.
15. Вторичные посредники передачи сигнала. Участие кальция в передаче сигнала. Роль кальмодулина и  $Ca^{2+}$ -САМ комплекса в формировании ответной реакции. Специфика передачи и формирования ответа на определенный стимул.
16. Феноменология фотопериодизма. Восприятие длины дня: эффект прерывания ночи, фитохром, внутренние часы. Гормональная теория цветения Чайлахяна.
17. Внутренние ритмы развития растений. Глубокий (физиологический) покой и вынужденный покой. Температура и развитие растений. Прерывание глубокого покоя пониженными температурами.
18. Развитие зародыша у двудольных растений. Соматический эмбриогенез, факторы, влияющие на индукцию, образование и формирование зародышей *in vitro*.
19. Прорастание семян. Гормональный баланс при прорастании семян. Отношение АБК/гиббереллины. Мутации синтеза АБК и ответа. Связь гормонального статуса семени с биосинтезом других веществ.
20. Регуляция вегетативного роста растений. Рост корня. Роль фитогормонов. Дифференцировка корневых волосков. Серия мутантов с нарушениями инициации и элонгации корневых волосков, формы волосков. Мутации, нарушающие гравитропизм.
21. Рост побеговой системы. Установление филлотаксиса при прорастании семени. Роль фитогормонов. Связь развития листа и меристемы побега.
22. Жизненные циклы растений. Регуляция генеративного развития растений. Проявления пола у растений. Мужские и женские цветки у однодомных растений.
23. Стресс и адаптация – общая характеристика явлений. Неблагоприятные факторы биотической и абиотической природы. Ответные реакции растений на действие стрессоров.
24. Специфические и неспецифические реакции. Природа неспецифических реакций. Стрессовые белки и их функции.
25. Классификация растений по их устойчивости к засухе. Ксерофиты. Способность растений поддерживать водный ток в системе: почва-растение-атмосфера в условиях засухи.
26. Осмотический и гидростатический потенциалы у разных по засухоустойчивости растений. Регуляция осмотического потенциала давления с помощью осмолитов.
27. Защита белков в условиях дегидратации цитоплазмы. Пролин и полиолы как важнейшие протекторы белков. Полиамины. Бетаины. Белки, синтезирующиеся в условиях



дегидратации. Их защитная роль. С<sub>4</sub> и САМ- типы метаболизма как системы экономии влаги у засухоустойчивых растений.

28. Высокие концентрации солей. Типы почвенного засоления. Галофиты и гликофиты. Повреждающее действие солей. Адаптация растений к осмотическому и токсическому действию солей. Компартиментация ионов, роль вакуоли.

29. Растения как экзотермные организмы. Температурные адаптации, связанные с изменением содержания ферментов в клетках и их изоферментного состава. Структурные перестройки клеточных мембран при температурных адаптациях.

30. Толерантность растений к замораживанию. Предотвращение образования льда в клетках. Закалка растений. Механизмы повышения морозоустойчивости при закалке.

31. Активные формы кислорода (АФК). Механизмы их образования. Генерация АФК при стрессах. Токсическое действие АФК; стимуляция перекисного окисления липидов. Механизмы защиты растений от избытка АФК. Антиоксидантные ферментативные системы.

32. Растения, устойчивые к недостатку кислорода. Роль гликолиза в адаптации растений к недостатку кислорода. Анатомические особенности растений, устойчивых к аноксии и гипоксии – стратегия избегания анаэробноза.

33. Токсичность тяжелых металлов для растений их накопление в тканях. Механизмы защиты. Видоспецифичность в чувствительности и устойчивости растений к избытку и недостатку тяжелых металлов в среде. Фиторемедиация.

34. Фитоиммунология как составная часть общей иммунологии. Детерминанты устойчивости растений к патогенам: антибиотические вещества (фитоалексины), механические барьеры, ауксотрофия, реакция сверхчувствительности и др.

35. Физиологическая природа устойчивости растений к патогенам Вертикальная и горизонтальная устойчивости. Роль вторичных метаболитов.

#### **Список вопросов для собеседования по теме 5-го семестра:**

1. Донорно-акцепторные взаимодействия как основа эндогенной регуляции фотосинтеза в системе растительного организма. Механизм эндогенной регуляции в системе растения: потоки углерода, используемые на синтез различных соединений и их распределение по тканям и органам.

2. Теория фотосинтетической продуктивности. Пути повышения эффективности использования солнечной энергии при фотосинтезе. Донорно-акцепторные отношения, реутилизация и круговорот минеральных элементов в растении.

3. Распределение веществ по органам и компартиментация процессов и соединений в клетке и тканях как система пространственной и временной организации биохимических и физиологических процессов и способ регуляции их согласованного взаимодействия и интеграции.

