



**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
БОТАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ.В.Л.КОМАРОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**УТВЕРЖДЕНО**

на заседании Ученого совета БИН РАН  
протокол № 6 от 6 июня 2022 года

Директор БИН РАН,

Д.О.Н.,

Д.В. Гельтман



Рабочая программа дисциплины

**«ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ»**

---

программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

научная специальность 1.5.21 Физиология и биохимия растений

Санкт-Петербург

2022

*Составитель рабочей программы:*

*Войцеховская Ольга Владимировна., к.б.н., вед.н.с. с возложением обязанностей рук. лаб. молекулярной и экологической физиологии БИН РАН*

**ДИСЦИПЛИНА** «Физиология и биохимия растений»

научная специальность 1.5.21 Физиология и биохимия растений

Курс: 1, 3 курс

Трудоёмкость в ЗЕТ - 6

Трудоёмкость в часах - 216

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Рабочая программа дисциплины «Физиология и биохимия растений» разработана и составлена на основании Федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, в соответствии с учебными планами подготовки аспирантов в БИН РАН по научной специальности 1.5.21 Физиология и биохимия растений.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Цели изучения дисциплины «Физиология и биохимия растений»**

- углубить знания аспирантов об основных процессах, обеспечивающих жизнедеятельность растений и их взаимодействие со средой обитания, о взаимосвязи структурной и функциональной организации растений;
- создать представление о спектре наиболее актуальных научных проблем современной физиологии и биохимии растений и о современных методах их решения.

**Задачи дисциплины:**

- углубить и систематизировать фундаментальные знания аспирантов в основных областях физиологии и биохимии растений с учетом новейших данных научных исследований;
- сформировать у аспирантов представление об основных научных проблемах и дискуссионных вопросах современной физиологии и биохимии растений;
- сформировать у аспирантов представление о спектре современных методов, включая молекулярно-генетические, физиолого-биохимические и цитологические методы, применяемых для решения задач современной физиологии и биохимии растений, и знание конкретных примеров их применения;
- подготовить аспирантов к применению полученных знаний при осуществлении собственных исследований в области физиологии и биохимии растений.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Учебная дисциплина «Физиология и биохимия растений» входит в образовательный компонент подготовки аспирантов по научной специальности 1.5.21 Физиология и биохимия растений.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания по физиологии и биохимии растений, общей ботанике, биохимии, молекулярной биологии и генетике в объеме программы высшего образования.

Знания и навыки, полученные аспирантами при изучении данного курса, необходимы при подготовке к сдаче кандидатского экзамена и написании научно-квалификационной диссертационной работы.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**По окончании изучения дисциплины аспиранты должны:**

**знать:**

- об основных процессах жизнедеятельности растительных организмов на молекулярном, клеточном, организменном и ценоотическом уровнях, и о принципах регуляции этих процессов;
- о современных методах исследований.

**уметь:**

- самостоятельно приобретать новые знания и формировать суждения по научным проблемам современной физиологии и биохимии растений, используя современные образовательные и информационные технологии;
- применять полученные представления о диапазоне возможностей современных методов исследований, используемых для решения задач физиологии и биохимии растений, при разработке стратегий решения собственных исследовательских задач.

**владеть:**

- навыком доступно и логично излагать полученные знания (в ходе беседы, дискуссии, опроса, экзамена и т.п.);
- навыком использования современных образовательных и информационных технологий.

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану.

Форма обучения очная, 1й и 3ий года аспирантуры; виды отчетности —зачёт, зачёт с оценкой, кандидатский экзамен.

Вид учебной работы	Объем, уч. часов	Объем, зачетных единиц
--------------------	---------------------	------------------------------

Трудоемкость изучения дисциплины	<b>216</b>	<b>6</b>
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b>	<b>36</b>	<b>1</b>
в том числе:		
-лекции	36	1
<b>Самостоятельная работа аспиранта (всего)</b>	<b>180</b>	<b>5</b>
в том числе:		
-Подготовка реферата	72	2
-Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку	108	3

