

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА»

ФИЛИАЛ МГУ В Г. ГРОЗНОМ

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора филиала – руководитель
образовательных программ

А. С. Воронцов



20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Физиология растений

Уровень высшего образования:

Специалитет

Специальность:

06.05.02 Фундаментальная и прикладная биология

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Биотехнология

Форма обучения:

Очная

Москва 2024

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 06.05.02 «ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ БИОЛОГИЯ» (образовательная программа специалитета «Биотехнология»).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В.Ломоносова 20.01.2022 года.

Год приема на обучение 2024.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к обязательной части ОПОП ВО, входит в блок «Общепрофессиональные дисциплины» раздела учебного плана: Базовая часть. Изучается в 6 семестре.

Дисциплина "Физиология растений" представляет собой изложение основ физиологии растений как науки, изучающей механизмы, регуляцию и интеграцию сложных физиологических процессов в растительных системах различного уровня организации (от молекулярного до фитоценотического). Студенты получают современные представления об особенностях строения и функционирования растительной клетки, дыхания, фотосинтеза, физиологической и биохимической роли основных элементов минерального питания, водном обмене растений, процессах роста и развития, механизмах устойчивости к неблагоприятным факторам среды. В курсе изложены молекулярно-биологические и генетические механизмы реализации физиологических функций растений: структура фоторецепторов, рецепторов фитогормонов и организация путей трансдукции сигнала. Курс включает рассмотрение механизмов устойчивости растений к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам окружающей среды. Даются современные представления о биосинтезе и функционировании вторичных метаболитов и их роли во взаимодействии растений с окружающей средой. В курсе значительное внимание уделено практической роли физиологии растений как фундаментальной основы современного растениеводства и растительных биотехнологий.

Дисциплина «Физиология растений» предваряет работу студентов над ВКР.

Цели освоения дисциплины

Целью дисциплины является изложение и закрепление знаний у студентов о физиологии растений как интегральной науки о жизнедеятельности интактного растительного организма – клеток, органов, функциональных систем.

2. Входные требования

Перед началом освоения дисциплины «Физиология растений» студент должен изучить следующие дисциплины: «Ботаника», «Физика», «Общая и неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Цитология», «Биофизика», «Биохимия», «Основы молекулярной биологии», «Общая генетика», «Экология».

3. Планируемые результаты изучения дисциплины, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенция	Индикатор достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
<p>ОПК-1. Способен применять знание о разнообразии, развитии и эволюции биологических объектов различных уровней организации для решения профессиональных задач в полевых и лабораторных условиях, в том числе с привлечением современных методов структурной биологии, биоинформатики, математического и молекулярного моделирования; способен понимать значение биоразнообразия для устойчивости биосферы.</p>	<p>ОПК-1.4. Применяет знания о физиологии растительных объектов для решения профессиональных задач в лабораторных и полевых условиях, с привлечением современных физиологических и молекулярно-биохимических методов анализа и оценки состояния растений.</p>	<p>Знает: базовые представления о разнообразии растительных объектов; физико-химические принципы строения и биофизико-химические основы функционирования растений; принципы клеточной организации растительных объектов, их структурную и функциональную организацию. Умеет: объяснить участие различных клеточных структур в механизмах гомеостатической регуляции, хранения, передачи и реализации наследственной информации; уникальные физиолого-биохимические свойства растений, в частности способность синтезировать широкий спектр вторичных метаболитов, которые находят применение в фармакологии на основе биотехнологий. Владеет навыками: проведения исследований и анализа основных метаболических систем растения: фотосинтетической, дыхательной, гормональной, репродуктивной и др., а также механизмов их регуляции и</p>

		взаимодействия в системе целого растения.
<p>ОПК-2. Способен планировать и проводить биологические эксперименты, наблюдение, описание, идентификацию, классификацию и культивирование биологических объектов, опираясь на знание их структурной и функциональной организации, механизмов жизнедеятельности, используя современное оборудование, информационные технологии и профессиональные базы данных, физико-химические методы и методы моделирования, соблюдая требования биоэтики, техники безопасности и информационной безопасности.</p>	<p>ОПК-2.4. Планирует и проводит биологические эксперименты в области физиологии растений с растительными объектами, опираясь на знание их структурной и функциональной организации, механизмов жизнедеятельности, используя современное оборудование, информационные технологии и профессиональные базы данных, современные физико-химические и физиолого-биохимические методы.</p>	<p>Знает: структурную и функциональную организацию растений, уникальные физиолого-биохимические свойства растений. Умеет: применять основные физиологические и биохимические методы анализа и оценки состояния растений и интерпретировать полученные результаты; исследовать регуляцию функций растения на уровне управления онтогенетическими программами; идентифицировать компоненты растительной клетки по строению, описанию, схемам, биохимическим маркерам; применять различные физические законы для описания происходящих в биологических системах процессов; применять современные экспериментальные методы работ с биологическими объектами.</p> <p>Владеет навыками: проведения экспериментов, интерпретации и анализа результатов исследований в физиологии растений.</p>

4. Объем дисциплины

Объем дисциплины - 3 з.е. (108 ак.ч), из них 72 ак.ч - контактная работа обучающихся с преподавателем на занятиях лекционного типа (лекции - 24 ак.ч) и на занятиях семинарского типа (лабораторные занятия - 24 ак.ч, семинары - 24 ак.ч.).

Самостоятельная работа обучающихся – 36 ак.ч. Форма промежуточной аттестации – зачет, экзамен (6 семестр).

5. Форма обучения – очная

6. Содержание и структура дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, ак.ч.			Самостоятельная работа обучающегося, ак.ч.
		Занятия лекционного типа (Лекции)	Занятия семинарского типа (Семинары)	Занятия семинарского типа (Лабораторные занятия)	
1	Раздел I. Общая характеристика физиологии растений. Тема 1. Физиология растений как интегральная наука	1	1	1	2
2	Раздел II. Биоэнергетика растений. Тема 1. Принципы термодинамики. Тема 2. Преобразование энергии в клетке.	1	1	1	2
3	Раздел III. Дыхание растений. Тема 1. Ферментные системы дыхания. Тема 2. Гликолиз. Тема 3. Цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса). Тема 4. Глиоксилатный цикл.	2	2	2	2
4	Раздел III. Тема 5. Дыхательная электронтранспортная цепь. Тема 6. Окислительный пентозофосфатный цикл (ОПФЦ). Тема 7. Окислительное фосфорилирование. Тема 8. Цитоплазматические оксидазы. Функции дыхания у растений.	2	2	2	2
5	Раздел IV. Фотосинтез. Тема 1. Хлорофиллы. Первичные процессы фотосинтеза.	1	1	1	2

6	Раздел IV. Тема 2. Фотосистемы и их функционирование. Тема 3. Пространственная организация, функционирование и регуляция работы фотосинтетического аппарата. Фотосинтетическое фосфорилирование.	1	1	1	2
7	Раздел IV. Тема 4. Ассимиляция углерода при фотосинтезе. Тема 5. Транспорт продуктов фотосинтеза.	2	2	2	2
8	Раздел V. Минеральное питание. Тема 1. Механизмы транспорта ионов через биологические мембраны. Тема 2. Физиологическое значение макроэлементов и их метаболизм.	1	1	1	2
9	Раздел V. Тема 3. Физиологическое значение микроэлементов и их метаболизм. Тема 4. Корень как орган поглощения и транспорта минеральных элементов.	1	1	1	2
10	Раздел VI. Водный обмен растений. Тема 1. Общая характеристика водного обмена растений и термодинамические показатели состояния воды. Тема 2. Транспорт воды по растению. Тема 3. Выделение воды растением.	1	1	1	2
11	Раздел VII. Дальний транспорт веществ. Тема 1. Флоэмный транспорт. Тема 2. Ксилемный транспорт.	1	1	1	2
12	Раздел VIII. Растительная клетка. Тема 1. Общая характеристика растительной клетки.	2	2	2	2