4. Системы регуляции: трофическая, гормональная и электрофизиологическая. Понятие «запрос» и предполагаемые механизмы передачи сигнала. Донорно-акцепторные отношения.

5. Регуляция процессов на клеточном уровне. Метаболитная регуляция и механизм контроля протекания процесса по принципу отрицательной (положительной) связи конечными продуктами. Аденилатный контроль.

6. Компартиментация процессов и веществ как способ организации регуляции процессов в пространстве и времени.

7. Взаимодействие дыхания и фотосинтеза: обмен продуктами и субстратами. Особенности дыхательного процесса в фотосинтезирующей клетке.

#### **Примерные задания для самостоятельной работы**

Опишите физиологические механизмы и покажите значение для жизнедеятельности растений следующих процессов:

1. Поглощения и миграции энергии света при фотосинтезе.
2. Образования кислорода в фотосинтезе.
3. Синтеза сахарозы в фотосинтезе.
4. Синтеза глюкозы у САМ-растений.
5. Реакций фотодыхания.
6. Работы митохондриальных оксидаз.
7. Работы цитохромной системы.
8. Реакций пентозофосфатного пути дыхания.
9. Радиального транспорта воды в корне.
10. Создания осмотического давления в клетке.
11. Работы верхнего концевое двигателя водного тока.
12. Поглощения анионов клеткой.
13. Ксилемного транспорта элементов минерального питания.
14. Образования и превращения азотистых соединений в растении.
15. Регуляции микроэлементами активности ферментов.
16. Синтеза, транспорта и действия абсцизинов.
17. Синтеза, транспорта и действия гиббереллинов.
18. Геотропизма.
19. Ростовых настий.
20. Гормональной регуляции.
21. Трофической регуляции.
22. Морфогенеза.
23. Инициации цветения.

#### **Примерные темы рефератов:**

1. Метаболические взаимодействия клеточных органоидов.
2. Рост клеток растяжением.
3. Дифференцировка клеток.
4. Старение клетки.
5. Смерть клетки.
6. Раздражимость клетки.
7. Движение цитоплазмы в клетке.
8. Поглощение веществ клеткой.
9. Секреторные функции клетки.
10. Фитогормоны и клетки.
11. Клеточные основы роста растений.
12. Ультраструктура растительной клетки.
13. Физика биологических мембран.
14. Компартиментация как основа регуляции и адаптации клетки.
15. Цитологические основы приспособления растений к факторам среды.
16. Лист как оптическая система.
17. Биогенез и химия хлорофиллов.
18. Развитие и структура хлоропластов.
19. Структура стромы хлоропласта и ее включения.
20. Значение воды и белков в функционально активных хлоропластах.
21. Поглощение и передача энергии света в фотосинтезе.
22. Переносчики электронов в первичных реакциях фотосинтеза.
23. Реакционные центры фотосистем и расщепление воды.
24. Фотосинтетическая фиксация углекислого газа в цикле Кальвина.
25. Фотосинтетическая фиксация углекислого газа в цикле Хэтча и Слэка.
26. Адаптивное значение фотосинтетических механизмов.
27. Экзогенные факторы и фотосинтез.

28. Эндогенные факторы и фотосинтез.
29. Альтернативные пути переноса электронов.
30. Локализация фосфорилирующих центров и их характеристика.
31. Ассимиляция углекислого газа растениями.
32. Первичные и вторичные растительные вещества.
33. Фотосинтез и урожай.
34. Современные представления о дыхании растений.
35. Газообмен при дыхании растений.
36. Ферментативные системы дыхания.
37. Пути превращения дыхательного материала.
38. Дыхание – центральное звено метаболизма растительной клетки.
39. Энергетика дыхания растений.
40. Взаимосвязь различных типов энергетического обмена.
41. Дыхание и поглотительная деятельность корней.
42. Дыхание и биосинтетические функции клетки.
43. Дыхание и рост.
44. Дыхание и транспорт ассимилятов.
45. Дыхание больного растения.
46. Дыхание как функция приспособления растения к среде.
47. Дыхание и фотосинтез.
48. Дыхание и свет. Фотодыхание.
49. Механизмы регуляции окислительного метаболизма.
50. Дыхание целого растения, его органов и тканей.
51. Способы управления дыханием растений.
52. Эволюция механизмов дыхания у растений.
53. Поступление воды в растение.
54. Осмотический механизм.
55. Природа корневого давления.
56. Ближний транспорт воды.
57. Дальний транспорт воды.
58. Транспорт воды через мембраны.
59. Движущие силы водного тока.
60. Водный потенциал.
61. Устьичная и кутикулярная транспирация.
62. Формы воды в растении.
63. Водный дефицит и стресс.
64. Регуляция транспорта воды в целом растении.
65. Физиологические основы орошения.
66. Экология водообмена.
67. Содержание минеральных элементов в растении.
68. Поступление минеральных элементов в растение.
69. Диагностика потребности растений в элементах минерального питания.
70. Потребление минеральных элементов в онтогенезе растения.
71. Синергизм и аддитивность.
72. Питание растения азотом.
73. Роль корней в процессах почвенного питания.
74. Кислотность среды и поглотительная деятельность корней.
75. Распределение минеральных элементов в растении.
76. Реутилизация элементов.
77. Минеральные удобрения и урожайность.
78. Физиологические основы применения удобрений.
79. Выращивание растений без почвы.