#### 4.2. Объем дисциплины и виды учебной работы

№ п/п	Название раздела дисциплины	Объем (в учебных часах)	
		Лекции	самостоятельная работа
1	Общие вопросы физиологии и биохимии растений. Задачи и основные разделы курса.	2	10
2	Основные классы биомолекул в составе растительного организма.	3	20
3	Растительная клетка и ее компартменты. Рост и деление клетки.	3	10
4	Биоэнергетика растительного организма.	6	30
5	Рост и развитие растений. Растительные гормоны. Молекулярная регуляция репродукции растений. Старение и клеточная гибель.	4	20
6	Водообмен. Минеральное питание. Дальний транспорт веществ.	4	20
7	Особенности метаболизма растений.	4	20
8	Молекулярные основы патогенеза и иммунитета растений. Симбиоз растений с другими организмами.	4	20
9	Пути адаптации растений к абиотическому стрессу.	4	20
10	Методы и подходы современной физиологии и биохимии растений.	2	10
	<b>Итого:</b>	<b>36</b>	<b>180</b>

#### 4.3. Содержание разделов и темы занятий

## **Тема 1. Общие вопросы физиологии и биохимии растений. Задачи и основные разделы курса.**

Объекты биохимии и физиологии растений. Положение растительных организмов в системе живого мира. Уникальные особенности растительного организма: фото- и автотрофность. Физиология и биохимия растений — теоретическая основа растениеводства и новых отраслей биотехнологии. Феномика растений и высокопроизводительное фенотипирование.

## **Тема 2. Основные классы биомолекул в составе растительного организма.**

Общие свойства липидов и их классификация. Насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты: классификация, биосинтез, метаболизм, функции. Биосинтез и катаболизм триглицеридов. Стерины. Мембранные липиды, их строение и функции. Липиды пластид и митохондрий. Внеклеточные липиды: кутин, суберин, воска.

Структура и ионные свойства аминокислот. Ассимиляция неорганического азота растением. Транспортные формы азота в растениях. Биосинтез аспарагиновой кислоты и ее производных. Биосинтез глутаминовой кислоты и ее производных. Биосинтез ароматических аминокислот. Биосинтез разветвленных аминокислот. Биосинтез гистидина.

Общие свойства белков. Химическое строение белков. Биосинтез белков в цитоплазме, пластидах и митохондриях растительной клетки. Строение рибосом. Этапы биосинтеза белка. Фолдинг и посттрансляционные модификации белков. Деградация белков в растительной клетке.

Растительные вещества вторичного происхождения, их биосинтез и функции. Фенольные соединения (фенолоскислоты, фенилпропаноиды, флавоноиды и изофлавоноиды, полимерные фенольные соединения). Изопреноиды (моно-, сескви-, ди-, три- и тетратерпеноиды, полимерные изопреноиды). Гликозиды. Алкалоиды.

Ферменты. Классификация ферментов. Реакции, катализируемые основными классами ферментов в растительной клетке.

## **Тема 3. Растительная клетка и ее компартменты. Рост и деление клетки.**

Ядро. Хранение и наследственной информации на молекулярном уровне: репликация, репарация и рекомбинация ядерной ДНК. Типы и функции РНК в растительной клетке. Биосинтез белка. Структура и организация геномов растений, ее особенности. Хроматин и эпигенетическая регуляция активности генома. Взаимодействие ядерного, митохондриального и хлоропластного геномов.

Состав и свойства биологических мембран. Жидкостно-мозаичная модель структурно-функциональной организации мембран. Плазматическая мембрана. Эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи, микротела (пероксисомы, глиоксисомы, автофагосомы, лизосомы и др.), вакуоли, их строение и основные функции. Эндоцитоз и экзоцитоз.

Клеточная оболочка, ее функции в растительной клетке. Состав клеточной оболочки: целлюлоза, гемицеллюлозы, пектины, структурные белки. Биосинтез целлюлозы. Архитектура первичной клеточной оболочки. Биосинтез и сборка клеточной оболочки. Рост клеток растяжением. Роль клеточной оболочки в росте клеток. Вторичная и третичная клеточная оболочка. Значение целлюлозы для хозяйственной деятельности человека.

Деление ядра и клетки, митоз и мейоз. Место мейоза в органогенезе растений и его биологическое значение. Клеточный цикл. Механизмы регуляции и контроля клеточного цикла. Циклин-зависимые киназы. Цитоскелет, особенности его строения в связи с биологическими функциями. Тотипотентность растительной клетки. Регенерация.

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

Значение работ М.С. Цвета. Хлорофиллы, их химическая структура и спектральные свойства. Биосинтез хлорофиллов. Распространение хлорофиллов среди различных групп организмов. Функции хлорофиллов.

Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата бактерий и хлоропластов. Современные модели структурной организации реакционных центров бактерий и высших растений. Электрон-транспортная цепь фотосинтеза, ее основные компоненты - ФС1, ФС2, цитохромный b6/f комплекс; их структура и функции. Представление о двух пигментных системах (эффект усиления Эмерсона). Представление о совместном функционировании двух фотосистем (Z-схема). Образование соединений с высоким восстановительным потенциалом. Q-цикл. Комплекс фотоокисления воды и выделения кислорода при фотосинтезе. Линейный и циклический электронный транспорт.

