

# Структура рабочей программы по дисциплине «Физиология растений»

(проф. Ермаков И.П.)

## I. Физиология растений;

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

III. Цели и задачи дисциплины:

**Цель** — познание закономерностей жизнедеятельности растений через раскрытие биохимических, молекулярных и генетических основ функционирования метаболических систем, а также установление взаимосвязей сложных функций и механизмов их регуляции в системе целого организма, составляющих основу существования в разнообразных условиях среды.

**Задачи** — теоретическое и практическое освоение знаний об основных физиологических функциях растительного организма, молекулярно-биологических и генетических особенностях процессов жизнедеятельности, эволюционных и онтогенетических механизмах приспособления к существованию в различных условиях среды, формирование понимания биотехнологического и агротехнического потенциала знаний о физиологических функциях растительного организма.

## 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 - Биохимия и молекулярная биология; кафедры (профили): Микробиологии, Молекулярной биологии, Физиологии растений**);

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 (**зачет 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:

№ n/n	Наименование разделов и тем дисциплины	Трудоемкость (в ак. часах) по формам занятий			Формы контроля	
		Аудиторная работа (с разбивкой по формам и видам)				Самостоятельная работа
		Лекции	Семинары	Лабораторная работа		
	<b>Физиология растений</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>54</b>	<b>экзамен</b>
1	<b>Раздел 1.</b> Общая характеристика физиологии растений					
2	Тема 1. Физиология растений как интегральная наука	2	1		2	
3	<b>Раздел II.</b> Растительная клетка			4	2	Коллоквиум
4	Тема 1. Общая характеристика растительной клетки Тема 2. Органеллы растительной клетки: ядро, пластиды, митохондрии пероксисомы	2	1		2	Реферат
5	Тема 3. Мембранные системы растительной клетки: плазмалемма, тонопласт, ЭР, аппарат Гольджи Тема 4. Вакуоли и цитоскелет растительной клетки	2	1		2	
6	Тема 5. Клеточная стенка растительной клетки	2	1		2	Контрольная работа
7	<b>Раздел III.</b> Биоэнергетика растений					
8	Тема 1. Принципы термодинамики Тема 2. Преобразование энергии в клетке	2	1		2	
9	<b>Раздел IV.</b> Дыхание			8	3	Коллоквиум
10	Тема 1. Ферментные системы дыхания Тема 2. Гликолиз	2	1		2	
11	Тема 3. Цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса) Тема 4. Глиоксилатный цикл	2	1		2	Реферат
12	Тема 5. Дыхательная электронтранспортная цепь Тема 6. Окислительный пентозофосфатный цикл (ОПФЦ)	2	1		2	
13	Тема 7. Окислительное фосфорилирование Тема 8. Цитоплазматические оксидазы. Функции дыхания у растений	2	1		2	Контрольная работа
14	<b>Раздел V.</b> Фотосинтез			8	5	Коллоквиум
15	Тема 1. Хлорофиллы. Первичные процессы фотосинтеза	2	1		2	
15	Тема 2. Фотосистемы и их функционирование	2	1		2	Реферат
17	Тема 3. Пространственная организация, функционирование и регуляция работы фотосинтетического аппарата. Фотосинтетическое фосфорилирование	2	1		2	
18	Тема 4. Ассимиляция углерода при фотосинтезе Тема 5. Транспорт продуктов фотосинтеза	2	1		2	Контрольная работа
19	<b>Раздел VI.</b> Минеральное питание			8	4	Коллоквиум
20	Тема 1. Механизмы транспорта ионов через биологические мембраны Тема 2. Физиологическое значение макроэлементов и их метаболизм	2	1		2	
21	Тема 3. Физиологическое значение микроэлементов и их метаболизм Тема 4. Корень как орган поглощения и транспорта минеральных элементов	2	1		2	Контрольная работа
22	<b>Раздел VII.</b> Водный обмен растений			8	4	Коллоквиум
23	Тема 1. Общая характеристика водного обмена растений и термодинамические показатели состояния воды	2	1		2	
24	Тема 2. Транспорт воды по растению Тема 3. Выделение воды растением	2	1		2	Реферат
25	<b>Раздел VIII.</b> Дальний транспорт веществ					
26	Тема 1. Флоэмный транспорт Тема 2. Ксилемный транспорт	2	1		2	Контрольная работа