80. Микориза и минеральное питание растений.
81. Передвижение веществ в растении.
82. Транспорт ассимилятов в листе.
83. Физиология флоэмного транспорта.
84. Донорно-акцепторные взаимосвязи.
85. Сахаронакопление у тростника и свеклы.
86. Круговорот метаболитов в растении.
87. Накопление и выделение веществ.
88. Взаимосвязь процессов обмена веществ.
89. Принципы регуляции роста и развития.
90. Гормональные факторы развития.
91. Рецепторы и механизм действия гормонов.
92. Рост клетки и органа.
93. Тотипотентность.
94. Гербицидное действие ауксинов.
95. Синтетические аналоги физиологически активных веществ.
96. Теория циклического старения и омоложения растений.
97. Культура изолированных клеток и тканей.
98. Физиолого-биохимические основы покоя.
99. Органогенез и его связь с развитием.
100. Периодизация онтогенеза растения.
101. Гормоны цветения.
102. Раздражение и реакция растений.
103. Механизмы движения – ростовые и тургорные.
104. Взаимодействие органов растения.
105. Фитохромная система растений.

## **2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации**

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине проводится устно по экзаменационным билетам.

Каждый экзаменационный билет содержит три вопроса.

На подготовку к ответу дается от 60 до 120 минут.

### **Список вопросов к экзамену:**

1. Объекты биохимии и физиологии растений – эукариотические фототрофные организмы. Уникальные особенности растительного организма: фото- и автотрофность.
2. Автотрофность в отношении усвоения минеральных элементов. Специфика обмена зеленых растений по сравнению с другими организмами.
3. Организация и координация функциональных систем зеленого растения. Физико-химический, экологический и эволюционный аспекты.
4. Методологические основы исследований в биохимии и физиологии растений. Специфические методы биохимии и физиологии растений.
5. Сочетание различных уровней исследования (субклеточный, клеточный, организменный, биоценотический) в биохимии и физиологии растений.
6. Физиология и биохимия растений – теоретическая основа растениеводства и новых отраслей биотехнологии.

7. Особенности состава и метаболизма углеводов растений. Моносахариды, их структура и взаимопревращения, основные представители. Олигосахариды, их состав, структура, основные представители.
8. Сахароза; локализация ее синтеза и функции. Полисахариды: состав, типы связей, ветвление. Полисахариды запасные и структурные. Структура крахмала и его деградация.
9. Общие свойства липидов, классификация, номенклатура. Насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты: классификация, синтез, катаболизм и функции. Особенности строения ненасыщенных жирных кислот растений.
10. Особенности растительных стероидов, фитостерины. Гликозиды, ацилгликозиды, эфиры стероидов. Биологические мембраны, специфика различных мембран растительной клетки.
11. Структура и ионные свойства аминокислот. Протеиногенные аминокислоты. Аминосоединения, синтезируемые первично из минерального азота и синтез аминокислот. Реакции переаминирования.
12. Функции свободных аминокислот и аминокислот в составе белковых молекул. Реакции деаминации и декарбоксилирования аминокислот. Аминокислоты как субстраты синтеза других азотсодержащих соединений.
13. Первичная структура молекулы полипептида (пептидная связь. С- и N- конец полипептида). Фибриллярные и глобулярные белки. Первичная, вторичная, третичная и четвертичная структура белков.
14. Роль отдельных аминокислот в образовании и поддержании пространственной структуры белковой молекулы. Белковые комплексы. Понятие субъединицы. Функциональная классификация белков.
15. Пуриновые и пиримидиновые основания. Нуклеозиды и нуклеотиды: структура, синтез, функции. Нуклеозидполифосфаты. Циклические нуклеотиды и их роль. Нуклеотидные коферменты и переносчики соединений, их основные типы и биологическое значение.
16. Нуклеиновые кислоты: первичная структура, нуклеотидный состав. Вторичная и третичная структура ДНК. Структура РНК. Типы РНК (информационная, транспортная, рибосомальная).
17. Особенности соединений, которые относят к вторичным метаболитам. Основные классы вторичных метаболитов: строение, классификация и распространение. Алкалоиды, изопреноиды (терпеноиды), фенольные соединения. Минорные классы вторичных метаболитов. Пути биосинтеза основных классов вторичных метаболитов.
18. Характеристика ферментов как высокоспециализированных белковых катализаторов. Алифатическая и простетическая части фермента. Кофакторы ферментной реакции. Энергетическая основа катализа: активный центр фермента.
19. Механизмы регуляции ферментной активности. Регуляция по принципу обратной связи: активация и ингибирование. Аллостерическая регуляция. Индукция и репрессия синтеза. Изозимы и конформеры. Регулирование с участием протеинкиназ.
20. Особенности строения, структурная и функциональная организация растительной клетки. Симбиогенная гипотеза возникновения растительной клетки.
21. Особенности организации ядерного генома растений. Структура генома, полиморфизм растительной ДНК.
22. Типы пластид, особенности строения, онтогенез. Геном пластид. Прокариотические черты и копияность пластидного генома. Полицистронный тип репликации пластидных генов. Размножение и наследование пластид.
23. Особенности строения митохондрий растений. Особенности структуры митохондриального генома растений. Прокариотические черты и размер митохондриального генома растений.
24. Перенос генетического материала между органеллами. Совместная работа трех геномов.