Строение и функционирование фотосистем (ФС) ФС2 и ФС1. Электронно-возбужденные состояния хлорофиллов (синглетное, триплетное). Типы дезактивации возбужденных состояний пигментов. Флуоресценция. Механизмы миграции энергии в светособирающей антенне. Преобразования энергии в реакционном центре фотосистем. Окислительно-восстановительные превращения хлорофиллов реакционного центра.

Хлорофилл-белковые комплексы светособирающей антенны наземных растений. Каротиноиды, их классификация и структура, физико-химические свойства. Биосинтез каротиноидов. Роль каротиноидов в фотосинтезе. Фикобилины, строение и физико-химические свойства. Строение антенны цианобактерий. Явление хроматической комплементарной адаптации у водорослей.

Механизм сопряжения электронного транспорта и образования АТФ. Хемиосмотическая теория П. Митчелла. Протондвижущая сила, ее компоненты. Строение АТФ-синтазы тилакоидных мембран. Нециклическое и циклическое фотофосфорилирование.

Окислительный стресс. Типы активных форм кислорода (АФК), места их продукции в клетке растений. Повреждения, вызываемые АФК в клетках. Ферментативные и неферментативные антиоксидантные системы растений. Аскорбат-глутатионовый цикл. Роль реакции Мелера и альтернативной оксидазы.

Сигнальная роль АФК в восприятии растениями различных стрессов. Разнообразие структурных, молекулярных и биохимических механизмов фотозащиты у растений.

Цикл Кальвина-Бенсона, его ферменты и катализируемые реакции. Регуляция цикла светом. Строение рибулозо-1,5-бисфосфаткарбоксилазы/оксигеназы (Рубиско). Регуляция активности Рубиско. Фотодыхание. Цикл Хэтча-Слэка-Карпилова. Особенности С3- и С4- растений и САМ-тип метаболизма.

Значение зеленых растений для биосферы. Зависимость продуктивности фотосинтеза от различных факторов внешней среды (интенсивности и спектрального состава света, концентрации углекислоты, температуры, содержания воды, минерального питания). Суточный ход фотосинтеза. Методы изучения фотосинтеза.

Гликолиз: значение фосфорилирования гексозы, I и II субстратное фосфорилирование, энергетический выход гликолиза. Цикл ди- и трикарбоновых кислот (цикл Кребса). Глиоксилатный цикл. Пентозофосфатный путь окисления глюкозы. Энергетический выход цикла Кребса и пентозофосфатного пути, использование промежуточных продуктов.

Структура и функции митохондрий. Дыхательная электрон-транспортная цепь. Природа фосфатной макроэргической связи АТФ. Хемиосмотическая гипотеза окислительного фосфорилирования Митчелла. Разобщение электрон-транспортной цепи и фосфорилирования. Альтернативный путь дыхания. Разнообразие путей переноса электронов и протонов у растений как приспособление к условиям существования.

## **Тема 5. Рост и развитие растений. Растительные гормоны. Молекулярная регуляция репродукции растений. Старение и клеточная гибель.**

Общие закономерности роста, типы роста у растений: апикальный, интеркалярный, радиальный, базальный, равномерный. Организация и функционирование меристем корня и стебля. Полярность. Различные типы структурной и молекулярно-генетической организации меристем высших растений. Структурные и молекулярно-генетические механизмы развития корня. Клеточные и молекулярно-генетические механизмы формирования побега.

Системы регуляции физиологических процессов растений: трофическая, гормональная, электрическая, фотопериодизм, дальний транспорт информационных макромолекул. Фитогормоны (ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизовая кислота, этилен, жасмонаты, брассиностероиды, салициловая кислота, стриголактоны), их биосинтез, транспорт, физиологическое действие.

Ростовые и тургорные движения растений. Тропизмы (фото-, гео-, электро-, термотропизмы) и настии. Влияние света на процессы роста и развития растений. Фотоморфогенез и скотоморфогенез. Фоторецепторы растений. Фитохромная и криптохромная системы регуляции. Трансдукция гиббереллинового сигнала, связь с фитохромной системой. Фототропины. Фотопериодизм. Типы

фотопериодической реакции. Ритмика, биологические часы. Суточная и сезонная периодичность роста.

