

Структура рабочей программы по дисциплине «Физиология растений»

(проф. Чуб В.В.)

I. Физиология растений;

II. Шифр дисциплины (присваивается Управлением академической политики и организации учебного процесса);

III. Цели и задачи дисциплины:

A. Цели дисциплины. Сформировать у студентов фундаментальные знания об интеграции функций растительных организмов от молекулярно-клеточного до экологического и биосферного уровней, о научных подходах к увеличению продуктивности растений.

B. Задачи дисциплины. Подробно рассмотреть основные механизмы физиологической интеграции растительного организма. Показать принципы регуляции метаболических процессов в связи с фототрофией, координацию роста и развития, влияние на них внешних и внутренних факторов. Дать примеры использования фундаментальных достижений физиологии растений в современных технологиях растениеводства.

IV. Место дисциплины в структуре ООП;

A. Информация об образовательном стандарте и учебном плане:

- тип образовательного стандарта и вид учебного плана (**учебный план бакалавриата**)
- направление подготовки (**Биология**);
- наименование учебного плана (в соответствии с утвержденным Перечнем ООП);
- профиль подготовки (поток - **Физиология; кафедры (профили): Высшей нервной деятельности, физиологии человека и животных; поток – Генетика, клеточная биология, эмбриология; кафедры (профили) Клеточной биологии и гистологии, Генетики, Эмбриологии**);

B. Информация о месте дисциплины в образовательном стандарте и учебном плане:

- **базовая часть**
- блок дисциплин (**Общепрофессиональные дисциплины**);
- модуль (если предусмотрено учебным планом);
- тип (**обязательный**);
- **3 курс;**
- **5 семестр;**

B. Перечень дисциплин, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины;

Дисциплины: высшие растения, физика, общая и неорганическая химия, аналитическая химия, органическая химия, коллоидная химия, физическая химия, цитология, биофизики, биохимия, молекулярная биология, генетика, экология.

Г. Общая трудоемкость **144 ак. часа (4 зачетные единицы)**;

Д. Форма промежуточной аттестации (**зачёт по лабораторным работам**);

V. Формы проведения:

A. Для дисциплин:

- форма занятий с указанием суммарной трудоемкости по каждой форме:
 - лекции (**36 ак. ч**);
 - семинары (**18 ак. ч**);
 - лабораторная работа (**36 ак. ч**);
 - самостоятельная работа (**54 ак. ч**);
- формы текущего контроля (**коллоквиумы, контрольные, письменные работы, рефераты**);

VI. Распределение трудоемкости по разделам и темам, а также формам проведения занятий с указанием форм текущего контроля:

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины	Трудоемкость (в ак. часах) по формам занятий				Формы контроля
		<i>аудиторная работа (с разбивкой по формам и видам)</i>				
		Лекции	Семинары	Лабораторная работа	самостоятельная работа	
	Физиология растений	36	18	36	54	экзамен
1	Раздел I. Структурно-функциональная организация растительной клетки			4	2	Коллоквиум
2	Тема 1. Клетка как структурно-функциональная единица растительного организма	3	2		2	Реферат
3	Раздел II. Фотосинтез			4	2	Коллоквиум
4	Тема 1. Фотосинтетические пигменты	2	1		2	
5	Тема 2. Поглощение квантов, миграция энергии и работа фотосистем (световая фаза)	3	1		4	Контрольная
6	Тема 3. Циклы углерода при фотосинтезе (темновая фаза)	3	2		4	Контрольная
7	Раздел III. Дыхание растений			8	2	Коллоквиум
8	Тема 1. Окисление органических веществ как основа дыхания	3	1		4	
9	Тема 2. Преобразование энергии редокс-реакций на мембранах митохондрий	2	1		2	Коллоквиум, контрольная
10	Раздел IV. Физиология водного обмена			4	2	Коллоквиум
11	Тема 1. Водный обмен растений	3	1		4	Коллоквиум, реферат
12	Раздел V. Физиология минерального питания			8	2	Коллоквиум
13	Тема 1. Физиологическая и биохимическая роль основных элементов питания. Азот, сера, фосфор	4	2		4	
14	Тема 2. Физиологическая и биохимическая роль элементов, поступающих в форме катионов	2	1		2	Контрольная
15	Раздел VI. Рост и развитие растений			8	2	Коллоквиум
16	Тема 1. Гормональная система растений	3	2		4	Реферат
17	Тема 2. Свет как регулятор физиологических процессов в растениях	3	2		4	
18	Раздел VII. Устойчивость и вторичный метаболизм растений					
19	Тема 1. Стрессовые воздействия и адаптация к ним у растений	2	1		2	Контрольная
20	Тема 2. Вторичный метаболизм как инструмент взаимодействия растения со средой	3	1		4	Контрольная

VII. Содержание дисциплины по разделам и темам - аудиторная и самостоятельная работа:

Раздел I. Структурно-функциональная организация растительной клетки

Тема 1. Клетка как структурно-функциональная единица растительного организма

Содержание темы

Пластиды. Симбиогенетическая теория происхождения хлоропластов. Особенности химического состава внутренних мембран пластид. Структура и функции хлоропластного генома. Взаимодействие хлоропластного и ядерного геномов, примеры двойного кодирования. Взаимные превращения пластид. Физиологическая роль разных типов пластид.

Митохондрии. Геном митохондрий. Генетическая ёмкость: гены домашнего хозяйства и гены, отвечающие за специфические функции митохондрий. Феномен цитоплазматической мужской стерильности как взаимодействие между ядерным и митохондриальным геномами. Спорофитный и гаметофитный контроль ЦМС.

Клеточная стенка. Основные структурные полимеры. Ковалентные, водородные и ионные связи между полимерными сетями. Биосинтез целлюлозы, сшивочных гликанов, пектиновых веществ. Структурные белки и ферменты, входящие в состав клеточной стенки. Изменение состава клеточной стенки по мере роста и дифференцировки.

Мембраны растительной клетки как основа компартментации метаболизма. Основные принципы генерации, потенциала на плазмалемме и тонопласте. H^+ -АТФазы р- и V-типа, H^+ -пирофосфатаза. Ca^{2+} -АТФаза. АВС-транспортёры. Понятие о первично- и вторично-активном переносе ионов. Электрогенный и неэлектрогенный транспорт. Регуляция мембранного потенциала. Переносчики (симпортеры, антипортеры), аквапорины, каналы, пориновые комплексы и их распределение по мембранам растительной клетки. Отличия мембранных транспортных систем растений и животных.

Транспорт макромолекул. N-концевые лидерные пептиды (пресиквенсы) и C-концевые аминокислотные последовательности, участвующие в сортировке белков в клетке. Мембранные белковые комплексы, участвующие в транспорте. Строение и функции плазмодесм. Межклеточный обмен макромолекулами и метаболитами через плазмодесмы.

Передача сигналов. Мембранные и внутриклеточные рецепторы. Роль убиквитинирования и протеолиза в передаче сигнала. Факторы транскрипции, представлении о многообразии. Регуляторные элементы (боксы) в промоторах генов. Механизмы специфического изменения экспрессии генома в ответ на сигнальные молекулы.

Задания для самостоятельной работы

Эволюция геномов растительной клетки.

Контроль макропризнаков при взаимодействии ядерного и митохондриального (на примере ЦМС).

Двойной генетический контроль за синтезом белков в хлоропластах и митохондриях.

Targeting: целевая доставка белков к различным клеточным органеллам.

Роль везикулярного транспорта в создании поляризации растительной клетки.

Раздел II. Фотосинтез

Тема 1. Фотосинтетические пигменты

Хлорофиллы. Общие принципы организации молекулы. Основные этапы биосинтеза. Спектр поглощения хлорофиллов. Понятие о нативных формах. Энергетические переходы в молекуле хлорофилла (схема Яблонского). Белковые комплексы, содержащие хлорофилл. Миграция энергии. Окислительно-восстановительные реакции с участием хлорофилла. Продукция активных форм кислорода. Применение тетрапирролов для лечения опухолевых заболеваний.