	<p>Тема 2. Органеллы растительной клетки: ядро, пластиды, митохондрии пероксисомы.</p> <p>Тема 3. Мембранные системы растительной клетки: плазмалемма, тонопласт, ЭР, аппарат Гольджи.</p>				
13	<p>Раздел VIII.</p> <p>Тема 4. Вакуоли и цитоскелет растительной клетки.</p> <p>Тема 5. Клеточная стенка растительной клетки.</p> <p>Тема 6. Онтогенез клетки растения, Культуры клеток растений.</p>	2	2	2	2
14	<p>Раздел IX.</p> <p>Рост и развитие растений.</p> <p>Тема 1. Общая характеристика роста и развития растений.</p> <p>Тема 2. Гормональная регуляция роста и развития растений.</p>	1	1	1	2
15	<p>Раздел IX.</p> <p>Тема 3. Фоторегуляция у растений.</p> <p>Тема 4. Системы регуляции физиологических процессов.</p>	1	1	1	2
16	<p>Раздел IX.</p> <p>Тема 5. Фотопериодизм. Внутренние ритмы развития растений.</p>	1	1	1	2
17	<p>Раздел IX.</p> <p>Тема 6. Фазы развития растений.</p> <p>Тема 7. Использование трансгенных растений для изучения регуляции роста и развития.</p>	1	1	1	2
18	<p>Раздел X.</p> <p>Устойчивость растений к неблагоприятным факторам.</p> <p>Тема 1. Общие принципы и механизмы устойчивости растений.</p> <p>Тема 2. Устойчивость растений к абиотическим стрессам.</p> <p>Тема 3. Устойчивость</p>	2	2	2	2

	растений к биотическим стрессам.				
	Итого	24	24	24	36

6.1. Содержание дисциплины по разделам и темам

Раздел 1. Общая характеристика физиологии растений.

Тема 1. Физиология растений как интегральная наука

Содержание темы Объекты физиологии растений. Организация и координация функциональных систем зеленого растения. Физико-химический, экологический и эволюционный аспекты физиологии растений. Методологические основы исследований в биохимии и физиологии растений. Физиология и биохимия растений – теоретическая основа растениеводства и новых отраслей биотехнологии.

Раздел II. Биоэнергетика растений.

Тема 1. Принципы термодинамики.

Содержание темы Законы химической термодинамики. Свободная энергия; изменение стандартной свободной энергии (ΔG^0). Эндергонические и экзергонические реакции. Химическое равновесие, химический потенциал. Выражение изменения свободной энергии редокс-реакции в единицах электрохимического стандартного окислительно-восстановительного потенциала.

Тема 2. Преобразование энергии в клетке.

Содержание темы Внешние источники энергии для организмов. Две основные формы запасаания 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.

Раздел III. Дыхание

Тема 1. Ферментные системы дыхания.

Содержание темы Характеристика отдельных групп дыхательных ферментов: пиридинзависимые дегидрогеназы, флавинзависимые дегидрогеназы, оксидазы. Переносчики электронов: хиноны, железосерные белки, Fe-содержащие порфирины (гемы) в составе цитохромов, их химическое строение и свойства. Основные группы цитохромов.

Тема 2. Гликолиз.

Содержание темы Основные ферменты гидролиза сахарозы и крахмала. Ферментативные реакции и энергетический баланс гликолиза, компартментация процесса в клетках растений. Особенности гликолиза у растений: АТФ-зависимая фосфофруктокиназа и дифосфатзависимая фосфофруктокиназа - регуляторные ферменты гликолиза. Фруктозо-2,6-фосфат - регуляторная молекула углеводного обмена в растениях. Отличия в регуляции гликолиза в цитозоле у растений и у животных. Роль гликолиза как поставщика трехуглеродных и шестиуглеродных соединений. Связь гликолиза, фотосинтеза и азотного обмена.

Тема 3. Цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса).

Содержание темы Пируватдегидрогеназный комплекс. Структура и регуляция. Ферментативные реакции и регуляция цикла Кребса. Роль маликэнзима в регуляции работы цикла. Энергетическая эффективность процесса. Цикл трикарбоновых кислот как поставщик кетокилот для метаболизма аминокислот. Особенности цикла

трикарбоновых кислот в растениях. Анаплеротические реакции, пополняющие недостаток интермедиатов цикла Кребса.

Тема 4. Глиоксилатный цикл.

Содержание темы Глиоксисомы и глиоксилатный цикл как вариант сопряжения метаболизма липидов и углеводов. Роль глиоксисом в мобилизации запасных липидов семян и в утилизации мембранных липидов стареющих пластид листьев. Токсичные интермедиаты глиоксилатного цикла. Глюконеогенез. Обратимость гликолиза и глюконеогенеза в различных компартментах растительной клетки.

Тема 5. Дыхательная электронтранспортная цепь.

Содержание темы 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.

Тема 6. Окислительный пентозофосфатный цикл (ОПФЦ).

Содержание темы Ферментативные реакции и регуляция цикла. Компартментация цикла в клетке и его роль в метаболизме растений. ОПФЦ как поставщик пятиуглеродных и четырехуглеродных соединений для других биосинтезов. Связь ОПФЦ с метаболизмом фенольных соединений, нуклеотидов, гликанов клеточной стенки, циклом Кальвина. ОПФЦ как источник восстановительных эквивалентов для биосинтеза различных соединений и восстановления азота и серы в пластидах.

Тема 7. Окислительное фосфорилирование.

Содержание темы 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.

Тема 8. Цитоплазматические оксидазы. Функции дыхания у растений.

Содержание темы 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.

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 ретикулума, их структура и функции.

Раздел IV. Фотосинтез.

Тема 1. Хлорофиллы. Первичные процессы фотосинтеза.

Содержание темы Элементы структуры молекулы хлорофилла, ответственные за функцию поглощения, запасания 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. Этапы биосинтеза хлорофиллов и их регуляция.

Реакционный центр Современные модели структурной организации реакционных центров бактерий и высших растений. Механизм преобразования электромагнитной энергии в энергию разделенных зарядов в фотохимических центрах.

Тема 2. Фотосистемы и их функционирование.

Содержание темы Электрон-транспортная цепь фотосинтеза. Представления о совместном функционировании двух фотосистем. Компоненты ЭТЦ и последовательность переноса электрона по цепи (Z-схема). Пигмент-белковые комплексы (ПБК). Механизмы образования, значение связи пигментов с белком. Ориентация пигментов в ПБК. Механизмы энергетического взаимодействия пигментов в комплексах (экситонное, обменно-резонансное взаимодействие) и между комплексами (переходные состояния). Антенные комплексы. Фикобилины. Структура, функции и синтез. Каротиноиды. Роль каротиноидов в фотосинтезе. Антенная функция, возбужденные состояния каротиноидов, механизмы миграции энергии на хлорофилл. Представление о фотосинтетической единице Механизмы миграции энергии в хлоропластах. Организация антенных комплексов бактерий, ФС I и ФС II. Строение и функции ФС II. Организация в тилакоидной мембране и функционирование реакционного центра ФС II. Система фотоокисления воды и образования кислорода при фотосинтезе. Строение и функции ФС I. Структура и функции цитохром-b6/f-комплекса, Q-цикл. Подвижные переносчики ЭТЦ хлоропластов.

Тема 3. Пространственная организация, функционирование и регуляция работы фотосинтетического аппарата. Фотосинтетическое фосфорилирование.