Перцепция, трансдукция и интеграция сигналов в растениях. Плазматическая мембрана как место рецепции. G-белки и связанные с ними рецепторы. Ионные каналы как рецепторы. Вторичные мессенджеры: циклические нуклеотиды, кальций. MAP-киназные сигнальные каскады. Трансдукция сигнала этилена. Трансдукция сигнала цитокинина. Интеграция транспорта ауксина и его сигнальной роли.

Внутренние и внешние факторы, определяющие переход растений от вегетативного развития к генеративному. Индукция цветения. «Флориген». Автономный путь индукции цветения. Молекулярная регуляция развития цветка. ABC-модель.

Старение растений: структурные и метаболические перестройки на уровне клеток и органов. Программированная клеточная смерть на разных стадиях онтогенеза растений и как ответ растений на стресс

## **Тема 6. Водообмен. Минеральное питание. Дальний транспорт веществ.**

Симпласт и апопласт. Плазмодесмы, их строение, особенности образования и функции. Ближний и дальний (флоэмный) транспорт ассимилятов. Структурные элементы флоэмы. Транспортные формы веществ. Симпластная и апопластная загрузка флоэмы ассимилятами. Возможный механизм и регуляция флоэмного транспорта. Теория Э. Мюнха и ее современные подтверждения. Разгрузка флоэмы. Донорно-акцепторные взаимодействия и роль транспортных систем в интеграции физиологических функций целого растения.

Градиент водного потенциала как движущая сила поступления и передвижения воды. Аквапорины (белки водных каналов), их структура, принцип работы. Первичный и вторичный мембранный транспорт, ближний транспорт по апопласту и симпласту.

Ксилемный транспорт веществ. Структурные элементы ксилемы. Движущие силы ксилемного транспорта. Разгрузка ксилемы в листьях. Зависимость ксилемного транспорта веществ от температуры, водного режима, минерального питания. Кавитация и эмболия. Общее представление о нижнем и верхнем концевых двигателях поглощения воды растениями. Корневое давление (плач растений, гуттация, предполагаемый осмотический механизм). Передвижение воды по тканям и сосудам. Состояние воды в сосудах. Функции клеток эндодермы. Транспирация. Устьичная и кутикулярная транспирация. Законы Дальтона и Стефана о диффузии паров воды. Физиология движения устьиц.

Представление о физиологически кислых и щелочных солях. Физиологическая роль калия, кальция, магния. Влияние катионов на коллоидные свойства цитоплазмы и структуру ферментов. Представление об антагонизме ионов. Участие катионов в генерации биопотенциалов. Пассивное и активное поступление веществ в клетку растения. Ионные каналы. Активный мембранный транспорт. Протондвижущая сила. Механизмы транспорта калия в растении. Мембранный транспорт калия.



Системы поглощения и транспорта почвенного нитрата. Пути редукции нитратов у растений. Структура активного центра нитратредуктазы. Регуляция нитратредуктазы. Сигнальная роль нитрата. Значение работ Д.Н. Прянишникова об усвоении растениями нитратных и аммиачных удобрений и о роли амидов. Переаминирование, превращение азотистых веществ при прорастании семян. Роль глутамина в обезвреживании аммиака.

Участие железа в обмене веществ. Стратегии поглощения почвенного железа корнями. Транспорт и запасание железа в растениях. Роль микроэлементов в жизни растений (молибден, марганец, медь, цинк, бор). Переходные металлы и продукция активных форм кислорода в растениях. Токсичность алюминия: проблема «кислых почв». Отношение растений к металлам: «гипераккумуляторы» и «исключатели». Фиторемедиация почв.

### **Тема 7. Особенности метаболизма растений.**

Особенности углеводного метаболизма растений: гексозофосфатный, триозофосфатный и пентозофосфатный пулы, их взаимопревращения. Транспортные системы, контролирующие обмен метаболитами между клеточными компартментами. Биосинтез сахарозы и крахмала. Суточная регуляция биосинтеза и деградации крахмала. Структура крахмального зерна. Деградация сахарозы и крахмала. Донорно-акцепторные отношения растений, регуляция соотношения надземной и подземной биомассы. Взаимосвязь фотосинтеза и процессов усвоения азота. Потоки метаболитов в хлоропласт и из него.

Сера и ее значение для растений. Формы серы, доступные для растений. Механизмы ассимиляции серы растениями. Транспорт серы в растениях. Восстановление сульфата и сульфита. Биосинтез цистеина. Синтез и функции глутатиона в растительной клетке. Фитохелатины. Детоксификация ксенобиотиков.