Фикобилины – разомкнутые тетрапирролы.

Каротиноиды. Общее представление о биосинтезе. Протекторная роль каротиноидов в фотосистемах.

Виолаксантиновый цикл и его роль в регуляции распределения энергии. Защитная функция каротиноидов.

Каротиноиды как предшественники АБК. Экологическая роль каротиноидов. *Продукция активных форм кислорода* (АФК) с участием возбужденного хлорофилла. Разнообразие активных форм кислорода. Экологические факторы, способствующие образованию АФК. Защитные механизмы. Роль виолаксантинового (ксантофиллового) цикла в регуляции распределения энергии квантов света.

Задания для самостоятельной работы

Схема Яблонского, описывающая физические состояния молекулы хлорофилла.

Участие фотосинтетических пигментов в генерации АФК и защите от окислительного стресса.

Биогенез пластид и изменение биосинтеза пигментов при дифференцировке клеток.

Функциональное и экологическое значение спектрально-различных форм пигментов у фотосинтезирующих организмов.

Тема 2. Поглощение квантов, миграция энергии и работа фотосистем (световая фаза)

Антенные комплексы. Подвижные и неподвижные комплексы. Фикобилисомы. Фикобилины как дополнительные ферменты фотосинтеза у водорослей и цианобактерий. Нативные формы хлорофиллов в антенных комплексах. Понятие о фотосинтетической единице. Факторы, влияющие на ассоциацию светособирающего комплекса с ФС II и ФС I.

Фотосистема I. Строение и функционирование ФС I. Ассоциация и диссоциация с подвижным светособирающим комплексом. Кооперация работы ФС I и ФС II. Локализация ФС I в мембране тилакоидов.

Фотосистема II. Строение и функционирование фотосистемы II. Водоокисляющий комплекс и реакции образования кислорода. Работа реакционного центра. Участие ФС II в нециклическом потоке e^- . Работа ФС II в циклическом режиме. Локализация ФС II и взаимодействие со светособирающим комплексом.

Цитохром-b/f-комплекс. Белок Риске. Цитохромы *f* и *b*, их участие в переносе электронов. Q-цикл.

Нециклический, циклический и псевдоциклический транспорт электрона. Последовательность переносчиков. Цикл вокруг фотосистемы II. Реакция хлордыхания как регуляция редокс-статуса пула пластохинонов. Подвижные переносчики в составе комплексов. Одно- и двухэлектронные переносчики.

Синтез АТФ. CF_0/CF_1 -АТФ-синтазный комплекс. Субъединичный состав. Ротационный механизм преобразования энергии протонного градиента ($\Delta\mu H^+$) в энергию химических связей АТФ. Особенности регуляции АТФ-синтазы в хлоропластах.

Взаимосвязь между фотосинтетической функцией и ультраструктурой хлоропластов. Локализация белковых комплексов на мембранах тилакоидов (ССК, ФСII, ФСI, цитохром-b/f-комплекс, АТФ-синтаза). Переключение с нециклического на циклический поток электронов по ЭТЦ фотосинтеза и связанное с ним изменение локализации комплексов

Задания для самостоятельной работы

Регуляция редокс-статуса компонентов ЭТЦ, пулов НАДФ и ферредоксина.
Окислительно-восстановительные превращения хлорофилла реакционного центра (реакция Красновского).
Связь световой фазы фотосинтеза с циклом Кальвина, метаболизмом азота и серы.

Тема 3. Циклы углерода при фотосинтезе (темновая фаза)

С-3 фотосинтез. Фиксация CO₂ в растительной клетке. Роль карбоангидразы в фиксации CO₂.

Восстановительный пентозофосфатный путь (цикл Кальвина). Основные этапы и биохимические реакции, входящий в цикл. Характеристика RubisCO как ключевого фермента. Регуляция активности ферментов цикла Кальвина. Связь цикла со световыми реакциями фотосинтеза. Экспорт метаболитов цикла Кальвина из хлоропласта в цитозоль. Челночные механизмы переноса восстановительных эквивалентов и АТФ.

Взаимозависимость световой и темновой фазы фотосинтеза. Регуляция цикла Кальвина. Участие тиоредоксиновой системы, концентрации Mg²⁺, pH. Специфика активации и инактивации RubisCO: активации, карбамоилирование лизина. Участие ядерного и хлоропластного генома в биосинтезе RubisCO.

Фотодыхание. Ключевая реакция, запускающая процесс фотодыхания. Экологические условия, повышающие интенсивность фотодыхания. Биохимия превращений веществ при фотодыхании. Интеграция метаболизма хлоропластов, митохондрий и пероксисом. Связь фотодыхания с другими процессами: метаболизмом серы и азота. Понятие об углекислотном компенсационном пункте фотосинтеза.

С-4 фотосинтез. Анатомические особенности С-4 растений. Экологическая роль С-4 фотосинтеза. Сравнительная характеристика и локализация основных карбоксилаз: RubisCO и ФЕП-карбоксилазы. Химизм первичных процессов ассимиляции углекислоты. Механизм концентрирования CO₂ у С-4 растений. Обмен метаболитами между клетками мезофилла и обкладки на примере НАДФ-зависимого МДГ-пути С-4 фотосинтеза. Многообразие путей декарбоксилирования при С-4 фотосинтезе. Три варианта цикла. Адаптивное экологическое значение С-4 фотосинтеза. Разнообразие типов декарбоксилирования при С-4 фотосинтезе: НАДФ-зависимый и НАДФ-зависимый МДГ и ФЕП-карбоксикиназный варианты С-4. Связь типа декарбоксилирования с ультраструктурой хлоропластов, анатомическими и цитологическими особенностями листьев. Сравнение углекислотного компенсационного пункта у С-3 и С-4 растений.

САМ-метаболизм. Основные особенности САМ-растений. Адаптивное экологическое значение САМ-метаболизма. Суточная динамика фотосинтетических процессов и их компартиментация. Три варианта декарбоксилирования при САМ-метаболизме. Облигатные и факультативные САМ-растения.

Пластичность фотосинтеза. Переход от С-3 к САМ-метаболизму. Сезонные изменения анатомического строения листьев и типа фотосинтеза. Фиксация углекислоты молодыми листьями. Гетеротрофная фиксация CO₂. Изменения С-4 цикла, вызванные избыточным или недостаточным поступлением азота.

Задания для самостоятельной работы.

Фотодыхание: физиологическое значение.

Экологические аспекты перехода к САМ-метаболизму.

Разнообразие анатомического строения листьев у С-4 растений.

Раздел III. Дыхание растений.

Тема 1. Окисление органических веществ как основа дыхания

Углеводы. Запасные и транспортные формы углеводов в растениях. Крахмал, сахароза, раффинозы, полифруктаны и их внутриклеточная локализация. Мобилизация этих веществ для гликолиза. Амилазы и фосфоорилазы крахмала. Инвертазы и сахарозосинтазы.

Гликолиз. Общий химизм реакций. Отличия гликолиза у растений и у животных. Дополнительные ферменты. Регуляция гликолиза в цитозоле и в пластидах. Роль фруктозо-2,6-бисфосфата как сигнальной молекулы, регулирующей отношение между гексозами и триозами. Молочнокислое и спиртовое брожение. Связь гликолиза с другими процессами: С-4, САМ, окислительным пентозофосфатным циклом, циклом Кребса, циклом Кальвина. Обращение реакций гликолиза (глюконеогенез) у растений.

Окислительный пентозофосфатный цикл (ОПФЦ). Сравнение окислительного и восстановительного пентозофосфатного пути. Общие черты и особенности. Связь ОПФЦ с метаболическими процессами: синтезом фенольных соединений, полимеров клеточной стенки, нуклеиновых кислот. Роль ОПФЦ как источника восстановительных эквивалентов.