Содержание темы Нециклический, циклический, и псевдоциклический транспорт электронов. Пространственная организация ЭТЦ в тилакоидных мембранах. Локализация функциональных комплексов в гранальных и стромальных мембранах тилакоидов. Образование трансмембранного протонного градиента в процессе транспорта электронов. Энергетическая и регуляторная роль электрохимического градиента протонов в хлоропластах. Регуляция потоков электронов при фотосинтезе. Фотосинтетический контроль. Системы регуляции активности альтернативных путей транспорта электронов в ЭТЦ хлоропластов. Образование при фотосинтезе активных форм кислорода, их роль. Антиоксидантные системы хлоропластов. Механизм защитного действия каротиноидов. Функции каротиноидов в реакционном центре. Значение ксантофилловых циклов у высших растений и водорослей; фотопротекторная функция зеаксантина и диатоксантина Хлородыхание. Процессы фотоингибирования и фотодеструкции; механизмы защиты от фотоингибирования. Кратковременная и долговременная адаптация фотосинтетического аппарата к условиям освещения. Тиоредоксиновая система хлоропластов. Участие в регуляции световых и темновых реакций фотосинтеза.

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 CF₁. Регуляция работы АТФ-синтазного комплекса хлоропластов.

Тема 4. Ассимиляция углерода при фотосинтезе.

Содержание темы Использование продуктов световой стадии для ассимиляции углекислоты. C₃-путь фотосинтеза. Рубиско: содержание фермента, структура, функции, регуляция. Цикл Кальвина, основные ферменты и механизмы регуляции

цикла. Фотодыхание. C4-путь фотосинтеза. ФЕП-карбоксилаза, ее характеристика, локализация, регуляция. Цикл Хэтча-Слэка-Карпилова, его функциональное значение, механизмы регуляции. Организация процесса ассимиляции в клетках мезофилла и обкладки: особенности строения хлоропластов и реакций фотосинтеза. Обмен соединениями между мезофильными клетками и клетками обкладки. Разнообразие типов декарбоксилирования при C4-фотосинтезе. Связь типа декарбоксилирования с ультраструктурой хлоропластов, анатомическими и цитологическими особенностями листьев. Характеристика групп C4-растений. Фотосинтез у САМ-растений: особенности организации процесса запасаения энергии и фиксации углекислоты во времени, регуляция, экологическое значение. Облигатные и факультативные САМ-растения.

Ассимиляция углекислоты в листе. Действие внешних факторов (интенсивность и качество света, фотопериод, концентрация CO₂, O₂, температура и др.) на фотосинтез. Различие в кривых зависимости скорости ассимиляции от концентрации CO₂ и O₂ в газовой среде у C3- и C4-растений. Квантовый выход фотосинтеза. Транспорт CO₂ к местам фиксации, роль карбоангидразы. Устьичная и клеточная проводимость для CO₂ в зависимости от

Тема 5. Транспорт продуктов фотосинтеза.

Содержание темы Транспорт продуктов фотосинтеза из хлоропласта. Челночные системы выноса продуктов фотосинтеза и восстановительных эквивалентов. Механизмы, контролирующие обмен метаболитами между хлоропластами и цитозолем клетки. Превращения сахаров в цитозоле; запасные и транспортные формы сахаров. 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.

Раздел V. Минеральное питание.

Тема 1. Механизмы транспорта ионов через биологические мембраны.

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

Основные способы трансмембранного переноса: диффузия через липидный бислой, белки-переносчики (унипортеры, симпортеры и антипортеры), каналы, поровые комплексы. Обратная корреляция между скоростью и специфичностью работы трансмембранных транспортных систем. Неоднородное распределение транспортных комплексов по мембранам клетки.

Градиент электрохимического потенциала ионов водорода – энергетическая основа активного переноса ионов через плазмалемму. Различия энергетики активного транспорта ионов растительной и животной клеток. H⁺-АТФ-за 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. H⁺-АТФ-за V-типа, пирофосфатаза.

Тема 2. Физиологическое значение макроэлементов и их метаболизм.

Содержание темы 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 трансмембранного транспорта нитрата и аммония. Видовая специфика усвоения разных форм азота.

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

Симбиотическая фиксация молекулярного азота. Установление симбиоза между растением-хозяином и симбионтом (на примере бобово-ризобиального симбиоза). Сигнальные взаимодействия растение - бактерия. Этапы инфицирования растения и образование клубеньков. Nod-гены, nod-фактор. Симбиосомы. Механизмы восстановления, источники энергии и восстановители. Характеристика и функционирование нитрогеназы. Роль леоглобина в симбиотической азотфиксации. Другие примеры симбиозов растений с азотфиксирующими прокариотами. Экологическая роль симбиотической азотфиксации. Пути усвоения восстановленного азота у бобовых. Уреиды.

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

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; аденинфосфосульфат (АФС) фосфоаденинфосфосульфат (ФАФС). Основные соединения серы в клетке, участие в окислительно-восстановительных реакциях. Глутатион, тиоредоксин, 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 аминокислот-тРНК и в функционировании рибосом.

Тема 3. Физиологическое значение микроэлементов и их метаболизм.

Содержание темы 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. Фитосидерофоры. Соединения железа; распределение по компартментам клетки и в растении. Комплексы железа в белках редокс-цепей и других ферментах. Фитоферритин как запасная форма железа.

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-Молибден: Потребность в элементе; его значение для процессов утилизации азота среды. Молибдоптерин и функционирование нитратредуктазы, ксантинооксидазы. Молибден в составе нитрогеназы.

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

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.

Тема 4. Корень как орган поглощения и транспорта минеральных элементов.

Содержание темы Рост корня как основа поступления элементов минерального питания. Значение зон роста корня в этом процессе. Система взаимодействия «корень – почва». Роль микоризы. Растения-накопители и их экологические особенности

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.

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.

Раздел VI. Водный обмен растений.

Тема 1. Общая характеристика водного обмена растений и термодинамические показатели состояния воды.

Содержание темы 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.

Тема 2. Транспорт воды по растению.

Содержание темы Водный ток как динамическая характеристика перемещения воды. Сопротивление водному току, способы его регуляции. Аквапорины, их структура, принцип работы и регуляция активности. Аквапорины плазмалеммы и тонопласта, их роль в поддержании водного баланса.

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

Тема 3. Выделение воды растением.

Содержание темы 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 водного обмена растений. Особенности водного обмена у растений разных экологических групп (ксерофитов, мезофитов, гигрофитов, галофитов).

Раздел VII. Дальний транспорт веществ.

Тема 1. Флоэмный транспорт.

Содержание темы Транспорт веществ из листьев в другие органы: флоэмные ситовидные элементы. Состав транспортируемых веществ (сахара, аминокислоты, гормоны, неорганические ионы и др.). Передвижение фотоассимилятов из мезофилла к сосудам флоэмы по апопласту и симпласту. Симпластическая и апопластическая загрузка флоэмы. Роль клеток-спутниц и клеток обкладки в загрузке флоэмы. Специфика строения, биохимической специализации и ультраструктуры клеток-спутниц флоэмы при разных способах загрузки фотоассимилятов. Тип загрузки флоэмы в зависимости от жизненной формы и климатических условий. Корреляция между типом загрузки флоэмы и способом разгрузки ксилемы. Зависимость химического состава флоэмного экссудата от типа загрузки флоэмы.

Механизм передвижения веществ по флоэме. Модель потока воды под давлением. Поры ситовидной пластинки как открытые каналы. Скорость передвижения веществ по флоэме; их разгрузка из ситовидных элементов. Апопластическая и симпластическая разгрузка флоэмы.

Тема 2. Ксилемный транспорт.