### **Тема 8. Молекулярные основы патогенеза и иммунитета растений.**

#### **Симбиоз растений с другими организмами.**

Врожденный иммунитет растений: «первичный неспецифический» и «вторичный специфический». Молекулярные паттерны патогенов (PAMPs). Паттерн-распознающие рецепторы. Мембранные и цитоплазматические рецепторы иммунного ответа, содержащие консервативные домены с лейцин-богатыми повторами (LRRs). Гены авирулентности и R-белки. Сопряженная эволюция растения хозяина и патогена. Защита от вирусов, локальный и системный РНК сайленсинг при вирусной инфекции.

Микориза – древнейший и наиболее распространенный вид симбиоза растений и грибов. Арбускулярная микориза. Эктомикориза. Эндомикориза Орхидных. Роль фосфора в питании растений. Доступные формы фосфорных соединений. Поглощение фосфора корнями. Транспорт фосфора. Участие фосфора в обмене веществ. Роль микоризных корневых симбиозов в обеспечении фосфором. Азотфиксирующие симбиозы. Строение нитрогеназы, «кислородная дилемма». Симбиоз растений и цианобактерий: внутриклеточный (Gunneraceae) и

внеклеточный (саговники, Azolla, лишайники и др.). Клубеньковые симбиозы на корнях. Ризобияльные симбиозы: Бобовые и Parasponia. Штаммы Frankia и актиноризообразующие растения. Молекулярно-генетические основы внутриклеточного симбиоза. NOD-факторы и МУС-факторы, трансдукция их сигналов в растительной клетке.

Содержание различных форм азота в атмосфере и почве. Группы азотфиксирующих организмов. Открытия С.Н. Виноградского и М. Байеринка. Клубеньковые бактерии и другие симбионты. Структура активного центра нитрогеназы. Симбиотическая азотфиксация в корневых клубеньках бобовых. Экспорт продуктов ассимиляции азота из клубеньков. Системы поглощения и транспорта почвенного аммония. Включение аммиачного азота в обмен веществ.

### **Тема 9. Пути адаптации растений к абиотическому стрессу.**

Пути адаптации растений к водному дефициту. Классификация растений по их устойчивости к засухе. Водный потенциал и относительное содержание воды. Регуляция осмотического потенциала. Аквапорины. Пролин и полиолы как важнейшие протекторы белков. Полиамины - протекторы нуклеиновых кислот. Бетаины и их защитные функции. Протекторные белки. Регуляция устьиц: интеграция сигналов АБК, жасмонатов, света и CO<sub>2</sub>. C<sub>4</sub>- и САМ-типы метаболизма как системы экономии влаги у засухоустойчивых растений. Особенности водного обмена у различных экологических групп растений (гигрофиты, мезофиты, ксерофиты). Физиологические основы орошаемого земледелия.

Пути адаптации растений к высокой концентрации солей. Галофиты и гликофиты. Сигнальный каскад SOS. Осморегуляторная и протекторная функции осмолитов. Протекторные белки, синтезирующиеся в условиях солевого стресса. Системы ионного гомеостатирования клеток. Компартиментализация ионов, роль вакуоли. Роль плазмалеммы и тонопласта в поддержании низких концентраций ионов натрия в цитоплазме. Роль калия и кальция в устойчивости растений к солевому стрессу.

Пути адаптации растений к экстремальным температурам. Изменения содержания и изоферментного состава ферментов. Структурные перестройки клеточных мембран. Изменение вязкости липидов и регуляция активности локализованных в мембранах ферментов. Белки теплового шока, их классификация и функции.

### **Тема 10. Методы и подходы современной физиологии и биохимии растений.**

Методы молекулярной и клеточной биологии и генной инженерии в физиологии и биохимии растений. Агробактериальная трансформация растительных клеток. Генно-инженерные конструкции на основе GFP (зеленый флуоресцирующий белок), их применение в решении задач современной биологии растений. Методы исследования белков растений. Принципы и методы

метаболического профайлинга. Подходы к высокопроизводительному фенотипированию растений.

#### **4.4. Практические занятия.**

Не предусмотрены.

#### **4.5. Самостоятельная работа аспиранта**

Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе. В программу самостоятельной работы включается также написание реферата по теме выбранной аспирантом (из указанных в п.4.6.) или предложенной научным руководителем по материалам, изучаемым в рамках данного курса.

#### **Тема 1. Общие вопросы физиологии и биохимии растений. Задачи и основные разделы курса.**

Значение фотоавтотрофов в создании и поддержании газового состава атмосферы, водного, почвенного и климатического режима на планете. Динамика изменения газового состава атмосферы в ходе эволюции фотоавтотрофов.