Цикл Кребса (трикарбоновых кислот). Последовательность реакций. Пируватдегидрогеназный комплекс. Связь цикла Кребса с САМ, метаболизмом азота, гликолизом. Взаимодействие цикла Кребса и ЭТЦ митохондрий.

Мобилизация запасных нейтральных липидов при прорастании семян. Биохимическое взаимодействие олеосом, глиоксисом и митохондрий. Гидролиз триглицеридов, β-окисление жирных кислот, глиоксилатный цикл и глюконеогенез. Связь с процессами электронного транспорта на мембранах митохондрий и с циклом трикарбоновых кислот (цикл Кребса).

Задания для самостоятельной работы

Компартиментация и особенности регуляции гликолиза в растительной клетке в связи с автотрофностью.

Взаимосвязь окислительных процессов с метаболизмом азота и С-4 фотосинтезом.

Глюконеогенез: обращение реакций гликолиза в пластидах и цитозоле.

Тема 2. Преобразование энергии редокс-реакций на мембранах митохондрий

Электрон-транспортная цепь митохондрий. Особенности растительных митохондрий: альтернативные дегидрогеназы, альтернативная оксидаза. Комплексы I, II, III и IV. Сравнение Q-цикла фотосинтеза и дыхания. Стехиометрия переноса протонов через мембрану. Особенности FeS-центра Риске. Локализация компонентов Q-цикла в мембране. Синтез АТФ на мембране митохондрий. Эффективность переноса протонов через мембрану в зависимости от альтернативных путей передачи электрона. Альтернативная оксидаза митохондрий. Экологическая роль для привлечения опылителей у ароидных. Механизмы регуляции активности, защитная функция альтернативной оксидазы.

Преобразование энергии протонного градиента (ΔμH⁺) в энергию химических связей (АТФ) на внутренней мембране митохондрий. Строение АТФ-синтазного комплекса и механизм его работы.

Задания для самостоятельной работы

Альтернативные дегидрогеназы: несколько вариантов окисления НАД(Ф)Н.

Ротационный механизм работы АТФ синтазного комплекса.

Цианидрезистентное дыхание как регулятор редокс-статуса клетки.

Термогенез у растений: цветение ароидных, прорастание семян, созревание плодов.

Растительная клетка и активные формы кислорода: образование активных форм кислорода, антиоксидантные системы, супероксидрадикал и перекись водорода – сигнальные молекулы.

Дыхание и стресс-устойчивость: активация пластического обмена, защита от активных форм кислорода.

Раздел IV. Физиология водного обмена

Тема 1. Водный обмен растений

Термодинамические показатели воды: активность, химический потенциал, водный потенциал.

Составляющие водного потенциала: осмотический, матричный, гидравлический и гравитационный. Понятия о тургоре, плазмолиз. Поток воды через мембрану: гидравлическое сопротивление, коэффициент отражения, способы регуляции потоков воды через клетку. Аквапорины семейств TIR и PIP.

Верхний и нижний концевой двигатель водного потока. Поглощение воды корнем, создание корневого давления. Капиллярные эффекты. Силы адгезии и когезии. Транспирация и способы её регуляции. Устьичные движения. Регуляторные функции углекислоты, АБК, цитокининов в реакции открывания/закрывания устьиц. Работа каналов и перемещение ионов при открывании и закрывании устьиц. Гуттация. Строение и функции гидатод.

Загрузка терминальной флоэмы листа фотоассимилятами. Симпластический и апопластический путь. Значение клеток-спутниц в загрузке ситовидных элементов. Состав флоэмного сока в зависимости от типа загрузки. Информационные макромолекулы, перемещающиеся по флоэме на примере флоригена (FT-фактора).

Задания для самостоятельной работы

Формирование надклеточных полупроницаемых барьеров в процессе дифференцировки.

Механизмы создания корневого давления.

Роль циркуляции воды в растении.

Раздел V. Физиология минерального питания

Тема 1. Физиологическая и биохимическая роль основных элементов питания. Азот, сера, фосфор.

Классификации минеральных элементов, необходимых для растений. Механизмы поглощения элементов минерального питания.

Накопление отдельных элементов растениями. Необходимые элементы минерального питания: макроэлементы, железо, микроэлементы. Полезные элементы.

Азот. Понятие о доступных формах азота. Поглощение нитрата: метаболический, транспортный и запасной пул. Нитрат-редуктаза: строение, принципы работы, регуляция активности. Нитрит-редуктаза. Локализация, источник восстановительных эквивалентов. Распределение активности нитрат- и нитрит-редуктазы по органам растений. Изоформы ферментов. Понятие о пулах нитрата в растительной клетке. Особенности восстановления нитрата у разных растений. Нитрат как регуляторная молекула. Связь процесса ассимиляции нитрата со световой фазой фотосинтеза, циклом трикарбоновых кислот (цикл Кребса), C-4 метаболизмом. Вовлечение иона аммония в метаболизм. Глутаминсинтетаза (ГС), глутамин:оксоглутаратаминотрансфераза (ГОГАТ), глутаматдегидрогеназа (ГДГ). Особенности метаболических путей аммония в хлоропласте, цитоплазме, митохондриях. Превращение кетокислот в аминокислоты. Связь метаболизма азота с основными метаболическими путями: гликолизом, циклом Кребса, циклом Карпилова-Хэтча-Слэка, фотодыханием.

Симбиотическая фиксация азота. Виды бактерий, способных вступать в симбиоз. Факторы нодуляции (на примере бобовых). Этапы колонизации корней бобовых симбиотическими бактериями. Нитрогеназа – основной фермент, фиксирующий атмосферный азот. Принцип строения, особенности работы. Роль лег-гемоглобина в функционировании клубенька.

Фосфор. Органические соединения, содержащие фосфор. Роль фосфора в энергетике клетки и редокс-реакциях. Сигнальная роль фосфатсодержащих вторичных мессенджеров. Каскады фосфорилирования. Протеинкиназы и протеинфосфатазы. Роль 14-3-3 белков в регуляции активности ферментов. Пирофосфат как источник энергии. Роль фосфора в транспортных и метаболических процессах, челночных механизмах транспорта. Поддержание pH в клетке. Важная роль фосфора в устойчивом развитии сельского хозяйства.

Сера. Многообразие органических соединений, содержащих серу. Значение соединений серы для растений. Поглощение сульфата и его вовлечение в метаболизм. Компартиментация основных процессов метаболизма серы. Сульфатирование и восстановление до сульфида. Синтез цистеина, глутатиона, фитохелатинов. Роль серы в поддержании редокс-статуса клетки и в защите от окислительного стресса. Регуляции активности ферментов за счёт окисления/восстановления остатков цистеина. Примеры ферментов, регулируемых тиоредоксиновой системой. Коферменты, содержащие серу. Регуляторная роль соединений серы. Тиоредоксиновая система.

Задания для самостоятельной работы

История изучения минерального питания, роль производства минеральных удобрений на современном этапе.

Промышленная фиксация азота и её роль в биосфере.

Вторичные метаболиты, содержащие азот и серу, и их экологическая роль. Использование в кулинарии и медицинской практике.

Использование ингибиторов синтеза аминокислот как гербицидов.

Тема 2. Физиологическая и биохимическая роль элементов, поступающих в форме катионов.

Корень как орган поглощения минеральных элементов и воды, а также место специфических синтезов.

Система взаимодействия "корень-почва". Рост корня как основа поступления минеральных элементов.

Роль клеточной стенки: понятия водного свободного пространства и Доннановского свободного пространства. Транспорт ионов через плазматическую мембрану: пассивный и активный (первичный и вторичный) транспорт. Уравнение Нернста. Движущие силы транспорта ионов и формы потребляемой энергии.