Содержание темы Восходящий транспорт веществ по ксилеме. Загрузка ксилемы в корне. Роль клеток эндодермы и перицикла. Состав ксилемного экссудата. 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.

Раздел VIII. Растительная клетка.

Тема 1. Общая характеристика растительной клетки.

Содержание темы Особенности строения, структурная и функциональная организация растительной клетки. Теория симбиотического происхождения растительной клетки (симбиогенез). Механизмы сортировки белков в растительной клетке. Цитозольный и секреторный пути. Механизмы и сигналы транспорта. Классификация органелл растительной клетки.

Тема 2. Органеллы растительной клетки: ядро, пластиды, митохондрии пероксисомы.

Содержание темы 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. Гетерохроматин и эухроматин. Роль гистонов в регуляции активности генома. Мобильные генетические элементы растений (транспозоны). ДНК-транспозоны. Транспозаза. Нерепликативная транспозиция (на примере Ac и Ds – элементов кукурузы). Варианты фенотипического проявления активности нерепликативных транспозонов. Ретротранспозоны. Роль обратной транскриптазы в репликативной транспозиции.

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. Взаимодействие ядерного и пластидного геномов, двойное кодирование большинства компонентов фотосинтетического аппарата: ФCI, ФCII, цитохром-b6/f-комплекса, АТФ-синтазы, пластидной НАД-Н-дегидрогеназы, RubisCO. Транспорт в пластиды белков, кодируемых ядерным геномом. Размножение и наследование пластид.

Митохондрии растений. Особенности строения митохондрий растений. Особенности структуры митохондриального генома растений. Рекомбинационная активность митохондриального генома. 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 в митохондрию. Двойное кодирование (ядерное и пластидное) большинства белков дыхательной ЭТЦ: НАДН-дегидрогеназы, сукцинат-дегидрогеназы, цитохром-b/c-комплекса, цитохром-оксидазы, АТФ-синтазы. Взаимодействие ядерного и митохондриального генома при возникновении мужской стерильности у растений.

Перенос генетического материала между органеллами в процессе коэволюции. Совместная работа трех геномов (ядерного, пластидного, митохондриального).

Пероксисомы. Типы пероксисом. Образование активных форм кислорода в пероксисомах и глиоксисомах. Сопряжение метаболических процессов в клетке через пероксисомы и глиоксисомы. Транспорт белков в пероксисомы

Тема 3. Мембранные системы растительной клетки: плазмалемма, тонопласт, ЭР, аппарат Гольджи.

Содержание темы Плазмалемма. Особенности строения плазмалеммы. Транспортные системы плазмалеммы, протонная энергетика транспортных систем, H⁺-АТФ-аза Р-типа.

Тонопласт. Особенности строения тонопласта. Транспортные системы тонопласта. H⁺-АТФ-аза V-типа, дифосфатаза.

Эндоплазматический ретикулум (ЭР) растительной клетки. Функции ЭР Шероховатый и гладкий ЭР. Различные функциональные участки растительного ЭР. Сигнальные последовательности белков, транспортируемых в ЭР. KDEL-последовательность. Олеосомы. Формирование олеосом. Особенности наружного слоя олеосом: наличие монослоя полярных липидов и специфических белков. Биогенез олеосом и их деградация в процессе прорастания семян. Белковые тела. Формирование белковых тел и их функции.

Аппарат Гольджи (АГ) растительной клетки. Строение АГ и особенности структуры АГ растительной клетки. Диктиосомы, Гольджи-матрикс, транспортные везикулы. Механизм транспорта. Типы транспортных везикул в зависимости от направления транспорта. Основные направления транспорта и транспортируемые вещества. Функции растительного АГ.

Тема 4. Вакуоли и цитоскелет растительной клетки.

Содержание темы Вакуоли. 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. Накопление токсичных веществ и их производных в вакуоли. ABC-транспортеры. 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. Функции цитоскелета растительной клетки. Участие актиновых филаментов во внутриклеточных движениях. Участие цитоскелета в движении и закреплении органелл. Роль цитоскелета в синтезе целлюлозы. Участие цитоскелета в процессе деления клетки.

Тема 5. Клеточная стенка растительной клетки.

Содержание темы Углеводные компоненты клеточной стенки. Целлюлоза, сшивочные гликаны, пектины. Каллоза. Структурные белки клеточной стенки: белки, обогащенные гидроксипролином (HRGPs), пролином (PRPs), глицином (GRPs), арабиногалактановые белки (AGPs). Функциональные белки КС: экспансины, пектинметилэстеразы, трансгликозилазы и другие 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.

Тема 6. Онтогенез клетки растения, Культуры клеток растений.

Содержание темы 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.

Раздел IX. Рост и развитие растений.

Тема 1. Общая характеристика роста и развития растений.

Содержание темы Общие закономерности роста. 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.

Жизненный цикл высших растений. Основные этапы онтогенеза (эмбриональный, ювенильный, репродуктивный, зрелости, старения), их морфологические, физиологические и метаболические особенности.

Тема 2. Гормональная регуляция роста и развития растений.

Содержание темы Ауксины. Биосинтез, образование конъюгатов, деградация ауксинов. Пространственное распределение процесса синтеза ауксинов в растениях. Активный транспорт ауксинов. Множественность трансмембранных переносчиков ауксинов (белки AUX 1 и PIN-семейства). Специфика распределения потоков ауксина в апексе побега и апексе корня. Физиологические ответы на ауксины: аттрагирующий эффект, растяжение клеток и тропизмы, дифференцировка клеток под действием ауксинов, апикальное доминирование, активизация делений клеток камбия, ризогенез.

Цитокинины. Биосинтез, образование конъюгатов, деградация цитокининов. Пространственное распределение процесса синтеза цитокининов в растениях. Мембранные протеинкиназы как рецепторы цитокининов. Физиологическое действие: аттрагирующий эффект, стимуляция клеточных делений, дифференцировка под действием цитокининов, снятие апикального доминирования с боковых почек. Взаимодействие ауксинов и цитокининов. Понятие об антагонизме и синергизме. Гормональный баланс в растении. Культура клеток *in vitro* как модель для изучения гормонального баланса. Бактерии, использующие нарушение гормонального баланса между ауксинами и цитокининами (*Agrobacterium tumefaciens*, *A. rhizogenes*).

Гиббереллины. Пути биосинтеза и многообразие гиббереллинов. Компартиментация биосинтеза в клетке. Образование конъюгатов и деградация. Рецепторы гиббереллинов. Физиологическое действие гиббереллинов: растяжение клеток и активизация интеркалярных меристем, образование цветоносов, прерывание покоя и стимуляция ростовых процессов. Эндогенный уровень гиббереллинов и длина дня. 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 и белков, участвующих в фолдинге (БТШ); 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. 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.

Другие регуляторы роста растений. Брассиностероиды: биосинтез, Физиологические эффекты: растяжение клеток, роль в дифференцировке мезофилла. Жасминовая кислота и другие оксипиены. Биосинтез и физиологические эффекты. Окисление липидов мембраны как механизм синтеза регуляторных соединений растений. Место жасмонатов в регуляции системной устойчивости к патогенам. Салицилат и другие фенольные соединения. Возможная роль в регуляции термогенеза, ответа на вирусную инфекцию, цветении. Взаимодействие с другими гормонами. Олигосахарины, их элиситорная роль. Фитосульфокины. Способы образования олигосахаридов. Короткие пептиды. Системин как регулятор системного ответа при патогенезе. Короткий пептид CLAVATA 3 и его роль в поддержании пролиферативной активности меристем. Система CLAVATA-WUSHEL.

Тема 3. Фоторегуляция у растений.