25. Особенности строения плазмалеммы. Транспортные системы плазмалеммы, протонная энергетика транспортных систем,  $H^+$ -АТФаза Р-типа.
26. Особенности строения тонопласта. Транспортные системы тонопласта.  $H^+$ -АТФаза V-типа, пирофосфатаза.
27. Эндоплазматический ретикулум (ЭР) растительной клетки. Шероховатый и гладкий ЭР. Различные функциональные участки растительного ЭПР. Сигнальные последовательности белков, транспортируемых в ЭПР. KDEL-последовательность. Функции ЭПР.
28. Аппарат Гольджи (АГ). Структура АГ. Транспортные везикулы, диктиосомы, пузырьки. Два основных направления транспорта - плазмалемма и вакуоль. Основные транспортируемые вещества.
29. Литический и запасающий типы вакуолей. Белковые маркеры типов вакуолей. Возникновение вакуолей *de novo*. Транспорт веществ в запасающие и литические вакуоли (слияние везикул, автофагия везикул). Функции вакуолярной системы клетки.
30. Структура цитоскелета. Актин и тубулин, их полимеризация и деполимеризация, G-актин и F-актин. Белки, ассоциированные с цитоскелетом. Функции цитоскелета.
31. Углеводные компоненты клеточной стенки. Целлюлоза, гемицеллюлозы, пектины. Каллоза. Первичная и вторичная клеточная стенка. Функции клеточной стенки.
32. Стадии онтогенеза растительной клетки: деление клетки, рост клетки растяжением, дифференцировка, старение и смерть. Запуск и регулирование клеточного цикла. Сигналы и механизмы апоптоза.
33. Дедифференциация растительной клетки *in vitro* и формирование популяции пролиферирующих клеток. Структурные и функциональные особенности клеток растений *in vitro*.
34. Гетерогенность и асинхронность популяции клеток растений вне организма. Изолированные протопласты клеток растений. Использование клеток растений *in vitro* как модельной системы в физиологических исследованиях и в биотехнологии.
35. Преобразование энергии в клетке. Внешние источники энергии для организмов. Две основные формы запасания энергии в клетке: электрохимический потенциал протонов на энергизованных мембранах и макроэргические связи, взаимопревращение этих форм энергии.
36. Энергетика процессов синтеза и гидролиза АТФ. Трансформация энергии на сопрягающих мембранах: электрохимический потенциал – движущая сила фосфорилирования.
37. Значение фотосинтеза в трансформации вещества и энергии в природе. Физико-химическая сущность процесса фотосинтеза и его значение в энергетическом и пластическом обмене растения.
38. Лист как орган фотосинтеза. Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата. Основные показатели мезоструктуры листа. Механизм поглощения и испускания света молекулой; спектры поглощения.
39. Хлорофилл-белковые комплексы (ХБК); механизмы образования, значение связи пигментов с белком. Ориентация пигментов в ХБК.
40. Роль каротиноидов в фотосинтезе. Антенная функция, возбужденные состояния каротиноидов, механизмы миграции энергии на хлорофилл. Механизм защитного действия каротиноидов. Функции каротиноидов. Значение ксантофилловых циклов.
41. Первичные процессы фотосинтеза, их структурно-функциональная организация. Представление о фотосинтетической единице. Антенный комплекс, реакционный центр. Механизмы миграции энергии в хлоропластах.
42. Электрон-транспортная цепь фотосинтеза. Представления о совместном функционировании двух фотосистем. Компоненты ЭТЦ и последовательность переноса электрона по цепи (Z-схема).