Калий. Поступление K^+ в растительную клетку. Физико-химические закономерности поступления ионов. Понятие о кажущемся свободном пространстве апопласта. Доннановский и диффузионный потенциал.

Многообразие каналов и переносчиков, переносящих калий. Диетические источники калия.

Железо. Особенности поглощения железа из почвы: две стратегии поглощения. Роль соединений железа как редокс-кофакторов электрон-транспортных цепей. Ферменты, содержащие железо. Участие железа в восстановлении соединений азота и серы. Лег-гемоглобин – уникальное соединение, участвующее в переносе молекулярного кислорода. Усвоение железа из растительной пищи.

Микроэлементы. Участие в простетических группах белков, редокс-свойства. Примеры белковых комплексов и ферментов, содержащих Mn и Cu. Ферменты, содержащие Mo-кофактор. Участие Zn в регуляции синтеза белка и в транскрипционных факторах. Защита от супероксид-анион-радикала: Cu/Zn-SOD и Mn-SOD. Участие бора в построении клеточной стенки.

Задания для самостоятельной работы

Содержание и соотношение минеральных элементов в почве и в растениях и факторы, их определяющие.

Понятие макро- и микроэлементов.

Кальций. Уникальность систем транспорта Ca^{2+} в растительных клетках. Системы пассивного, первично- и вторично-активного транспорта Ca^{2+} . Динамика изменения концентрации Ca^{2+} в цитозоле: всплески (spikes), осцилляции и волны. Примеры процессов, сопровождающихся изменением концентрации кальция. Понятие о «кальциевом росчерке» (signature) при передаче сигнала. Ca^{2+} как вторичный мессенджер. Многообразие систем трансмембранного активного и пассивного транспорта Ca^{2+} . Временные и пространственные особенности Ca^{2+} -сигнала. Кальмодулины и другие белки, содержащие EF-«руки» (EF-hand), Ca^{2+} -зависимые протеинкиназы, их роль в передаче сигналов. Основные депо кальция. Связь Ca^{2+} с различными системами вторичных мессенджеров. Клеточная стенка и цитоскелет как участники передачи Ca^{2+} -сигнала.

Микроэлементы. Представления о роли микроэлементов в метаболизме растений.

Металлы как компоненты простетических групп и как активаторы ферментных систем. Особенности поступления микроэлементов в растения.

Физиологическая роль железа, меди, марганца, молибдена, цинка, бора и других микроэлементов.

Задания для самостоятельной работы

Устьичные движения: транспорт ионов и регуляция.

Роль катионов и анионов в создании корневого давления.

Участие микроэлементов в формировании и функционировании электрон транспортных цепей фотосинтеза и дыхания.

Раздел VI. Рост и развитие растений

Тема 1. Гормональная система растений.

Общее представление и фитогормонах и сравнение с гормонами животных.

Ауксин. История открытия. Биосинтез, депонирование и необратимое окисление. Транспорт ауксина через клетку. Основные физиологические эффекты. Роль ауксина в регуляции. Гербицидные свойства аналогов ауксина. Явление фототропизма. Ауксин как молекула-медиатор ответа. Геотропизм. Методы исследования. Первичная реакция растения на ускорение масс. Распределение гравиточувствительных зон по растению. Участие внутриклеточных структур в развитии геотропического изгиба. Роль ауксинов в явлении геотропизма.

Цитокинины. История открытия. Биосинтез. Активные и неактивные формы цитокининов. Основные физиологические эффекты. Взаимодействие ауксинов и цитокининов в различных физиологических реакциях. Фитопатогенные организмы как продуценты растительных гормонов. *Agrobacterium* – специализированные паразиты растений. Молекулярный механизм взаимодействия растений и агробактерий. Трансформация. Трансгенные растения. Основные проекты, связанные с трансгенными растениями. Микроклональное размножение и культивирование растительных тканей *in vitro* в современном сельском хозяйстве и биотехнологии растений.

Гиббереллины. История открытия. Биосинтез. Многообразие гиббереллинов, активные и неактивные формы. Регуляция уровня гиббереллинов в растении. Основные физиологические эффекты гиббереллинов. Мобилизация запаса питательных веществ в зерновках злаков. Роль гиббереллинов в регуляции цветения. Практическое применение гиббереллинов в пивоварении и в сельском хозяйстве.

Брассиностероиды как синергисты гиббереллинов и ауксинов.

Абсцизовая кислота (АБК). Особенности биосинтеза. Использование мутантов для исследования путей биосинтеза АБК. Основные физиологические эффекты. Регуляция работы устьиц абсцизовой кислотой. АБК как регулятор состояния покоя. Адаптации к стрессу, опосредованные АБК.

Этилен. Особенности биосинтеза и рецепции. Тройной ответ проростков на этилен. Роль этилена в созревании плодов и в листопаде. Физиологические ответы растения, связанные с поранением и нападением патогенов и травоядных. Этилен как регулятор цветения. Практическое использование эффектов этилена при хранении и транспортировке плодов и срезанных растений.

Прочие гормональные вещества. Жасмонаты, салицилат, оксипирины, олигосахариды и короткие пептиды, их роль в ответе растений при патогенезе. PR – белки. Понятие об элиситоре, концепция «ген – на – ген» в вертикальной устойчивости. Горизонтальная устойчивость. Роль активных форм кислорода, фитоалексинов и программированной гибели клеток в иммунитете растения. Коммерческие препараты элиситоров, стимулирующие иммунитет у растений.

Передача сигнала от рецепторов к мишеням. Основные типы рецепторов. Примеры систем вторичных мессенджеров. Двухкомпонентные киназы и каскады фосфорилирования, MAP-киназы. Гетеротримерные G-белки. Мембранные липиды как источник вторичных мессенджеров. Факторы транскрипции, регуляторные элементы в промоторах генов. Цитоплазматические и внутриядерные рецепторы. Роль убиквитинирования и разборки факторов негативной регуляции ответа (на примере взаимодействия AUX/IAA – ARF).

Задания для самостоятельной работы

История изучения гормональной системы растений.

Действие гормонов на экспрессию генов.

Летучие гормональные вещества и их экологическое значение для коммуникации между растениями.

Тема 2. Свет как регулятор физиологических процессов в растениях

Фоторецепторы растений. Фототропины, криптохромы и фитохромы. Рецептор ультрафиолетового света. Хромофорные группировки и основные принципы передачи сигнала. Фитохромы А и В, различие в спектрах поглощения и физиологических реакциях. Реакции на сверхнизкую, низкую и высокую освещённость. К – ДК переходы при поглощении света фитохромами. Физиологические процессы, регулируемые фоторецепторными системами.

Фотопериодизм. Значение фотопериодических физиологических реакций в адаптации растений к климатическим условиям. Деление растений на группы в зависимости от реакции на фотопериод. Восприятие фотопериодического сигнала. Опыты Чайлахяна. Понятие о биологических часах. Циркадные процессы в растениях. Понятие о внутренних биологических часах. «Подстройка» внутренних часов по внешним ритмам. Молекулярные механизмы восприятия фотопериода, и физиологические реакции, находящиеся под их контролем. Эффект прерывания ночи. Гормональная теория цветения. Современное понятие о флоригене (факторе FT и его гомологах). Молекулярные основы перехода к цветению. Термопериодизм. Явления яровизации (вернализации). Восприятие температурного сигнала. Опыты Чайлахяна. Факторы ремоделинга хроматина VRN как регуляторы вернализации. Стресс-периодизм. Координация различных факторов среды при регуляции цветения.

Фотоморфогенез. Деэтиоляция. Использование мутантов для изучения молекулярных основ деэтиоляции. Синдром избегания тени. Светозависимое прорастание семян. Фототропизм. Рецепторы, играющие главную роль в реакциях фотоморфогенеза.