## **Тема 2. Основные классы биомолекул в составе растительного организма.**

Нуклеиновые кислоты. Особенности структуры и укладки ДНК в клетке растений.

## **Тема 3. Растительная клетка и ее компартменты. Рост и деление клетки.**

Симбиогенетическая гипотеза возникновения растительной клетки.

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

Принципы термодинамики. Свободная энергия; изменение стандартной свободной энергии. Химическое равновесие, химический потенциал. Выражение изменения свободной энергии редокс-реакции в единицах электрохимического стандартного окислительно-восстановительного потенциала.

## **Тема 5. Рост и развитие растений. Растительные гормоны. Молекулярная регуляция репродукции растений. Старение и клеточная гибель.**

Микроспорогенез, микрогаметогенез. Развитие семязачатка. Мегаспорогенез и мегагаметогенез. Опыление, рост пыльцевой трубки, оплодотворение. Самонесовместимость. Молекулярные детерминанты формирования и развития зародыша. Развитие семян. Гормональная регуляция созревания, покоя и прорастания семян. Физиология покоя: глубокий и вынужденный покой.

## **Тема 6. Водообмен. Минеральное питание. Дальний транспорт веществ.**

Токсическое действие тяжелых металлов.

## **Тема 7. Особенности метаболизма растений.**

Глиоксилатный цикл. Основные классы вторичных метаболитов растений и пути их биосинтеза.

## **Тема 8. Молекулярные основы патогенеза и иммунитета растений. Симбиоз растений с другими организмами.**

Обмен веществ и потоки органического вещества и минеральных элементов между симбионтами в разных типах симбиозов.

## **Тема 9. Пути адаптации растений к абиотическому стрессу.**

Пути адаптации растений к недостатку кислорода. Анатомические особенности растений, устойчивых к аноксии и гипоксии. Роль гликолиза в адаптации растений к недостатку кислорода. Белки, образующиеся в растениях в ходе адаптации к недостатку кислорода. Роль активных форм кислорода и азота в гипоксии и аноксии.

## **Тема 10. Методы и подходы современной физиологии и биохимии растений.**

Методы и подходы к редактированию геномов растений.

### **4.6. Темы рефератов**

1. Метод ПЦР в режиме реального времени.
2. Эволюция гормональной системы наземных растений.
3. Клеточная стенка наземных растений: эволюционный аспект.
4. Липидные рафты в растительной клетке.
5. Шапероны и шаперонины растений: характеристика, локализация, функции.
6. Автофагия у растений: механизмы, регуляция, функции.
7. Продукция синглетного кислорода в растительной клетке
8. Технология RNAi в исследованиях функций растений
9. Эволюция фотосинтетической антенны наземных растений
10. Плазмодесмы растений: эволюция, функции
11. Метод электронного парамагнитного резонанса в исследованиях растений
12. Типы клеточной смерти у растений

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.**

Технология процесса обучения аспирантов включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- аудиторные занятия (лекции);
- самостоятельная работа аспирантов;
- контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию: зачет в 1 семестре; зачет с оценкой во 2 семестре, экзамен в 6 семестре.

В процессе изучения дисциплины, как лектором, так и обучающимися используется метод проблемного изложения материала, самостоятельное чтение аспирантами учебной, учебно-методической и справочной литературы, анализ информационных ресурсов в научных библиотеках и сети Internet по актуальным проблемам физиологии и биохимии растений и последующие свободные дискуссии по освоенному ими материалу

Аудиторные занятия проводятся с использованием информационно-телекоммуникационных технологий: учебный материал представлен также в виде мультимедийных презентаций. Презентации позволяют четко структурировать материал занятия.

Самостоятельная работа аспирантов. Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- поиск научной информации в открытых источниках с целью ее анализа и выявления ключевых особенностей исследуемых явлений;
- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы, постановка которых

отвечает целям освоения модуля;

- решение проблемных задач стимулируют познавательную деятельность и научно- исследовательскую активность аспирантов.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### **6.1. Текущий контроль**

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений.

### **6.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация включает зачет в 1-ом семестре, написание реферата и зачет с оценкой во 2-ом семестре, завершает изучение дисциплины «Ботаника» кандидатский экзамен, который проводится в 6-ом семестре.

Порядок проведения кандидатских экзаменов включает в кандидатский экзамен по научной специальности дополнительные разделы, обусловленные спецификой научной специальности. Билеты кандидатского экзамена по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации на соискание ученой степени кандидата наук должны охватывать разделы специальной дисциплины отрасли науки и научной специальности и дисциплины научной специальности по выбору аспиранта.