Содержание темы Основные принципы фоторецепции. Отличие фоторецепторных комплексов от энергопреобразующих. Физиологически важные области спектра: красная, зеленая, синяя и ультрафиолетовая. Фоторецепторные системы: фитохромы, криптохромы и фототропины. Ответы на сверхнизкую (VLFR), низкую (LFR) и высокую (HIR) интенсивность светового потока.

Фитохромная система. Спектральные свойства молекулы. Фотоконверсия Ph_r – Ph_{fr} : изменения в структуре хромофора и апопротеина. Гены, кодирующие биосинтез. Фитохром А и В: сходства и отличия. Минорные фитохромы. Фотостабильность и фотолабильность фитохромов. Роль фосфорилирования белков в работе фитохромной системы. Перераспределение фитохромов в клетке после получения светового сигнала. Взаимодействие с факторами транскрипции. Физиологические реакции, опосредованные фитохромной системой: светозависимое прорастание, деэтиоляция, синдром избегания тени. К/ДК – обратимость LFR-ответов. Фитохромы как «входные ворота» для фотопериодического сигнала. Механизм действия и трансдукция сигналов при работе фитохромной системы.

Криптохромная система. Криптохромы 1 и 2. Хромофорные группы и основные домены апопротеина. Криптохромы как потенциальные рецепторы в зеленой части спектра. Изменение локализации криптохромов в клетке при действии синего света. Пути трансдукции криптохромного сигнала. Ответы на синий свет, опосредованные криптохромной системой: деэтиоляция, разгибание апикальной петельки проростков, замедление роста. Участие криптохромов в регуляции внутренних часов растения. Механизм действия и трансдукция сигналов при работе криптохромной системы.

Фототропины. Фототропин 1 и фототропин 2. Хромофор и основные домены апопротеина. Локализация фототропинов в клетке и в системе целого растения. Ответы на синий свет, опосредованные фототропинами: фототропизм, распределение хлоропластов в зависимости от интенсивности светового потока, устьичные движения. Роль фосфорилирования белков в реализации фототропинового ответа.

Тема 4. Системы регуляции физиологических процессов.

Содержание темы Система передачи сигнала в клетке. Восприятие воздействий и сигнальных молекул. Типы рецепторов. Роль плазмалеммы в восприятии сигналов. Двухкомпонентные рецепторные киназы. Особенности строения каналов, позволяющие запускать сигнальные каскады в зависимости от потенциала на мембране. Передача сигнала. Непосредственное взаимодействие рецепторов с мессенджерами, передающими сигнал: гетеротримерные G-белки, аденилат-циклаза, гуанилат-циклаза, фосфолипазы А, С и D, НАДФН-оксидаза, NO-синтаза, MAP-киназный

каскад. Низкомолекулярные вторичные мессенджеры передачи сигнала (цАМФ, цГМФ, цАДФ-рибоза, инозитол-1,4,5-трифосфат, NO, активные формы кислорода, фосфатидная кислота, диацилглицерин, свободные жирные кислоты, оксипирины и др.). Участие кальция в передаче сигнала. Кальциевые спайки, осцилляции и волны. Понятие о «кальциевом росчерке» (signature) сигнала. Роль кальмодулина и Ca²⁺-CAM комплекса в формировании ответной реакции. Другие белки, содержащие кальций-связывающие домены (EF-«руки» или EF-hand). Протеинкиназы, значение реакции фосфорилирования/дефосфорилирования в регуляции активности ферментов. Кальций- и кальмодулинзависимые протеинкиназы. Специфика передачи и формирования ответа на определенный стимул.

Рецепторы фитогормонов. Мембранные и внутриядерные рецепторы. Типы рецепторов: компоненты убиквитин-лигазных комплексов (рецепторы ауксинов, гиббереллинов, жасмонатов), гистидин-киназы (рецепторы этилена и уитокининов), LRR-белки серин-треониновые протеинкиназы (рецепторы brassinosteroidов и системина). Мембранные и внутриядерные рецепторы АБК Молекулярные механизмы рецепции трансдукции гормональных сигналов, роль убиквитинирования и протеасом в этих процессах.

Понятие о факторах транскрипции (*транс*-факторах) и *цис*-регуляторных элементах в промоторных участках генов. Энхансеры и сайленсеры. Основные семейства факторов транскрипции: спираль-поворот-спираль (Helix-loop-helix, bHLH), лейциновая молния (Leucine zipper, bZIP), гомеодомен-содержащие и MADS-домен-содержащие транскрипционные факторы. Сборка транскрипционных комплексов и регуляция активности генов.

Тема 5. Фотопериодизм. Внутренние ритмы развития растений.

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

Современные представления о флоригене. Стабилизация м-РНК и синтез белкового продукта гена *CONSTANCE* при индукции цветения. Экспрессия гена *FLOWERING LOCUS T (FT)* и синтез флоригена в листе. Транспорт высокомолекулярного сигнала (флоригена) – FT-белка из листа в меристему побега.

Периодические явления в ритмах органогенеза и роста растений. Циркадные ритмы, механизм их образования. Настройка циркадных ритмов фотопериодом. Понятие о «внутренних часах». Пластохрон. Корректировка внутренних ритмов развития внешними факторами:

Тема 6. Фазы развития растений.

Содержание темы 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 *Arabidopsis* 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. Нормальное развитие цветка. ABC/ABCDE-модель генетической регуляции развития цветка. Генетические функции А, В и С. 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.

Тема 7. Использование трансгенных растений для изучения регуляции роста и развития.

Содержание темы Способы получения трансгенных растений: агробактериальная трансформация, биобаллистика, электропорация. Состав векторных конструкций: гены устойчивости, маркерные гены (*GUS*, *GFP*) и гены интереса. Гиперэкспрессия генов под сильными промоторами (CaMV-35S, NOS). Эктопическая экспрессия генов с использованием тканеспецифических и органспецифических промоторов. Промоторы генов первичного ответа на различные стимулы для анализа процессов регуляции. Конструкции, экспрессирующие в растениях антисмысловую РНК. Снижение экспрессии генома методом РНК-интерференции. Индуцибельные промоторы генов БТШ, промоторы на основе глюкокортикоидного рецептора млекопитающих как инструменты усиления экспрессии генов в определенное время и в определенных группах клеток растения. Направленный мутагенез генов. Управление процессами морфогенеза в эксперименте путем трансгеноза.

Раздел X. Устойчивость растений к неблагоприятным факторам.

Тема 1. Общие принципы и механизмы устойчивости растений.

Содержание темы Стресс и адаптация - общая характеристика явлений. Стрессы биотической и абиотической природы. Ответные реакции растений на действие стрессоров. Стресс-реакция и специализированная адаптация. Специфические и неспецифические реакции. Природа неспецифических реакций. Стрессовые белки и их функции. Низкомолекулярные антистрессовые соединения.

Тема 2. Устойчивость растений к абиотическим стрессам.

Содержание темы *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. С₄ 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^+ в цитоплазме при засолении. Na^+ -транспортирующие системы и их свойства. Дальний транспорт Na^+ (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_m 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 путем их обезвоживания в ходе формирования кристаллов льда в межклетниках либо 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.

Окислительный стресс 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, α -токоферол. Антиоксидантные ферментативные системы. Семейство супероксиддисмутаз. Аскорбат-пероксидаза, 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 избегания 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.

Тема 3. Устойчивость растений к биотическим стрессам.

Содержание темы Фитоиммунитет. Фитоиммунология как составная часть общей иммунологии. Иммуитет и его функции. Хозяйская и нехозяйская устойчивость. Двухфазность ответа растений на внедрение патогена: распознавание патогена и защитная реакция. Элиситоры. Реакция сверхчувствительности (СВЧ). 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 устойчивость. 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, слизи, 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.

7. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине:

7.1. Перечень оценочных средств

Компетенция	Результат обучения по дисциплине (модулю)	Оценочные средства
ОПК-1. Способен применять знание о разнообразии, развитии и эволюции биологических объектов различных уровней организации для решения профессиональных задач в полевых и лабораторных условиях, в том числе с привлечением современных методов структурной биологии, биоинформатики, математического и	Знает: базовые представления о разнообразии растительных объектов; физико-химические принципы строения и биофизико-химические основы функционирования растений; принципы клеточной организации растительных объектов, их структурную и функциональную организацию. Умеет: объяснить участие различных клеточных структур в механизмах гомеостатической регуляции, хранения, передачи и реализации наследственной информации; уникальные	<ul style="list-style-type: none"> • Вопросы для текущей и промежуточной аттестации (тестирование, зачёт, экзамен). • Ситуационные кейс-задания и решения задач по физиологии растений.

<p>молекулярного моделирования; способен понимать значение биоразнообразия для устойчивости биосферы.</p>	<p>физиолого-биохимические свойства растений, в частности способность синтезировать широкий спектр вторичных метаболитов, которые находят применение в фармакологии на основе биотехнологий.</p> <p>Владеет навыками: проведения исследований и анализа основных метаболических систем растения: фотосинтетической, дыхательной, гормональной, репродуктивной и др., а также механизмов их регуляции и взаимодействия в системе целого растения.</p>	
<p>ОПК-2. Способен планировать и проводить биологические эксперименты, наблюдение, описание, идентификацию, классификацию и культивирование биологических объектов, опираясь на знание их структурной и функциональной организации, механизмов жизнедеятельности, используя современное оборудование, информационные технологии и профессиональные базы данных, физико-химические методы и методы моделирования, соблюдая требования биоэтики, техники безопасности и информационной безопасности.</p>	<p>Знает: структурную и функциональную организацию растений, уникальные физиолого-биохимические свойства растений. Умеет: применять основные физиологические и биохимические методы анализа и оценки состояния растений и интерпретировать полученные результаты; исследовать регуляцию функций растения на уровне управления онтогенетическими программами; идентифицировать компоненты растительной клетки по строению, описанию, схемам, биохимическим маркерам; применять различные физические законы для описания происходящих в биологических системах процессов; применять современные экспериментальные методы работ с биологическими объектами.</p> <p>Владеет навыками: проведения экспериментов, интерпретации и анализа результатов исследований</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Вопросы для текущей и промежуточной аттестации (тестирование, зачёт, экзамен). • Ситуационные кейс-задания и решения задач по физиологии растений.

7.2. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения***Образцы вопросов текущего контроля успеваемости
(тестирование)***

1. Работа каких белковых систем обеспечивает формирование $\Delta\mu\text{H}$ на тонопласте?
 - А) H^+ -АТФаза Р-типа
 - Б) H^+ -АТФаза V-типа
 - В) H^+ -АТФаза F-типа
 - Г) Дифосфатаза (пирофосфатаза)
 - Д) АВС-транспортёры

2. Выберите из списка фотосинтетические пигменты:
 - А) Бетаксантины
 - Б) Бетацонины
 - В) Хлорофиллы
 - Г) Виолаксантин
 - Д) Ликопин

3. Прорастание семян масличных культур связано с работой глиоксилатного цикла. Работа каких ферментов характерна для этого цикла?
 - А) Нитратредуктазы
 - Б) Изоцитратлиазы
 - В) Десатуразы жирных кислот
 - Г) НАД-малатдегидрогеназы
 - Д) Сульфитредуктазы

4. Особенности цикла Кребса у растений следующие:
 - А) В митохондрию из гликолиза поступают пируват и малат, которые и включаются в цикл
 - Б) В цикле работают как НАД-, так и НАДФ-зависимые ферменты
 - В) В цикле при окислении 2-оксоглутарата образуется ГТФ
 - Г) Цикл работает быстрее, чем у животных
 - Д) Отсутствует фермент, окисляющий малат до пирувата

5. Какие из перечисленных пигментов принимают участие в переносе электрона в коровых частях фотосистем I и II у растений?
 - А) Зеаксантин
 - Б) Феофитин
 - В) Хлорофилл *a*
 - Г) Хлорофилл *b*
 - Д) Виолаксантин

6. К какому классу соединений относятся основные компоненты эфирных масел?
 - А) Флавоноиды
 - Б) Алкалоиды
 - В) Изопреноиды
 - Г) Сложные эфиры
 - Д) Простые эфиры

7. Выберите из списка кофакторы нитратредуктазы:
- А) ФАД
 - Б) Молибдоптерин
 - В) Цитохром а
 - Г) Цитохром b
 - Д) ФМН
8. Выберите из списка гормоны, рецепторы которых являются компонентами убиквитинового каскада:
- А) ауксины
 - Б) цитокинины
 - В) этилен
 - Г) абсцизовая кислота
 - Д) жасмонаты
9. Одним из важных свойств фоторецепторов растений является их фотообратимость – способность менять свои спектральные характеристики и сигнальные свойства под действием красного или дальнего красного света. Выберите из списка ниже то, что обладает этим свойством.
- А) Фитохром А
 - Б) Фитохром В
 - В) Криптохромы
 - Г) Фототропины
 - Д) Каротиноиды
10. При поедании животными растения часто выделяют летучие метаболиты, являющиеся сигналом для других растений, в том числе, гормоны и их производные. Что это за вещества?
- А) Гиббереллины
 - Б) Ауксины
 - В) Этилен
 - Г) Стриголактоны
 - Д) Метилжасмонаты

Образцы вопросов промежуточной аттестации

1. Электронтранспортная цепь митохондрий: основные компоненты, их окислительно-восстановительные потенциалы.
2. Особенности ЭТЦ дыхания растений.
3. NADH - дегидрогеназы. Строение, локализация в мембране, кодирование субъединиц, механизмы химических реакций, катализируемых NADH - дегидрогеназами.
4. Терминальная цитохром - оксидаза. Строение, локализация в мембране, механизм химических реакций, катализируемых терминальной оксидазой.
5. Цианид - резистентное дыхание и его физиологическая роль.
6. Q - цикл дыхания.
7. Пространственная организация ЭТЦ дыхания в мембране.
8. Энергизация мембран при функционировании ЭТЦ дыхания.
9. АТФ - синтаза митохондрий. Строение, пространственная организация, физиологическая роль и кодирование отдельных субъединиц.