Задания для самостоятельной работы

История изучения фоторецепции и фотопериодизма у растений. Роль работ М.Х. Чайлахяна.
Модель работы внутренних биологических часов в растениях.
Сравнение фотопериодической реакции растений и животных.

Раздел VII. Устойчивость и вторичный метаболизм растений

Тема 1. Стрессовые воздействия и адаптация к ним у растений.

Абиотический стресс. Устойчивость растений к солевому стрессу. Общие механизмы солеустойчивости и устойчивости к засухе. Гликофиты и галофиты. Специфика адаптации к засолению. Механизмы поступления NaCl в клетку. Токсичное действие солей. Адаптация растений к солевому стрессу. Механизмы, связанные с понижением водного потенциала в вакуолях и цитоплазме. Изменение матричного потенциала биополимеров. Защита от токсического действия высокой ионной силы (на примере Na⁺-засоления).

Биотический стресс. Механизмы защиты растений от патогенных микроорганизмов и грибов. Конститутивная, полуиндуцибельная и индуцибельная защита. Понятие об элиситоре. Роль ферментов, фитогормонов, вторичных метаболитов и активных форм кислорода в реакциях иммунитета.

Задания для самостоятельной работы

Антропогенное воздействие как стресс для растений в условиях города.

Инфекционные заболевания у растений. Роль выведения устойчивых сортов.

Генетика признаков устойчивости и авирулентности. Концепция «ген на ген»

Тема 2. Вторичный метаболизм как инструмент взаимодействия растения со средой

Вторичный метаболизм. Признаки вторичных метаболитов. Функции, выполняемые вторичными метаболитами. Конститутивные, полуконститутивные, индуцибельные вторичные метаболиты. Группы вторичных метаболитов: изопреноиды, алкалоиды, фенольные соединения, цианогенные гликозиды, глюкозинолаты. Общие принципы биосинтеза.

Алкалоиды – группа азотсодержащих вторичных метаболитов. Биохимическая классификация: протоалкалоиды, истинные алкалоиды и псевдоалкалоиды. Примеры растений, содержащих алкалоиды. Экологическая роль алкалоидов. Значение алкалоидов в создании лекарственных препаратов для человека.

Биосинтез терпеноидов. Примеры монотерпенов. Эфирные масла как необходимый компонент парфюмерных композиций и ароматизаторов. Вторичные метаболиты и фитогормоны терпеноидной природы. Современные инсектицидные препараты системного действия для растениеводства, ветеринарии и медицины. Каротиноиды как пример изопреноидных соединений. Другие терпеноидные соединения, входящие в состав липидов и мембранных комплексов тилакоидов.

Фенольные соединения и их разнообразие. Начальные этапы биосинтеза. Антоцианы как пример окрашенных фенольных соединений. Лигнин – самая крупная полимерная молекула. Использование производных салициловой кислоты (аспирин и др.) в медицинской практике.

Задания для самостоятельной работы

Использование напитков, содержащих кофеин: историческое, медицинское и экономическое значение.

Пути создания лекарственных препаратов и препаратов для сельского хозяйства путем модификации вторичных метаболитов растений.

Окрашенные вторичные метаболиты: экологическая роль и практическое применение.

VIII. Перечень компетенций, формируемых в результате освоения дисциплины -

1. ОНК - общенаучные компетенции; Выпускник должен обладать фундаментальными знаниями по цитологии, анатомии, морфологии, систематике и биоразнообразию, биохимии, молекулярной биологии, классической и молекулярной генетике растительного организма. Выпускник должен знать и понимать физиологию растения. Он должен свободно оперировать знаниями об основных метаболических системах растения: фотосинтетической, дыхательной, гормональной, репродуктивной и др., и механизмах их регуляции и взаимодействия в системе целого растения.
2. ИК - инструментальные компетенции; Выпускник должен владеть современными вегетационными методами и методами растительной биотехнологии; физико-химическими, биохимическими и молекулярно-биологическими методами, техникой световой и электронной микроскопии, иммунохимическими методами исследования растений. Должен уметь разработать методологию для изучения растительного организма *in planta*.
3. СК - системные компетенции; Выпускник должен обладать системными знаниями по вирусологии, микробиологии, микологии, зоологии беспозвоночных как основы для понимания фитопатологии растений. Выпускник должен владеть знаниями по биогеографии, экологии растений; понимать молекулярно-биологические и физиологические механизмы устойчивости растений к неблагоприятным факторам абиотической и биотической природы. Он должен знать эволюционные механизмы приспособления к изменению климатических условий.
4. ПК - профессиональные компетенции; Выпускник должен уметь планировать эксперимент, грамотно выбрать методы и средства решения поставленной задачи. Он обязан владеть математическими методами анализа полученных результатов, уметь доложить данные в научном сообществе и подготовить их для публикации в научных журналах. Специалист должен уметь применить свои знания в смежных с научной деятельностью областях.
5. СПК - специализированные компетенции (указываются компоненты компетенций, в формировании которых участвует данная дисциплина, - в соответствии с образовательным стандартом); Выпускник должен знать принципы геномики, протеомики, метаболомики и иономики растений. Специалист должен уметь исследовать регуляцию функций растения на уровне управления онтогенетическими программами. Выпускник должен хорошо знать уникальные физиолого-биохимические свойства растений, в частности способность синтезировать широкий спектр вторичных метаболитов, которые находят применение в фармакологии на основе биотехнологий.

IX. Используемые образовательные, научно-исследовательские и научно-производственные технологии:

А. Образовательные технологии;

Чтение лекций, проведение семинаров, практических занятий, дистанционное образование через систему

Moodle – <http://moodle.bio.msu.ru/> и интернет

Б. Научно-исследовательские технологии;

Проводятся знакомство с промышленными и полупромышленными установками в области биотехнологии и занятия на стационарах Академии сельскохозяйственных наук

В. Научно-производственные технологии;

Проводятся знакомство с промышленными и полупромышленными установками в области биотехнологии и занятия на стационарах Академии сельскохозяйственных наук

Х. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов, оценочные средства контроля успеваемости и промежуточной аттестации:

А. Учебно-методические рекомендации для обеспечения самостоятельной работы студентов;

Наличие учебно-методической литературы. Наличие доступа к специализированным Интернет-ресурсам. Эффективное компьютерно-програмное обеспечение.

Б. Примерный список заданий для проведения текущей и промежуточной аттестации (темы для докладов, рефератов, презентаций и др. - по видам заданий);

Роль симбиогенеза в формировании растительной клетки.

Функциональное взаимодействие геномов пластид и ядра.

История открытия восстановительного пентозофосфатного пути.

Особенности регуляции и компартментации гликолиза у растений

Окислительный и восстановительный пентозофосфатные циклы: сходства и различия.

Взаимодействие органелл при конверсии жиров в углеводы и при конверсии углеводов в жиры.

Альтернативная оксидаза митохондрий: варианты сброса электронов при перевосстановлении в метаболических путях.

Разнообразие регуляции распределения энергии в мембранных комплексах хлоропластов. Защитная функция каротиноидов.

Фотодыхание и старение пластид: интеграция метаболизма хлоропластов, митохондрий и пероксисом

Пластичность C-4 метаболизма. Цикла Карпилова-Хэтча-Слэка как экологическая адаптация.

Фотосинтез: биохимическое, анатомическое и морфологическое разнообразие САМ-растений.

Загрузка флоэмы: роль апопласта, симпласта, биохимической специализации клеток при концентрировании фотоассимилятов.

Поддержание редокс-статуса клетки: роль глутатиона и его производных, тиоредоксинов, аскорбата. Защита от АФК.

Роль Ca^{2+} в трансдукции сигнала у растений.

Распределение калиевых каналов по клеткам и тканям растений.

Роль ускорения потоков воды в эволюции растений.

Гуттация и ее значение.

ABCDE-модель генетического контроля развития цветка.