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

**Раздел 1. Общая характеристика физиологии растений.**

### Тема 1. Физиология растений как интегральная наука

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Физиология растений как интегральная наука

### Раздел II. Растительная клетка

#### Тема 1. Общая характеристика растительной клетки.

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Общая характеристика растительной клетки

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

*Содержание темы* Ядро. Особенности организации ядерного генома растений. Структура генома, полиморфизм растительной ДНК. Копийность разных генов и участков ДНК. Особенности метилирования растительной ДНК и его влияние на экспрессию ядерных генов. Гетерохроматин и эухроматин. Роль гистонов в регуляции активности генома. Мобильные генетические элементы растений (транспозоны). ДНК-транспозоны. Транспозаза. Нерепликативная транспозиция (на примере Ac и Ds – элементов кукурузы). Варианты фенотипического проявления активности нерепликативных транспозонов. Ретротранспозоны. Роль обратной транскриптазы в репликативной транспозиции.

Пластидная система. Типы пластид, особенности строения, онтогенез. Геном пластид. Прокариотические черты и копияность пластидного генома. Полицистронный тип репликации пластидных генов. Мозаичная структура пластидных генов. Созревание пластидной РНК, сплайсинг и редактирование транскриптов. Стабильность пластидной РНК. Белки, кодируемые пластидным геномом. Синтез белка в пластидах и его регуляция светом. РНК-полимеразы пластид, пластидные рибосомы. Взаимодействие ядерного и пластидного геномов, двойное кодирование большинства компонентов фотосинтетического аппарата: ФСII, ФСII, цитохром-b6/f-комплекса, АТФ-синтазы, пластидной НАД-Н-дегидрогеназы, RubisCO. Транспорт в пластиды белков, кодируемых ядерным геномом. Размножение и наследование пластид.

Митохондрии растений. Особенности строения митохондрий растений. Особенности структуры митохондриального генома растений. Рекомбинационная активность митохондриального генома. Прокариотические черты и размер митохондриального генома растений. Мозаичная структура митохондриальных генов, сплайсинг и редактирование транскриптов. Белки, кодируемые митохондриальным геномом. Особенности синтеза белка в митохондриях, рибосомы митохондрий, транспорт белков и некоторых т-РНК в митохондрию. Двойное кодирование (ядерное и пластидное) большинства белков дыхательной ЭТЦ: НАДН-дегидрогеназы, сукцинат-дегидрогеназы, цитохром-b/c-комплекса, цитохром-оксидазы, АТФ-синтазы. Взаимодействие ядерного и митохондриального генома при возникновении мужской стерильности у растений.

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

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Органеллы растительной клетки: ядро, пластиды, митохондрии пероксисомы.

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

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

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

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

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Мембранные системы растительной клетки: плазмалемма, тонопласт, ЭР, аппарат Гольджи.

#### Тема 4. Вакуоли и цитоскелет растительной клетки.

*Содержание темы* Вакуоли. Литический и запасающий типы вакуолей. Белковые маркеры типов вакуолей. Сигнальные

последовательности белков, транспортируемых в вакуоль. Возникновение вакуолей *de novo*. Транспорт веществ в запасующие и литические вакуоли (слияние везикул, автофагия везикул). Сигнальные последовательности транспорта белков в вакуоль. Накопление токсичных веществ и их производных в вакуоли. ABC-транспортеры. Функции вакуолярной системы клетки.

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Вакуоли и цитоскелет растительной клетки

#### Тема 5. Клеточная стенка растительной клетки

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

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Клеточная стенка растительной клетки

### **Раздел III. Биоэнергетика растений.**

#### Тема 1. Принципы термодинамики.

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

*Задания для самостоятельной работы*-Изучить по рекомендуемой литературе тему Принципы термодинамики

#### Тема 2. Преобразование энергии в клетке.

*Содержание темы* Внешние источники энергии для организмов. Две основные формы запасаания энергии в клетке: электрохимический потенциал протонов на энергизованных мембранах и макроэргические связи, взаимопревращение этих форм энергии. Энергетика процессов синтеза и гидролиза АТФ. Трансформация энергии на сопрягающих мембранах: Электрохимический потенциал – движущая сила фосфорилирования.