10. Окислительное фосфорилирование, фотофосфорилирование и субстратное фосфорилирование.
11. Цикл Кребса и его особенности в растительной клетке.
12. Глиоксилатный цикл и его физиологическая роль.
13. Гликолиз и его особенности в растительной клетке.
14. Пентозофосфатный шунт. Физиологическое значение.
15. Множественность цитоплазматических терминальных оксидаз у растений. Физиологическое значение.
16. Транспорт продуктов дыхания из митохондрий. Челночные системы митохондрий.
17. Фотосинтетические пигменты: химическое строение, спектры поглощения, фотохимия.
18. Окислительно-восстановительные компоненты ЭТЦ фотосинтеза. Химическое строение и свойства.
19. Фотохимический этап фотосинтеза: поглощение света и энергетические состояния хлорофилла.
20. Механизм миграции энергии на фотохимическом этапе. Отличия миграции энергии в антенных комплексах и реакционных центрах.
21. Фотосистема 1. Строение и пространственная организация.
22. Фотосистема 2. Строение и пространственная организация.
23. Структура и функционирование РЦ фотосистемы 1.
24. Структура и функционирование РЦ фотосистемы 2.
25. Q - цикл фотосинтеза.
26. Строение водоокисляющего комплекса. Химические реакции, протекающие при фотоокислении воды.
27. Пространственная организация фотосинтетического аппарата в мембране.
28. Связь между фотосистемами 1 и 2. Подвижные переносчики электронов.
29. Энергизация мембран при фотосинтезе.
30. Образование активных форм кислорода при фотосинтезе и механизмы защиты от них.
31. АТФ-синтаза хлоропластов. Строение, пространственная организация, физиологическая роль и кодирование отдельных субъединиц.
32. Нециклический транспорт электронов при фотосинтезе. Последовательность переносчиков электронов и физиологический смысл.
33. Циклический транспорт электронов вокруг фотосистемы 1 и 2. Последовательность переносчиков электронов и физиологическое значение.
34. Псевдоциклический транспорт электронов при фотосинтезе. Последовательность переносчиков электронов и физиологическое значение.
35. Регуляция потока электронов при фотосинтезе. Переключение путей транспорта электронов. Фотосинтез при высоких интенсивностях света.
36. Цикл Кальвина.
37. Регуляция работы ферментов темновой фазы фотосинтеза.
38. Рибулозобисфосфаткарбоксилаза. Строение, кодирование субъединиц, механизмы химических реакций, катализируемых РБФК. Регуляция работы
39. С4 фотосинтез при участии NADP-зависимой малатдегидрогеназы.
40. С4 фотосинтез при участии NAD-зависимой малатдегидрогеназы.
41. С4 фотосинтез при участии ФЕП - карбоксикиназы.
42. ФЕП - карбоксилаза. Строение, механизмы химических реакций, катализируемых ФЕП - карбоксилазой. Регуляция работы
43. Анатомические и физиологические особенности С4 растений. Экологическое значение С4 фотосинтеза.

44. САМ метаболизм (метаболизм по типу толстянковых). Экологическое значение.
45. Фотодыхание.
46. Транспорт продуктов фотосинтеза из хлоропластов. Челночные системы хлоропластов. Конечные продукты фотосинтеза и их компартментация.
47. Азотный обмен. Доступные для растения минеральные формы азота. Поглощение и восстановление нитрата. Нитратредуктаза. Нитритредуктаза.
48. Симбиотическая азотфиксация. Механизм симбиоза. Нитрогеназа. Легоглобины.
49. Поглощение и восстановление серы. Физиологическая роль серы.
50. Физиологическая роль фосфора. Инозитол-фосфаты.
51. Физиологическая роль калия.
52. Физиологическая роль кальция.
53. Микроэлементы и их физиологическая роль в растительной клетке.
54. Активный и пассивный транспорт ионов. Ионные каналы и насосы. Общая характеристика.
55. Ион-транспортные системы плазмалеммы и тонопласта.
56. Роль электрохимического градиента протонов в транспорте различных ионов.
57. Поглощение ионов в корне. Радиальный транспорт ионов в корне. Роль эндодермы.
58. Загрузка ксилемы. Транспорт ионов и органических веществ по ксилеме.
59. Загрузка флоэмы. Транспорт ионов и органических веществ по флоэме.
60. Физико-химические законы поглощения и транспорта воды. Активность воды, химический потенциал воды, водный потенциал.
61. Водный потенциал клетки и его составляющие.
62. Водный обмен клетки.
63. Поглощение воды в корне. Радиальный транспорт воды.
64. Корневое давление. Возможный механизм возникновения корневого давления.
65. Транспирация и верхний концевой двигатель.
66. Транспорт воды по ксилеме и его механизмы
67. Транспорт воды по флоэме и его механизмы
68. Включение азота в органические соединения. Транспорт азотсодержащих соединений.
69. Строение устьиц у растений. Регуляция устьичных движений эндогенными и экзогенными факторами.
70. Особенности строения растительной клетки.
71. Клеточная стенка. Общий принцип строения. Первичная и вторичная клеточная стенка.
72. Целлюлоза и сшивочные гликаны. Строение. Синтез. Функционирование. Различия у разных групп растений.
73. Пектины. Строение. Синтез. Функции.
74. Основные углеводы клеточной стенки. Химическое строение и физиологическое значение.
75. Белки клеточной стенки. Инкрустирующие и адкрустирующие клеточную стенку вещества. Их физиологическое значение.
76. Физиологические функции клеточной стенки.
77. Формирование клеточной стенки. Роль микротрубочек. Локализация и функционирование ферментов синтеза клеточной стенки.
78. Плазмалемма. Строение, Основные функции и особенности. Белковые и ферментные системы плазмалеммы
79. Роль различных ацилглицеридов для физических свойств и функционирования мембран растительной клетки. Десатуразы жирных кислот.

80. Тонопласт. Основные функции. Белковые и ферментные системы тонопласта.
81. Плазмодесмы. Строение и физиологические функции.
82. Вакуоли. Состав вакуолярного сока. Физиологические функции вакуолей. Литические и запасающие вакуоли. Происхождение вакуолей
83. Пластидная система растительной клетки. Типы пластид и их функции. Биогенез пластид.
84. Пластиды. Строение. Геном и белок-синтезирующая система пластид. Происхождения пластид.
85. Митохондрии. Строение. Геном и белок-синтезирующая система митохондрий. Отличия генома митохондрий растений.
86. Особенности ядерного генома растений. Взаимодействие ядерного, хлоропластного и митохондриального геномов у растений.
87. Культура клеток растений как экспериментально созданная биологическая система. Тотипотентность растительной клетки.

Ситуационные кейсы и задачи по физиологии растений

1. При повышенной влажности испарение воды через устьица происходит очень медленно, и у многих растений начинается гуттация – выделение капельно-жидкой воды через особые образования – гидатоды. Гуттация в листьях, как и поглощение почвенного раствора корнем, является энергозатратным процессом. Объясните, почему растение в условиях высокой влажности воздуха не стремится избежать гуттации, например, снизив поглощение воды в корнях?
2. Известно, что оранжевую и красную окраску плодам и цветкам растений могут придавать совершенно разные пигменты, например, каротиноиды (изопреноиды) и антоцианы (гликозиды фенольных соединений). Предположите, как под микроскопом можно сразу установить, какая из этих двух групп пигментов придает окраску данному плоду или цветку?
3. Известно, что внешняя и внутренняя мембрана митохондрий по-разному проницаемы для молекул. Например, глюкоза легко проходит через внешнюю мембрану, но плохо проходит через внутреннюю. Опишите какими методами вы бы воспользовались, чтобы доказать это утверждение на практике?
4. При пересадках из тундры в более южные ботанические сады растения приживаются, однако часто «отказываются» цвести. Объясните, почему это происходит и как можно «заставить» их цвести в новых условиях?
5. Среди C₄-растений есть виды, у которых первичный продукт ассимиляции углерода – оксалоацетат – трансаминируется с образованием аспартата. Это позволяет достигать сравнительно высоких концентраций C₄-кислот (в варианте с восстановлением оксалоацетата образующийся малат ингибирует ФЕП-карбоксилазу). Объясните, почему среди САМ-растений нет видов, накапливающих ночью аспартат вместо малата? Предположите, с какими проблемами пришлось бы столкнуться САМ-растениям при накоплении аспартата?
6. Определите дыхательный коэффициент в проросших семенах разных растений; сравните величину дыхательного коэффициента у семян с разным типом запасных веществ. Сделайте вывод о путях окислительного метаболизма разных запасных веществ.
7. Разделите смесь пигментов с помощью тонкослойной хроматографии, идентифицируйте выявленные пигменты и сравните качественный состав пигментов у разных групп фототрофов. Сделайте вывод о возможности идентификации групп фототрофов по составу фотосинтетических пигментов.

8. Определите активность сукцинатдегидрогеназы в растительных митохондриях в присутствии и отсутствии малоната и сделайте вывод о влиянии малоната на активность СДГ.