Современные представления об индукции цветения у растений.

Ауксины как индукторы морфогенеза у растений.

В. Примерный список вопросов для проведения текущей и промежуточной аттестации;

1. Хлорофиллы. Общие принципы организации молекулы. Основные этапы биосинтеза. Спектр поглощения хлорофиллов. Понятие о нативных формах. Энергетические переходы в молекуле хлорофилла. Белковые комплексы, содержащий хлорофилл. Миграция энергии. Окислительно-восстановительные реакции с участием хлорофилла. Продукция активных форм кислорода.
2. Каротиноиды. Общее представление о биосинтезе. Протекторная роль каротиноидов в фотосистемах. Виолаксантиновый цикл и его роль в регуляции распределения энергии. Защитная функция каротиноидов. Каротиноиды как предшественники АБК. Экологическая роль каротиноидов.
3. Продукция активных форм кислорода с участием возбужденного хлорофилла. Экологические факторы, способствующие образованию синглетного кислорода. Защитные механизмы. Роль виолаксантинового (ксантофиллового) цикла в регуляции распределения энергии квантов света.
4. Антенные комплексы. Подвижные и неподвижные комплексы. Фикобилисомы. Фикобилины как дополнительные ферменты фотосинтеза у водорослей и цианобактерий. Нативные формы хлорофиллов в антенных комплексах. Понятие о фотосинтетической единице. Факторы, влияющие на ассоциацию светособирающего комплекса с ФС II и ФС I.
5. Строение и функционирование ФС I. Ассоциация и диссоциация с подвижным светособирающим комплексом. Кооперация работы ФС I и ФС II. Локализация ФС I в мембране тилакоидов.
6. Строение и функционирование фотосистемы II. Водоокисляющий комплекс и реакции образования кислорода. Работа реакционного центра. Участие ФС II в нециклическом потоке e^- . Работа ФС II в циклическом режиме. Локализация ФС II и взаимодействие со светособирающим комплексом.
7. Нециклический, циклический и псевдоциклический транспорт электрона. Последовательность переносчиков. Цикл вокруг фотосистемы II. Реакция хлородыхания как регуляция редокс-статуса пула пластохинонов. Подвижные переносчики в составе комплексов. Одно- и двухэлектронные переносчики.
8. Взаимосвязь между фотосинтетической функцией и ультраструктурой хлоропластов. Локализация белковых комплексов на мембранах тилакоидов (ССК, ФСII, ФСI, цитохром-b/f-комплекс, АТФ-синтаза). Переключение с нециклического на циклический поток электронов по ЭТЦ фотосинтеза и связанное с ним изменение локализации комплексов.
9. Фиксация CO_2 в растительной клетке. Сравнительная характеристика основных карбоксилаз клетке: RubisCO и ФЕП-карбоксилазы. Роль карбоангидразы в фиксации CO_2 . Механизм концентрирования CO_2 у C-4 – растений. Регуляторные функции углекислоты в реакции открывания/закрывания устьиц, активация темновых и световых реакций фотосинтеза.
10. Восстановительный пентозофосфатный путь (цикл Кальвина). Основные этапы и биохимические реакции, входящий в цикл. Характеристика RubisCO как ключевого фермента. Регуляция активности ферментов цикла Кальвина. Связь цикла со световыми реакциями фотосинтеза. Экспорт метаболитов цикла Кальвина из хлоропласта в цитозоль. Челночные механизмы.

11. Взаимозависимость световой и темновой фазы фотосинтеза. Регуляция цикла Кальвина. Участие тиоредоксиновой системы, концентрации Mg^{2+} , pH. Специфика активации и инактивации RubisCO. Участие ядерного и хлоропластного генома в биосинтезе RubisCO.
12. Фотодыхание. Ключевая реакция, запускающая процесс фотодыхания. Экологические условия, повышающие интенсивность фотодыхания. Биохимия превращений веществ при фотодыхании. Интеграция метаболизма хлоропластов, митохондрий и пероксисом. Связь фотодыхания с другими процессами: метаболизмом серы и азота. Понятие об углекислотном компенсационном пункте фотосинтеза. Сравнение углекислотного компенсационного пункта у C_3 и C_4 растений.
13. Экологическая роль C_4 фотосинтеза. Химизм первичных процессов ассимиляции углекислоты. Обмен метаболитами между клетками мезофилла и обкладки на примере НАДФ-зависимого МДГ-пути C_4 фотосинтеза.
14. C_4 фотосинтез. ФЕП-карбоксилаза как основной фермент. Анатомические особенности C_4 растений. Многообразие путей декарбоксилирования при C_4 фотосинтезе. Три варианта цикла. Адаптивное экологическое значение C_4 фотосинтеза.
15. Разнообразие типов декарбоксилирования при C_4 фотосинтезе: НАДФ-зависимый и НАДФ-зависимый МДГ и ФЕП-карбоксикиназные варианты C_4 . Связь типа декарбоксилирования с ультраструктурой хлоропластов, анатомическими и цитологическими особенностями листьев.
16. САМ-метаболизм. Основные особенности САМ-растений. Суточная динамика процессов фиксации и восстановления CO_2 у САМ-растений. Экологическое значение САМ-метаболизма.
17. Адаптивное экологическое значение САМ-метаболизма. Суточная динамика фотосинтетических процессов и их компартментация. Три варианта декарбоксилирования при САМ-метаболизме. Облигатные и факультативные САМ-растения.
18. Гликолиз. Общий химизм реакций. Особенности гликолиза у растений. Регуляция. Роль фруктозо-2,6-бисфосфата как сигнальной молекулы, регулирующей отношение между гексозами и триозами. Молочнокислое и спиртовое брожение. Связь гликолиза с другими процессами: C_4 , САМ, окислительным пентозофосфатным циклом, циклом Кребса, циклом Кальвина. Обращение реакций гликолиза (глюконеогенез) у растений.
19. Цикл Кребса. Последовательность реакций. Пируватдегидрогеназный комплекс. Связь цикла Кребса с САМ, метаболизмом азота, гликолизом. Взаимодействие цикла Кребса и ЭТЦ митохондрий.
20. Мобилизация запасных нейтральных липидов при прорастании семян. Биохимическое взаимодействие олеосом, глиоксисом и митохондрий. Гидролиз триглицеридов, β -окисление жирных кислот, глиоксилатный цикл и глюконеогенез. Связь с процессами электронного транспорта на мембранах митохондрий и с циклом трикарбоновых кислот (цикл Кребса).
21. Электрон-транспортная цепь митохондрий. Особенности растительных митохондрий: альтернативные дегидрогеназы, альтернативная оксидаза. Комплексы I, II, III и IV. Синтез АТФ на мембране митохондрий. Эффективность переноса протонов через мембрану в зависимости от альтернативных путей передачи электрона. Альтернативная оксидаза митохондрий. Экологическая роль для привлечения опылителей у ароидных. Механизмы регуляции активности, защитная функция альтернативной оксидазы.
22. Сравнение окислительного и восстановительного пентозофосфатного пути. Общие черты и особенности. Связь пентозофосфатных циклов с метаболическими процессами: синтезом фенольных соединений, полимеров клеточной стенки, нуклеиновых кислот. Роль окислительного и восстановительного пентозофосфатного пути как источника восстановительных эквивалентов.
23. Сравнение Q-цикла фотосинтеза и дыхания. Стехиометрия переноса протонов через мембрану. Особенности FeS-центра Риске. Локализация компонентов Q-цикла в мембране. Изображение Q цикла в Z-схеме и в схеме редокс-потенциалов при дыхании.
24. Преобразование энергии протонного градиента ($\Delta\mu H^+$) в энергию химических связей (АТФ) на внутренней мембране хлоропластов и митохондрий. Строение АТФ-синтазного комплекса и механизм его работы. Особенности регуляции синтеза АТФ в хлоропластах.
25. Водный обмен растений. Термодинамические показатели воды: активность, химический потенциал, водный потенциал. Составляющие водного потенциала: осмотический, матричный, гидравлический и гравитационный. Понятия о тургоре, плазмолиз. Поток воды через мембрану: гидравлическое сопротивление, коэффициент отражения, способы регуляции потоков воды через клетку. Аквапорины.
26. Верхний и нижний концевой двигатель водного потока. Поглощение воды корнем, создание корневого давления. Капиллярные эффекты. Силы адгезии и когезии. Транспирация и способы её регуляции. Устьичные движения. Гуттация. Строение и функции гидатод.
27. Загрузка терминальной флоэмы листа фотоассимилятами. Симпластический и апопластический путь. Значение клеток-спутниц в загрузке ситовидных элементов. Состав флоэмного сока в зависимости от типа загрузки. Информационные макромолекулы, перемещающиеся по флоэме на примере флоригена (FT-фактора).
28. Симбиогенетическая теория происхождения хлоропластов. Структура и функции хлоропластного генома. Взаимодействие с ядерным геномом. Взаимные превращения пластид. Физиологическая роль разных типов пластид.
29. Геном пластид и геном митохондрий. Общие черты и особенности каждого из геномов. Генетическая ёмкость: гены домашнего хозяйства и гены, отвечающие за специфические функции хлоропластов и митохондрий. Феномен цитоплазматической мужской стерильности как взаимодействие между ядерным и митохондриальным геномами. Спорофитный и гаметофитный контроль ЦМС. Взаимодействие хлоропластного и ядерного геномов, примеры двойного кодирования.
30. Основные структурные полимеры клеточной стенки. Ковалентные, водородные и ионные связи между полимерными сетями. Биосинтез целлюлозы, сшивочных гликанов, пектиновых веществ. Структурные белки и ферменты, входящие в состав клеточной стенки. Изменение состава клеточной стенки по мере роста и дифференцировки.
31. Внутриклеточные рецепторы. Роль убиквитинирования и протеолиза в передаче сигнала. Факторы транскрипции, представлении о многообразии. Регуляторные элементы (боксы) в промоторах генов. Механизмы специфического изменения экспрессии генома в ответ на сигнальные молекулы.
32. Передача сигнала от рецепторов к мишеням. Основные типы рецепторов. Примеры систем вторичных мессенджеров. Двухкомпонентные киназы и каскады фосфорилирования, MAP-киназы. Гетеротримерные G-белки. Мембранные липиды как источник вторичных мессенджеров. Факторы транскрипции, регуляторные элементы в промоторах генов.
33. Ауксин. История открытия. Биосинтез, депонирование и необратимое окисление. Транспорт ауксина через клетку. Основные физиологические эффекты. Роль ауксина в регуляции. Гербицидные свойства аналогов ауксина.
34. Явление фототропизма. Высоко- и низкоэнергетический ответ. Фототропины: строение фоторецептора, роль в запуске реакции фототропического изгиба. Ауксин как молекула-медиатор ответа.