### **6.3. Фонд оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### **6.3.1. Критерии оценивания для зачета**

Оценка «зачтено». Систематическое посещение занятий в течение учебного года - аспирант посетил более 75% аудиторных занятий. В процессе обучения показал заинтересованность в предмете.

Оценка «не зачтено». Пропущено значительное количество занятий без уважительной причины - аспирант посетил менее 75% аудиторных занятий. В процессе обучения не проявил интереса к предмету.

#### **6.3.2. Критерии оценивания для зачета с оценкой.**

Оценка выставляется по итогам написания реферата.

Оценка «отлично» – наличие глубоких исчерпывающих знаний (в объеме утвержденной программы дисциплины в соответствии с поставленными программой курса целями и задачами обучения); грамотное и логически стройное изложение материала, усвоение основной и знакомство с дополнительной литературой.

Оценка «хорошо» – наличие твердых и достаточно полных знаний (в объеме утвержденной программы дисциплины в соответствии с целями обучения),

правильные действия по применению знаний, умений, владений на практике, четкое изложение материала, допускаются отдельные логические и стилистические погрешности, сдающий усвоил основную литературу, рекомендованную в программе дисциплины;

Оценка «удовлетворительно» – наличие недостаточно полных знаний (в объеме утвержденной программы), изложение материала с отдельными ошибками, правильные в целом действия по применению знаний на практике.

Оценка «неудовлетворительно» – тема реферата не раскрыта, наличие грубых ошибок, непонимание сущности излагаемого вопроса, неумение применять знания на практике.

### **6.3.3. Критерии оценивания для кандидатского экзамена.**

Содержание и структура кандидатского экзамена и критерии оценивания определены в Программе кандидатского экзамена по специальности.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1. Основная литература**

1. Хелдт Г.-В. Биохимия растений. Изд-во Бином: 2011 г. 472 с.
2. Медведев С.С. Физиология растений: учебник. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 512 с.
3. Нельсон, Д. Основы биохимии Ленинджера: в 3 т. Т. 1: Основы биохимии, строение и катализ: учебное пособие / Д. Нельсон, М. Кокс ; под ред. А. А. Богданова и С. Н. Кочеткова ; пер. с англ. канд. хим. наук Т. П. Мосоловой, канд. хим. наук Е. М. Молочкиной, канд. биол. наук В. В. Белова. — Электрон. дан. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2017. — 749 с.
4. Нельсон, Д. Основы биохимии Ленинджера: в 3 т. Т. 2: Биоэнергетика и метаболизм: учебное пособие / Д. Нельсон, М. Кокс ; под ред. А. А. Богданова и С. Н. Кочеткова ; пер. с англ. канд. хим. наук Т. П. Мосоловой, канд. хим. наук Е. М. Молочкиной, канд. биол. наук В. В. Белова, канд. хим. наук Н. Л. Арюткиной и канд. биол. наук О. М. Алексеевой. — Электрон. дан. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2017. — 691 с.
5. Нельсон, Д. Основы биохимии Ленинджера: в 3 т. Т. 3: Пути передачи информации: учебное пособие / Д. Нельсон, М. Кокс ; под ред. А. А. Богданова и С. Н. Кочеткова ; пер. с англ. канд. хим. наук Т. П. Мосоловой и канд. биол. наук О. В. Ефременковой. — Электрон. дан. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2017. — 451 с.
6. Пиневиц А. В., Аверина С. Г. Кислородная фототрофия. Руководство по эволюционной клеточной биологии // Издательство Санкт-Петербургского университета, 2002, 234 с.
7. Полевой В.В. Физиология растений. М.: Высшая школа, 1989 г., 464 с.
8. Buchanan W.B., Gruissem W., Jones P.L., ed, Biochemistry and Molecular Biology of Plants. 2nd Edition, Rockville, Maryland, American Society of Plant Physiologists, 2015, 1222 p.