43. Фотосинтетическое фосфорилирование. Основные типы, их физиологическое значение, механизмы регуляции. Механизмы энергетического сопряжения транспорта электронов и синтеза АТФ.
44. Химизм процессов ассимиляции углерода в фотосинтезе. Использование продуктов световой стадии для ассимиляции углекислоты.
45. Цикл Кальвина, основные ферменты и механизмы регуляции цикла. Рубиско: содержание фермента, структура, функции, регуляция. Фотодыхание.
46. Цикл Хэтча-Слэка-Карпилова, его функциональное значение. ФЭП-карбоксилаза, ее характеристика и локализация. Организация процесса ассимиляции в клетках мезофилла и обкладки: особенности строения хлоропластов и реакций фотосинтеза.
47. Фотосинтез у САМ- растений: особенности организации процесса запасания энергии и фиксации углекислоты во времени.
48. Превращения Сахаров в цитоплазме и цитозоле; запасные и транспортные формы Сахаров. Включение углерода в аминокислоты.
49. Ассимиляция углекислоты в листе. Действие внешних факторов (интенсивность и качество света, фотопериод, концентрация  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , температура и др.) на фотосинтез. Различие в кривых зависимости скорости ассимиляции от концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в газовой среде у С-3 и С-4 растений. Квантовый выход фотосинтеза. Транспорт  $\text{CO}_2$  к местам фиксации. Устьичная и клеточная проводимость для  $\text{CO}_2$  в зависимости от внешних факторов и возраста листа.
50. Ферментные системы дыхания. Характеристика отдельных групп дыхательных ферментов: пиридинзависимые дегидрогеназы, флавинзависимые дегидрогеназы, оксидазы. Переносчики электронов: хиноны, железосерные белки, цитохромы, их химическое строение и свойства.
51. Основные ферменты синтеза и гидролиза сахарозы и крахмала. Ферментативные реакции и энергетический баланс гликолиза, компартментация процесса в клетках растений. Гликолиз и глюконеогенез.
52. Окислительный пентозофосфатный цикл. Ферментативные реакции и регуляция цикла. Компартментация цикла в клетке и его роль в метаболизме растений.
53. Цикл трикарбоновых кислот. Ферментативные реакции и регуляция цикла. Роль маликэнзима в регуляции работы цикла. Энергетическая эффективность процесса. Особенности цикла трикарбоновых кислот в растениях.
54. Глиоксилатный цикл. Глиоксисомы и глиоксилатный цикл.
55. Особенности ЭТЦ дыхания растений. Окислительное фосфорилирование. Энергизация мембран при функционировании ЭТЦ дыхания. АТФ-синтаза митохондрий. Современные представления о механизме синтеза АТФ.
56. Функции дыхания у растений. Превращение органических кислот в митохондриях. Роль дыхания в создании и поддержании электрохимического потенциала на клеточных мембранах.
57. Цитоплазматические оксидазы (аскорбатоксидаза, полифенолоксидазы, ксантиноксидазы, пероксидазы, каталазы). Их локализация, функции, вклад в общее поглощение кислорода растительной тканью.
58. Количество потребляемой растением воды, содержание воды в клетках, тканях и органах. Взаимодействие молекул воды и биополимеров, гидратация. Состояние воды в клетке. Вода, как структурный компонент растительной клетки, ее участие в биохимических реакциях.
59. Термодинамические показатели состояния воды: активность воды, химический и водный потенциал. Составляющие водного потенциала клетки: осмотический, матричный потенциал, потенциал давления.
60. Градиент водного потенциала как движущая сила поступления и передвижения воды. Основные закономерности поглощения воды клеткой. Аквапорины, их структура, принцип работы. Роль в поддержании водного баланса.