7.3. Описание критериев и шкал оценивания

Описание критериев оценивания выполнения задания

Показатель	Баллы
Студент выполняет менее 50% задания	0-20
Задание студент выполняет все или большей частью, есть отдельные неточности, способен при направляющих вопросах исправить допущенные неточности	21-32
Задание выполнено студентом правильно, самостоятельно в полном объеме	33-40

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенции	Баллы	Оценка в 5-ти балльной шкале
Недостаточный	Менее 20	неудовлетворительно
Базовый	20-26	удовлетворительно
Высокий (повышенный)	27-32	хорошо
Продвинутый (повышенный)	33-40	отлично

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)

(*оценка сформированности компетенций дается в соответствии со шкалой выше)

Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
Рез-т обучения				
Знания (приведены в п.3.)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения (приведены в п.3.)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки /владения/опыт деятельности (приведены в п.3.)	Отсутствие навыков (владений, опыта деятельности)	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

8. Ресурсное обеспечение:

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

1. «Физиология растений» под ред. И.П.Ермакова. М.: «Академия», 2007.
2. Физиология растений. В 2 т. Учебник для академического бакалавриата / Вл. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева: - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство Юрайт, 2017.
3. Медведев С.С. Физиология растений. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 2004.
4. Полевой В.В., Саламатова Т.С. Физиология роста и развития растений. Л.: ЛГУ. 1991.
5. Биохимия растений / Г.-В. Хелдт; пер. с англ. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 471 с.
6. Ботаника. Учебник для вузов: в 4 т.: / П. Зитте, Э.В. Вайлер, Й.В. Кадерайт, А. Брезински, К. Кёрнер; на основе учебника Э. Страсбургера [и др.]; пер. с нем. О.В. Артемьевой, Т.А. Власовой, И.Г. Карнаухова, Н.Б. Колесовой, М.Ю. Чердениченко. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 496 с. Т. 2 Физиология растений / под ред. В.В. Чуба.
7. Ottoline Leyser, Stephen Day. Mechanisms in Plant Development. Blackwell Science Ltd.; 1 edition. 2003. 241 pages.
8. Taiz and Zaiger. Plant Physiology, 6th edition. Sinauer Associates.2014.

Дополнительная литература:

1. Скулачев В.П. Эволюция биологических механизмов запасания энергии (1997). СОЖ. №5. с.11-19.
2. Рахманкулова З.Ф. Дыхательные суперкомплексы растительных митохондрий: структура и возможные функции // Физиология растений. Т. 61. № 6. С. 1-13, 2014.
3. «Физиология гаплоидного поколения семенных растений» И.П.Ермаков, Н.П. Матвеева, М.А. Брейгина, «КМК», 2016.
4. «Растительная клетка и активные формы кислорода» О.Г. Полесская, «КДУ», 2007.
5. «Морфология и анатомия высших растений» Л.И. Лотова, Эдиториал УРСС, 2001.
6. Кузнецов Вл.В. Физиологические механизмы устойчивости и создание стресс-толерантных трансгенных растений. С. 5-78. В кн. «Проблемы экспериментальной ботаники». Минск, Технология, 2009.
7. Романов Г.А. Открытие рецепторов и биосинтеза цитокининов: как это было. ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, 2011, том 58, № 4, с. 631–635.
8. Новикова Г.В., Мошков И.Е. Суперсемейство мономерных ГТФ-связывающих белков растений. Физиология растений, 2007, том 54, вып 6, с. 932–944.
9. Иванов В.Б. Использование корней как тест-объектов для оценки биологического действия химических соединений. Физиология растений, 2011, том 58, вып 6, с. 944–952.
10. J. Philipp Benz, Minna Lintala, Jürgen Soll, Paula Mulo, Bettina Boller. A new concept for ferredoxin–NADP(H) oxidoreductase binding to plant thylakoids //Trends in Plant Science, (2010), Vol. 15, No. 11.
11. Luca Dall'Osto, Mauro Bressan, Roberto Bassi. Biogenesis of light harvesting proteins // Biochimica et Biophysica Acta 1847 (2015) 861–871.

12. Reimund Gossa, Bernard Lepetitb. Biodiversity of NPQ // Journal of Plant Physiology 172 (2015) 13–32.
13. Roman Kouřil, Jan P. Dekker, Egbert J. Boekema. Supramolecular organization of photosystem II in green plants. // Biochimica et Biophysica Acta 1817 (2012) 2–12
14. Sarvajeet Singh Gill, Narendra Tuteja. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. // Plant Physiology and Biochemistry 48 (2010) 909-930.
15. Karsten Liere, Andreas Weihe, Thomas Bärner. The transcription machineries of plant mitochondria and chloroplasts: Composition, function, and regulation // Journal of Plant Physiology 168 (2011) 1345– 1360.
16. Rachana Singha, Samiksha Singha, Parul Parihara, Vijay Pratap Singhb,*, Sheo Mohan Prasada 2015. Retrograde signaling between plastid and nucleus: //Journal of Plant Physiology 181 (2015) 55–66.
17. Michihiro Suga, Xiaochun Qin, Tingyun Kuang, Jian-Ren Shen. Structure and energy transfer pathways of the plant photosystem I-LHCI supercomplex. // Current Opinion in Structural Biology 2016, 39:46–53.

8.2. Перечень лицензионного и(или) свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

1. Яндекс Браузер
2. Libre Office
3. Adobe Acrobat Reader

8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- www.ncbi.nlm.nih.gov/
- Журналы и библиографические базы данных, доступные через Интернет <http://www.elibrary.ru>
- scholar.google.com
- Plant Physiology 6ed. by L.Taiz&E.Zeiger. <http://6e.plantphys.net/>
- Видеолекции: Физиология растений. Часть 1, 2. <https://teach-in.ru/course/plant-physiology>

8.4. Описание материально-технической базы

Для освоения дисциплины требуется свободный доступ к сети Интернет, а также:

- Аудитории для проведения лекционных, семинарских и лабораторных занятий, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
 - А. Помещения: аудитории для проведения лекционных/семинарских/лабораторных занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации: учебная аудитория филиала МГУ в г. Грозном;
 - Б. Оборудование: наборы ученической мебели, рабочее место преподавателя, Спектрофотометр SmartSpec 3000; Specord 200 (analytikjena);, центрифуги настольные (модель «Eppendorf»); весы аналитические Adventurer; магнитные мешалки; pH-метры; фотоколориметры; шкафы-стерилизаторы суховоздушные; вакуумный насос-компрессор «Millipore»; микроскопы ЛОМО и бинокляры; прибор системы для высокоэффективной жидкостной хроматографии; аквадистилляторы; ламинаты, ученическая доска, компьютер, проектор, экран, доска.

9. Язык преподавания

Русский.

10. Преподаватели

Носов Александр Михайлович - доктор биологических наук, профессор каф. физиологии растений биологического факультета МГУ

Бассарская Елизавета Михайловна – кандидат биологических наук, доцент каф. физиологии растений биологического факультета МГУ

Константинова Светлана Викторовна - кандидат биологических наук, старший преподаватель каф. физиологии растений биологического факультета МГУ

Лабунская Елена Алексеевна - кандидат биологических наук, старший преподаватель каф. физиологии растений биологического факультета МГУ

Глазунова Марина Андреевна - старший преподаватель каф. физиологии растений биологического факультета МГУ

Власова Татьяна Анатольевна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник каф. физиологии растений биологического факультета МГУ

Кочетова Галина Владимировна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник каф. физиологии растений биологического факультета МГУ

11. Авторы программы

Носов Александр Михайлович - доктор биологических наук, профессор каф. физиологии растений биологического факультета МГУ