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Преобразование энергии в клетке.

### **Раздел IV. Дыхание**

#### Тема 1 Ферментные системы дыхания.

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Ферментные системы дыхания.

#### Тема 2. Гликолиз.

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

*Задания для самостоятельной работы* Изучить по рекомендуемой литературе тему Гликолиз.

#### Тема 3. Цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса).

*Содержание темы* Пируватдегидрогеназный комплекс. Структура и регуляция. Ферментативные реакции и регуляция цикла Кребса. Роль маликэнзима в регуляции работы цикла. Энергетическая эффективность процесса. Цикл трикарбоновых кислот как поставщик кетокислот для метаболизма аминокислот. Особенности цикла трикарбоновых кислот в растениях. Анаплеротические реакции, пополняющие недостаток интермедиатов цикла Кребса.

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Цикл трикарбоновых кислот

#### Тема 4. Глиоксилатный цикл.

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

растительной клетки.

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Глиоксилатный цикл.

Тема 5. Дыхательная электронтранспортная цепь.

*Содержание темы* Основные компоненты, способы регистрации редокс-состояний. Структура и функции комплексов ЭТЦ дыхания: НАДН-дегидрогеназный комплекс. Сукцинатдегидрогеназный комплекс. Цитохром-b/c-комплекс. Цитохромоксидазный комплекс. Механизм образования трансмембранного протонного градиента в процессе электронного транспорта. Особенности ЭТЦ дыхания растений. Альтернативные НАДН-дегидрогеназы - локализация в мембранах и функции. Альтернативная оксидаза: структура, функции, принципы регуляции. Альтернативный путь переноса электронов в дыхательной цепи растений и его физиологическое значение. Ингибиторы электронного транспорта и ингибиторный анализ при изучении дыхательной активности растительных митохондрий.

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Дыхательная электронтранспортная цепь

Тема 6. Окислительный пентозофосфатный цикл (ОПФЦ).

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Окислительный пентозофосфатный цикл

Тема 7. Окислительное фосфорилирование.

*Содержание темы* Энергизация мембран при функционировании ЭТЦ дыхания. АТФ-синтаза митохондрий. Структура, локализация, пространственная организация Современные представления о механизме синтеза АТФ. Регуляция электронного транспорта в дыхательной цепи. Дыхательный контроль. Понятие о разобщителях. Энергетическая эффективность дыхания. Челночные системы выноса АТФ и транспорт метаболитов через мембраны митохондрий.

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Окислительное фосфорилирование

Тема 8. Цитоплазматические оксидазы. Функции дыхания у растений.

*Содержание темы* Цитоплазматические оксидазы - аскорбатоксидаза, полифенолоксидазы, ксантинооксидазы, пероксидазы, каталазы. Их локализация, функции, вклад в общее поглощение кислорода растительной тканью. Изменения в интенсивности и путях дыхания в онтогенезе и при действии факторов среды.

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Цитоплазматические оксидазы. Функции дыхания у растений

**Раздел V. Фотосинтез.**

Тема 1. Хлорофиллы. Первичные процессы фотосинтеза.

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

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Хлорофиллы. Первичные процессы фотосинтеза

Тема 2. Фотосистемы и их функционирование.

*Содержание темы* Электрон-транспортная цепь фотосинтеза. Представления о совместном функционировании двух фотосистем. Компоненты ЭТЦ и последовательность переноса электрона по цепи (Z-схема). Пигмент-белковые комплексы (ПБК). Механизмы образования, значение связи пигментов с белком. Ориентация пигментов в ПБК. Механизмы энергетического взаимодействия пигментов в комплексах (экситонное, обменно-резонансное взаимодействие) и между комплексами (переходные состояния). Антенные комплексы. Фикобилины. Структура, функции и синтез. Каротиноиды. Роль каротиноидов в фотосинтезе. Антенная функция, возбужденные состояния каротиноидов, механизмы миграции энергии на хлорофилл. Представление о фотосинтетической единице Механизмы миграции энергии в хлоропластах. Организация антенных комплексов бактерий, ФС I и ФС II. . Строение и функции ФС II. Организация в тилакоидной мембране и функционирование реакционного центра ФС II. Система фотоокисления воды и образования кислорода при фотосинтезе. Строение и функции ФС I. Структура и функции цитохром-b<sub>6</sub>/f-комплекса, Q-цикл. Подвижные переносчики ЭТЦ хлоропластов.