61. Транспорт воды по растению. Корень как основной орган поглощения воды. Механизм радиального транспорта воды в корне. Роль ризодермы и эндодермы в этом процессе.
62. Поступление воды в сосуды ксилемы. Ксилема – основная транспортная магистраль движения водного тока в системе «почва – растение – атмосфера». Характеристика «нижнего» и «верхнего» двигателей водного тока. Корневое давление.
63. Выделение воды растением. Гуттация, «плач» растений. Транспирация и ее роль в жизни растений. Количественные показатели транспирации. Устьичная и кутикулярная транспирация.
64. Строение устьиц у двудольных и однодольных растений, механизм устьичных движений. Влияние внешних факторов на интенсивность транспирации. Регуляторная роль устьиц в водо- и газообмене.
65. Экология водообмена растений. Особенности водообмена у растений разных экологических групп (ксерофитов, мезофитов, гигрофитов, галофитов).
66. Потребность растений в элементах минерального питания. Содержание и соотношение минеральных элементов в почве и растениях. Функциональная классификация элементов минерального питания.
67. Корень как орган поглощения минеральных элементов, специфических синтезов с их участием и транспорта. Рост корня как основа поступления элементов минерального питания. Значение зон роста корня в этом процессе. Система взаимодействия «корень – почва». Роль микоризы.
68. Поглощение ионов и их передвижение в корне. Клеточная стенка как фаза для движения ионов. Понятие свободного пространства. Механизмы поступления ионов.
69. Транспорт ионов через мембраны, движущие силы переноса ионов. Пассивный и активный транспорт ионов.
70. Градиент электрохимического потенциала ионов водорода. Ионные насосы, общая характеристика их структуры, функционирования и регуляции. Вторичный активный транспорт ионов. Белки-переносчики ионов.
71. Модели поступления ионов в корень, транспорт минеральных веществ в ксилему. Апопластный и симпластный путь. Роль плазмодесм и ЭР. Взаимодействие и регуляция систем транспорта ионов из среды в корень и загрузки ксилемы.
72. Специфика радиального транспорта минеральных элементов. Синтетическая функция корня. Связь поступления и превращения ионов с процессами дыхания. Регуляция поступления ионов на уровне целого растения.
73. Особенности азотного обмена растений. Источники азота для растений. Минеральные формы азота, используемые растениями. Физиологические особенности поступления и включения в обмен аммиачного и нитратного азота. Характеристика систем транспорта нитрата и аммония. Видовая специфика усвоения разных форм азота
74. Симбиотическая фиксация молекулярного азота: механизмы восстановления, источники энергии и восстановители. Характеристика и функционирование нитрогеназы.
75. Восстановление нитратов растениями. Нитрат- и нитритредуктаза. Этапы восстановления окисленного азота и их регуляция в клетке *in vivo*.
76. Альтернативные пути усвоения аммонийного азота. Ассимиляция азота в хлоропласте, связь с фотосинтезом. Пути усвоения восстановленного азота у бобовых.
77. Запасные и транспортные формы минерального и органического азота в зависимости от источника азотного питания. Накопление нитрата в тканях и его пулы. Круговорот азота по растению, реутилизация азота.
78. Поступление серы в растение, реакции восстановления и ассимиляции. Основные соединения серы в клетке.
79. Формы минерального фосфора в тканях, их содержание и функции. Особенности поступления фосфора и транспорта его соединений в растении. Формы минерального фосфора в тканях, их функции. Физиологическое значение фосфора.