35. Геотропизм. Методы исследования. Первичная реакция растения на ускорение масс. Распределение гравичувствительных зон по растению. Участие внутриклеточных структур в развитии геотропического изгиба. Роль ауксинов в явлении геотропизма.
36. Цитокинины. История открытия. Биосинтез. Активные и неактивные формы цитокининов. Основные физиологические эффекты. Взаимодействие ауксинов и цитокининов в различных физиологических реакциях.
37. Фитопатогенные организмы как продуценты растительных гормонов. *Agrobacterium* – специализированные паразиты растений. Молекулярный механизм взаимодействия растений и агробактерий. Трансформация. Трансгенные растения. Основные проекты, связанные с трансгенными растениями.
38. Гиббереллины, история открытия. Биосинтез. Многообразие гиббереллинов, активные и неактивные формы. Регуляция уровня гиббереллинов в растении. Основные физиологические эффекты гиббереллинов. Мобилизация запаса питательных веществ в зерновках злаков. Роль GA в регуляции цветения. Брассиностероиды как синергисты GA и ауксинов.
39. Абсцизовая кислота. Особенности биосинтеза. Использование мутантов для исследования путей биосинтеза АБК. Основные физиологические эффекты. Регуляция работы устьиц абсцизовой кислотой. АБК как регулятор состояния покоя. Адаптации к стрессу, опосредованные АБК.
40. Этилен. Особенности биосинтеза и рецепции. Тройной ответ проростков на этилен. Роль этилена в созревании плодов и в листопаде. Физиологические ответы растения, связанные с поранением и нападением патогенов и травоядных. Этилен как регулятор цветения. Практическое использование эффектов этилена.
41. Жасмонаты, салицилат, оксипирины, олигосахарины и короткие пептиды, их роль в ответе растений при патогенезе. PR – белки. Понятие об элиситоре, концепция «ген – на – ген» в вертикальной устойчивости. Горизонтальная устойчивость. Роль активных форм кислорода, фитоалексинов и программированной гибели клеток в иммунитете растения.
42. Фоторецепторы растений: фототропины, криптохромы и фитохромы. Хромофорные группировки и основные принципы передачи сигнала. Фитохромы А и В, различие в спектрах поглощения и физиологических реакциях. Реакции на сверхнизкую, низкую и высокую освещённость. К – ДК переходы при поглощении света фитохромами.
43. Значение фотопериодических физиологических реакций в адаптации растений к климатическим условиям. Деление растений на группы в зависимости от реакции на фотопериод. Восприятие фотопериодического сигнала. Опыты Чайлахяна. Понятие о биологических часах. Эффект прерывания ночи. Гормональная теория цветения: понятие о флоригене. Молекулярные основы перехода к цветению.
44. Фотоморфогенез. Дезтиоляция. Использование мутантов для изучения молекулярных основ дезтиоляции. Синдром избегания тени. Светозависимое прорастание семян. Фототропизм. Рецепторы, играющие главную роль в реакциях фотоморфогенеза.
45. Термопериодизм. Явления яровизации. Восприятие температурного сигнала. Опыты Чайлахяна. Стресс-периодизм.
46. Циркадные процессы в растениях. Понятие о внутренних биологических часах. «Подстройка» внутренних часов по внешним ритмам. Молекулярные механизмы восприятия фотопериода, и физиологические реакции, находящиеся под их контролем.
47. Понятие о доступных формах азота. Поглощение нитрата: метаболический, транспортный и запасной пул. Нитрат-редуктаза: строение, принципы работы, регуляция активности. Нитрит-редуктаза. Локализация, источник восстановительных эквивалентов. Распределение активности нитрат- и нитрит-редуктазы по органам растений. Изоформы ферментов.
48. Понятие о пулах нитрата в растительной клетке. Особенности восстановления нитрата у разных растений. Нитрат как регуляторная молекула. Связь процесса ассимиляции нитрата со световой фазой фотосинтеза, циклом трикарбоновых кислот (цикл Кребса), C-4 метаболизмом.
49. Вовлечение иона аммония в метаболизм. Глутаминсинтетаза (ГС), глутамин:оксоглутаратаминотрансфераза (ГОГАТ), глутаматдегидрогеназа (ГДГ). Особенности метаболических путей аммония в хлоропласте, цитоплазме, митохондриях. Превращение кетокислот в аминокислоты. Связь метаболизма азота с основными метаболическими путями: гликолизом, циклом Кребса, циклом Карпилова-Хэтча-Слэка, фотодыханием.
50. Симбиотическая фиксация азота. Виды бактерий, способных вступать в симбиоз. Факторы нодуляции (на примере бобовых). Этапы колонизации корней бобовых симбиотическими бактериями. Нитрогеназа – основной фермент, фиксирующий атмосферный азот. Принцип строения, особенности работы. Роль лег-гемоглобина в функционировании клубенька.
51. Значение соединений серы для растений. Коферменты, содержащие серу. Регуляторная роль соединений серы. Тиоредоксиновая система. Глутатион и его производные. Защита от ионов тяжелых металлов. Вторичные метаболиты, содержащие серу, и их экологическая роль.
52. Поступление сульфата в клетку с использованием вторично-активного транспорта. Ассимиляция серы. Компартиментация основных процессов метаболизма серы. Реакции сульфатирования. Дальнейшее восстановление сульфата, сульфита и образование цистеина.
53. Многообразие органических соединений, содержащих серу. Поглощение сульфата и его вовлечение в метаболизм. Сульфатирование и восстановление до сульфида. Синтез цистеина, глутатиона, фитохелатина. Роль серы в поддержании редокс-статуса клетки и в защите от окислительного стресса. Регуляции активности ферментов за счёт окисления/восстановления остатков цистеина. Примеры ферментов, регулируемых тиоредоксиновой системой.
54. Основные принципы генерации, потенциала на плазмалемме и тонопласте. H⁺АТФазы р- и V-типа, H⁺пирофосфатаза. Ca²⁺-АТФаза. Понятие о первично- и вторично-активном переносе ионов. Примеры помп, антипортеров, симпортеров. Пассивный транспорт через каналы и переносчики. Регуляция мембранного потенциала.
55. Поступление K⁺ в растительную клетку. Физико-химические закономерности поступления ионов. Понятие о кажущемся свободном пространстве апопласта. Доннановский и диффузионный потенциал. Многообразие каналов и переносчиков, переносящих калий.
56. Особенности поглощения железа из почвы: две стратегии поглощения. Роль соединений железа как редокс-кофакторов электрон-транспортных цепей. Ферменты, содержащие железо. Участие железа в восстановлении соединений азота и серы. Лег-гемоглобин – уникальное соединение, участвующее в переносе молекулярного кислорода.
57. Уникальность систем транспорта Ca²⁺ в растительных клетках. Системы пассивного, первично- и вторично-активного транспорта Ca²⁺. Динамика изменения концентрации Ca²⁺ в цитозоле: всплески (spikes), осцилляции и волны. Примеры процессов, сопровождающихся изменением концентрации кальция. Понятие о «кальциевом росчерке» (signature) при передаче сигнала.
58. Ca²⁺ как вторичный мессенджер. Многообразие систем трансмембранного активного и пассивного транспорта Ca²⁺. Временные и пространственные особенности Ca²⁺-сигнала. Кальмодулины и другие белки, содержащие EF-«руки»