9. Taiz L., Zeiger E. *Plant Physiology*, 5th Edition, Sunderland-Massachusetts, Sinauer Associates Inc, 2010, 778 p
10. Melnyk C.W., Molnar A., Baulcombe D.C. Intercellular and systemic movement of RNA silencing signals. *The EMBO Journal* (2011) 30, 3553– 3563.
11. Е. М. Чекунова. Генетика биосинтеза хлорофилла: темновой и светозависимый пути. *Экологическая генетика*. 2010. Т.8.№ 3. с.38-51.
12. Вахрушева О.А., Недоспасов С.А. Система врожденного иммунитета у растений. *Молекулярная биология*, 2011, том 45, № 1, с. 20–29
13. И.Н. Стадничук, И.В. Тропин. Эволюция окислительных фотосинтетиков и светособирающая антенна. *Труды палеонтологического института им. А.А. Борисяка РАН*, 2011 (ред. В.М. Горленко) Москва. Изд-во ПИН РАН 2011. С. 26-53.
14. Elena V. Voznesenskaya, Vincent R. Franceschi, Olavi Kiirats, Helmut Freitag and Gerald E. Edwards. Kranz anatomy is not essential for terrestrial C4 plant photosynthesis. *Nature*. 2001. Vol 414. № 29. P.543-546
15. Halliwell B., Gutteridge J.M.C. *Free radicals in biology and medicine*. Fifth Edition. Oxford University Press, 2015. 905 p.

## 7.2. Дополнительная литература

1. Гамалей Ю.В. Флоэма листа. Л., 1990. 144 с.
2. Лутова Л.А., Проворов Н.А., Тиходеев О.Н. и др. Генетика развития растений. СПб.: Наука, 2000 г., 539 с.
3. Гамалей Ю.В., Куликов Г.В. Развитие хлоренхимы листа. Л.: Наука ... 1989, 94, 2: 92-102.
4. А. Б. Рубин, Т. Е. Кренделева. Регуляция первичных процессов фотосинтеза. *Успехи биологической химии*, т. 43, 2003, с. 225-266.
5. Tanaka, A., Ito, H., Tanaka, R., Tanaka, N.K., Yoshida, K., and Okada, K. (1998). Chlorophyll a oxygenase (CAO ) is involved in chlorophyll b formation from chlorophyll a. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95, 12719–12723.
6. Ajit Nott, Hou-Sung Jung, Shai Koussevitzky, and Joanne Chory. Plastid-to-Nucleus Retrograde Signaling. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2006. 57:739–59
7. Gerald E. Edwards, and Elena V. Voznesenskaya. C 4 Photosynthesis: Kranz Forms and Single-Cell C 4 in Terrestrial Plants. IN: Agepati S. Raghavendra and Rowan F. Sage (eds.), *C4 Photosynthesis and Related CO2 Concentrating Mechanisms*, pp. 29–61. © Springer Science+Business Media B.V. 2011
8. Krishna K. Niyogi. Photoprotection Revisited: Genetic and Molecular Approaches. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1999. 50:333–59.
9. Nathan Nelson and Charles F. Yocum. Structure and Function of Photosystems I and II. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2006. 57:521–65.

Рекомендуются для дополнительного изучения обзорные и экспериментальные статьи в журналах «Физиология растений», «Биохимия», «Генетика», «Nature», «Plant Cell», «Plant Physiology» и др.

## 7.3. Электронные образовательные ресурсы



Наименование ресурса	Краткая характеристика
<a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a>	Федеральный образовательный портал
<a href="http://www.rsl.ru">http://www.rsl.ru</a>	Российская государственная библиотека
<a href="http://www.library.spbu.ru">http://www.library.spbu.ru</a>	Научная библиотека СПбГУ
<a href="http://elibrary.ru/">http://elibrary.ru/</a>	Научная электронная библиотека
<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>	ЭБС издательства Лань
<a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov">http://www.ncbi.nlm.nih.gov</a>	БД и ресурсы Национального центра биотехнологической информации США
<a href="http://www.ebi.ac.uk/embl/">http://www.ebi.ac.uk/embl/</a>	БД Европейского института биоинформатики Европейской лаборатории молекулярной биологии
<a href="http://www.viniti.ru/">http://www.viniti.ru/</a>	Реферативный журнал ВИНТИ «Биология»
<a href="http://www.arabidopsisbook.org/">http://www.arabidopsisbook.org/</a>	Продолжающаяся серия рецензируемых публикаций Американского общества биологов растений
<a href="http://www.scopus.com/">http://www.scopus.com/</a>	SciVerse Scopus
<a href="https://clarivate.com/products/web-of-science/">https://clarivate.com/products/web-of-science/</a>	Clarivate Analytics

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Для проведения обучения имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам:

- помещения для проведения занятий, оборудованные комплектом мебели;
- комплект проекционного мультимедийного оборудования;
- компьютеры с доступом к сети Интернет;
- библиотека с информационными ресурсами на бумажных и электронных носителях;
- офисная оргтехника.