80. Содержание и распределение калия в клетке, тканях и органах растения; его циркуляция и реутилизация, характеристика систем транспорта  $K^+$ , их функции в растении. Физиологическое значение калия.
81. Накопление, формы соединений, особенности поступления и перемещения  $Ca^{2+}$  по растению. Концентрация и распределение  $Ca^{2+}$  в структурах клетки. Сигнальная роль  $Ca^{2+}$ . Физиологическое значение кальция.
82. Содержание и соединения магния в тканях растений. Запасные формы  $Mg^{2+}$ , его реутилизация и перераспределение в растении. Физиологическое значение магния.
83. Железо: доступность в почве, валентность поглощаемой формы, роль микоризы. Соединения железа; распределение по компартментам клетки и в растении. Физиологическое значение железа.
84. Медь: содержание и распределение в клетке и тканях. Участие в окислительно-восстановительных процессах дыхания и фотосинтеза.
85. Марганец: активируемые им ферментные системы, его специфичность, как кофактора. Роль  $Mn^{2+}$  в функционировании ФС-2.
86. Молибден: потребность в элементе; его значение для процессов утилизации азота среды. Функционирование нитрогеназы и нитратредуктазы.
87. Цинк: структурная роль в поддержании ферментной активности и при синтезе белка. Zn-содержащие ферменты: карбоангидраза, супероксиддисмутаза.
88. Бор: компартментация в клетке; формы соединений. Механизмы участия в регуляции физиологических процессов и метаболизма. Структурная роль в клеточной стенке.
89. Транслокация веществ из листьев в другие органы: флоэмные ситовидные элементы. Состав транслоцируемых веществ. Передвижение фотоассимилятов из мезофилла к сосудам флоэмы по апопласту и симпласту.
90. Механизмы загрузки флоэмы из апопласта и симпласта. Роль сопровождающих клеток. Тип загрузки флоэмы у растений различных систематических групп и ее зависимость от климатических условий. Механизм передвижения веществ по флоэме.
91. Модель потока воды под давлением. Поры ситовидной пластинки как открытые каналы. Скорость передвижения веществ по флоэме; их выгрузка из ситовидных элементов.
92. Восходящий транспорт веществ по ксилеме. Состав ксилемного эксудата. Взаимосвязь транспорта воды и растворенных веществ по ксилеме. Скорости транспорта воды и отдельных веществ.
93. Взаимодействие флоэмных и ксилемных потоков азотистых веществ и ионов. Круговорот и реутилизация минеральных веществ в растении. Функциональная роль этих физиологических процессов.
94. Определение понятий «рост» и «развитие» растений. Проблема роста и развития на организменном, органном, клеточном и молекулярном уровнях. Существование организма как развертывание во времени генетической программы; воздействие внешних факторов.
95. Общие закономерности роста. Показатели роста, S-образный характер кривой роста, его фазы. Типы роста у растений. Клеточные основы роста.
96. Жизненный цикл высших растений. Основные этапы онтогенеза, их морфологические, физиологические и метаболические особенности. Состояние и типы покоя у растений.
97. Механизмы морфогенеза растений. Полярность. Индукция генетических программ, морфогенетические градиенты и ориентация клеток в пространстве. Целостность и коррелятивное взаимодействие органов. Регенерация.
98. Биосинтез, образование конъюгатов, деградация ауксинов. Активный транспорт ауксинов в растениях. Физиологические ответы на ауксины. Ауксин как гормон стеблевого апекса.
99. Биосинтез, образование конъюгатов, деградация цитокининов. Физиологическое действие. Цитокинин как гормон корневого апекса.

100. Взаимодействие ауксинов и цитокининов. Понятие об антагонизме и синергизме. Гормональный баланс в растении. Культура *in vitro* как модель для изучения гормонального баланса.
101. Пути биосинтеза и многообразие гиббереллинов. Образование конъюгатов и деградация. Физиологическое действие гиббереллинов. Эндогенный уровень гиббереллинов и длина дня. Взаимодействие с другими гормонами.
102. Пути биосинтеза АБК в растениях и в грибах, ее метаболизм. Физиологическое действие. Активизация синтеза запасных веществ. АБК как гормон абиотического стресса.
103. Биосинтез этилена. Специфика этилена как газообразного гормона. Физиологическое действие. Взаимодействие этилена с ауксинами и другими гормонами.
104. Брассиностероиды: биосинтез, многообразие. Физиологические эффекты. Жасмоновая кислота. Биосинтез и физиологические эффекты. Салицилат и другие фенольные соединения. Олигосахарины.
105. Основные принципы фоторецепции. Отличие фоторецепторных комплексов от энергопреобразующих. Фитохромная система. Спектральные свойства молекулы. Физиологические реакции, опосредованные фитохромной системой.
106. Структура криптохромов. Использование мутантов для исследования криптохрома. Ответы на синий свет.
107. Восприятие воздействий и сигнальных молекул. Рецепторы стимулов и гормонов, их локализация. Роль плазмалеммы. Передача сигнала. Взаимодействие рецепторов с посредниками, передающими сигнал.
108. Вторичные посредники передачи сигнала. Участие кальция в передаче сигнала. Роль кальмодулина и  $Ca^{2+}$ -САМ комплекса в формировании ответной реакции. Специфика передачи и формирования ответа на определенный стимул.
109. Феноменология фотопериодизма. Восприятие длины дня: эффект прерывания ночи, фитохром, внутренние часы. Гормональная теория цветения Чайлахяна.
110. Внутренние ритмы развития растений. Глубокий (физиологический) покой и вынужденный покой. Температура и развитие растений. Прерывание глубокого покоя пониженными температурами.
111. Развитие зародыша у двудольных растений. Соматический эмбриогенез, факторы, влияющие на индукцию, образование и формирование зародышей *in vitro*.
112. Прорастание семян. Гормональный баланс при прорастании семян. Отношение АБК/гиббереллины. Мутации синтеза АБК и ответа. Связь гормонального статуса семени с биосинтезом других веществ.
113. Регуляция вегетативного роста растений. Рост корня. Роль фитогормонов. Дифференцировка корневых волосков. Серия мутантов с нарушениями инициации и элонгации корневых волосков, формы волосков. Мутации, нарушающие гравитропизм.
114. Рост побеговой системы. Установление филлотаксиса при прорастании семени. Роль фитогормонов. Связь развития листа и меристемы побега.
115. Жизненные циклы растений. Регуляция генеративного развития растений. Проявления пола у растений. Мужские и женские цветки у однодомных растений.
116. Стресс и адаптация – общая характеристика явлений. Неблагоприятные факторы биотической и абиотической природы. Ответные реакции растений на действие стрессоров.
117. Специфические и неспецифические реакции. Природа неспецифических реакций. Стрессовые белки и их функции.
118. Классификация растений по их устойчивости к засухе. Ксерофиты. Способность растений поддерживать водный ток в системе: почва-растение-атмосфера в условиях засухи.
119. Осмотический и гидростатический потенциалы у разных по засухоустойчивости растений. Регуляция осмотического потенциала давления с помощью осмолитов.
120. Защита белков в условиях дегидратации цитоплазмы. Пролин и полиолы как важнейшие протекторы белков. Полиамины. Бетаины. Белки, синтезирующиеся в условиях