(EF-hand), Ca²⁺-зависимые протеинкиназы, их роль в передаче сигналов. Основные депо кальция. Связь Ca²⁺ с различными системами вторичных мессенджеров. Клеточная стенка и цитоскелет как участники передачи Ca²⁺-сигнала.

59. Фосфор. Органические соединения, содержащие фосфор. Роль фосфора в энергетике клетки и редокс-реакциях. Сигнальная роль фосфатсодержащих вторичных мессенджеров. Каскады фосфорилирования. Протеинкиназы и протеинфосфатазы. Роль 14-3-3 белков в регуляции активности ферментов. Пирофосфат как источник энергии. Роль фосфора в транспортных и метаболических процессах, челночных механизмах транспорта. Поддержание pH в клетке.
60. Устойчивость растений к солевому стрессу. Общие механизмы солеустойчивости и устойчивости к засухе. Гликофиты и галофиты. Специфика адаптации к засолению. Механизмы поступления NaCl в клетку. Токсичное действие солей.
61. Адаптация растений к солевому стрессу. Механизмы, связанные с понижением водного потенциала в вакуолях и цитоплазме. Изменение матричного потенциала биополимеров. Защита от токсического действия высокой ионной силы (на примере Na⁺-засоления).
62. Механизмы защиты растений от патогенных микроорганизмов и грибов. Конститутивная, полуиндуцибельная и индуцибельная защита. Понятие об элиситоре. Роль ферментов, фитогормонов, вторичных метаболитов и активных форм кислорода в реакциях иммунитета.
63. Вторичный метаболизм. Признаки вторичных метаболитов. Функции, выполняемые вторичными метаболитами. Конститутивные, полуконститутивные, индуцибельные вторичные метаболиты. Группы вторичных метаболитов: изопреноиды, алкалоиды, фенольные соединения, цианогенные гликозиды, глюкозинолаты. Общие принципы биосинтеза.
64. Алкалоиды – группа азотсодержащих вторичных метаболитов. Биохимическая классификация: протоалкалоиды, истинные алкалоиды и псевдоалкалоиды. Примеры растений, содержащих алкалоиды. Экологическая роль алкалоидов.
65. Биосинтез терпеноидов. Примеры монотерпенов. Вторичные метаболиты и фитогормоны терпеноидной природы. Каротиноиды как пример изопреноидных соединений. Другие терпеноидные соединения, входящие в состав липидов и мембранных комплексов тилакоидов.

XI. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

- А, Основная литература - с выделением подразделов (по прилагаемой форме);
- Б. Дополнительная литература - с выделением подразделов (по прилагаемой форме);
- В, Программное обеспечение и Интернет-ресурсы - с выделением подразделов;

форма для предоставления списка литературы

№ п/п	Автор	Название книги / статьи	Отв. редактор (для коллективных работ)	Место издания	Издательство	Год издания	Название журнала (сборника)	Том (выпуск) журнала/ сборника	Номер журнала
1		Физиология растений	проф. И.П. Ермакова	Москва	Издательский центр "Академия"	2007			
2	Медведев С.С., Шарова В.И.	Физиология растений		С.-Петербург.	Изд-во Петерб. Ун-та	2011			
3	Зитте П., Вайлер Э.В., Кадерайт Й.В. и др.	Strasburger. Фотосинтез: Физиология растений.	Под ред. В.В. Чуба	Москва	Издательский центр "Академия"	2008			
4	Мокронос А.Т., Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В.	Фотосинтез: Физиолого-экологические и биохимические аспекты		Москва	Издательский центр "Академия"	2006			
5	Хелдт Г.-В.	Биохимия растений	Под ред А.М. Носова, В.В. Чуба	Москва	БИНОМ. Лаборатория знаний	2011			

XII. Материально-техническое обеспечение дисциплины / практики:

А. Помещения (две практические комнаты по 40 м², центрифужная комната – 20 м², растительная комната – 20 м², лекционная аудитория – 20 м²);

Б. Оборудование

1. Спектрофотометры: Specord 200 с компьютерным обеспечением, LEKI SS1207 UV, СФ 46 ЛОМО,
2. фотоколориметры КФК-2МП – 4 шт.,
3. центрифуги РС-6 -2 шт.,
4. ламинары: КПП-М -2 шт., fotron L-f 2 шт.,
5. весы аналитические: Explorer – 5 шт., Adventurer (AL-64) – 4 шт.,

6. весы технические Acculab (UI-600) - 3 шт.,
7. микроскопы (ЛОМО) – 10 шт.,
8. бинокляры (ЛОМО) - 10 шт.,
9. термостат (ТС-1/80 СПУ)
10. рН метры (Hanna рН 211 с микропроцессором) - 2 шт.,
11. вакуумный насос-компрессор «Millipore»,
12. магнитные мешалки (MSH-300) – 5 шт.

В. Иные материалы (стеклянная и разовая посуда, семена (горох, пшеница, кукуруза), реактивы (неорганические, органические), фильтровальная бумага, пергамент, штативы, кюветы, шпатели, ножницы, пинцеты, лампы настольные, компьютеры LG – 2 шт., холодильники Stinol – 2 шт., лабораторный моечный автомат G 7883, автоклав ГК-100-3, аквадистилляторы Д-10 - 2 шт., дозаторы (Biohit, Ленпипет) 20μl – 1000 ml -15 шт., шкаф суховоздушный ШС-80).