дегидратации. Их защитная роль. С<sub>4</sub> и САМ- типы метаболизма как системы экономии влаги у засухоустойчивых растений.

121.Высокие концентрации солей. Типы почвенного засоления. Галофиты и гликофиты. Повреждающее действие солей. Адаптация растений к осмотическому и токсическому действию солей. Компартиментация ионов, роль вакуоли.

122.Растения как экзотермные организмы. Температурные адаптации, связанные с изменением содержания ферментов в клетках и их изоферментного состава. Структурные перестройки клеточных мембран при температурных адаптациях.

123.Толерантность растений к замораживанию. Предотвращение образования льда в клетках. Закалка растений. Механизмы повышения морозоустойчивости при закалке.

124.Активные формы кислорода (АФК). Механизмы их образования. Генерация АФК при стрессах. Токсическое действие АФК; стимуляция перекисного окисления липидов. Механизмы защиты растений от избытка АФК. Антиоксидантные ферментативные системы.

125.Растения, устойчивые к недостатку кислорода. Роль гликолиза в адаптации растений к недостатку кислорода. Анатомические особенности растений, устойчивых к аноксии и гипоксии – стратегия избегания анаэробноза.

126.Токсичность тяжелых металлов для растений их накопление в тканях. Механизмы защиты. Видоспецифичность в чувствительности и устойчивости растений к избытку и недостатку тяжелых металлов в среде. Фиторемедиация.

127.Фитоиммунология как составная часть общей иммунологии. Детерминанты устойчивости растений к патогенам: антибиотические вещества (фитоалексины), механические барьеры, ауксотрофия, реакция сверхчувствительности и др.

128.Физиологическая природа устойчивости растений к патогенам Вертикальная и горизонтальная устойчивости. Роль вторичных метаболитов.

129.Донорно-акцепторные взаимодействия как основа эндогенной регуляции фотосинтеза в системе растительного организма. Механизм эндогенной регуляции в системе растения: потоки углерода, используемые на синтез различных соединений и их распределение по тканям и органам.

130.Теория фотосинтетической продуктивности. Пути повышения эффективности использования солнечной энергии при фотосинтезе. Донорно-акцепторные отношения, реутилизация и круговорот минеральных элементов в растении.

131.Распределение веществ по органам и компартиментация процессов и соединений в клетке и тканях как система пространственной и временной организации биохимических и физиологических процессов и способ регуляции их согласованного взаимодействия и интеграции.

132.Системы регуляции: трофическая, гормональная и электрофизиологическая. Понятие «запрос» и предполагаемые механизмы передачи сигнала. Донорно-акцепторные отношения.

133.Регуляция процессов на клеточном уровне. Метаболитная регуляция и механизм контроля протекания процесса по принципу отрицательной (положительной) связи конечными продуктами. Аденилатный контроль.

134.Компартиментация процессов и веществ как способ организации регуляции процессов в пространстве и времени.

135.Взаимодействие дыхания и фотосинтеза: обмен продуктами и субстратами. Особенности дыхательного процесса в фотосинтезирующей клетке.

## 2.1 Описание процедуры выставления оценки

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

**Оценка «Отлично»** выставляется аспиранту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом дисциплины; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Аспирант дает развернутые, полные и четкие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует научную терминологию.

**Оценка «Хорошо»** выставляется аспиранту, ответ которого на экзамене в целом соответствуют указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются аспирантом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

**Оценка «Удовлетворительно»** выставляется аспиранту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. При ответах аспирант допускает ошибки в определении и раскрытии отдельных понятий, формулировке положений, которые аспирант затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа аспирант не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

**Оценка «Неудовлетворительно»** выставляется аспиранту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов аспиранта.

**Оценка «Неудовлетворительно»** выставляется также аспиранту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.