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Фотосистемы и их функционирование

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

### Фотосинтетическое фосфорилирование.

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

Фотосинтетическое фосфорилирование. Основные типы, их физиологическое значение, механизмы регуляции. Механизмы энергетического сопряжения транспорта электронов и синтеза АТФ. Сопрягающие факторы фотофосфорилирования, их функции, структура, механизм действия. Механизм работы каталитических центров CFI. Регуляция работы АТФ-синтазного комплекса хлоропластов.

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Пространственная организация, функционирование и регуляция работы фотосинтетического аппарата. Фотосинтетическое фосфорилирование.

#### Тема 4. Ассимиляция углерода при фотосинтезе.

*Содержание темы* Использование продуктов световой стадии для ассимиляции углекислоты. С3-путь фотосинтеза. Рубиско: содержание фермента, структура, функции, регуляция. Цикл Кальвина, основные ферменты и механизмы регуляции цикла. Фотодыхание. С4-путь фотосинтеза. ФЕП-карбоксилаза, ее характеристика, локализация, регуляция. Цикл Хэтча-Слэка-Карпилова, его функциональное значение, механизмы регуляции. Организация процесса ассимиляции в клетках мезофилла и обкладки: особенности строения хлоропластов и реакций фотосинтеза. Обмен соединениями между мезофильными клетками и клетками обкладки. Разнообразие типов декарбоксилирования при С4-фотосинтезе. Связь типа декарбоксилирования с ультраструктурой хлоропластов, анатомическими и цитологическими особенностями листьев. Характеристика групп С4-растений. Фотосинтез у САМ-растений: особенности организации процесса запасаания энергии и фиксации углекислоты во времени, регуляция, экологическое значение. Облигатные и факультативные САМ-растения.

Ассимиляция углекислоты в листе. Действие внешних факторов (интенсивность и качество света, фотопериод, концентрация  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , температура и др.) на фотосинтез. Различия в кривых зависимости скорости ассимиляции от концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в газовой среде у С3- и С4-растений. Квантовый выход фотосинтеза. Транспорт  $\text{CO}_2$  к местам фиксации, роль карбоангидразы. Устьичная и клеточная проводимость для  $\text{CO}_2$  в зависимости от

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Ассимиляция углерода при фотосинтезе.

#### Тема 5. Транспорт продуктов фотосинтеза.

*Содержание темы* Транспорт продуктов фотосинтеза из хлоропласта. Челночные системы выноса продуктов фотосинтеза и восстановительных эквивалентов. Механизмы, контролирующие обмен метаболитами между хлоропластами и цитозолем клетки. Превращения сахаров в цитозоле; запасные и транспортные формы сахаров. Донорно-акцепторные взаимодействия как основа эндогенной регуляции фотосинтеза в системе растительного организма. Механизм эндогенной регуляции в системе растения: потоки углерода, используемые на синтез различных соединений и их распределение по тканям и органам. Теория фотосинтетической продуктивности.

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Транспорт продуктов фотосинтеза

### **Раздел VI. Минеральное питание.**

#### Тема 1. Механизмы транспорта ионов через биологические мембраны.

*Содержание темы* Потребность растений в элементах минерального питания. Содержание и соотношение минеральных элементов в почве и растениях, концентрирование элементов в тканях растения. Функциональная классификация элементов минерального питания. Транспорт ионов через мембраны; движущие силы переноса ионов. Пассивный и активный транспорт ионов. Уравнение Нернста.

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

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

Особенности транспортных систем мембран вакуоли и ЭР.  $\text{H}^+$ -АТФ-за V-типа, пирофосфатаза.

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему **Механизмы транспорта ионов через биологические мембраны**

Тема 2. Физиологическое значение макроэлементов и их метаболизм.

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

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

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

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

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

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

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

**Калий.** Содержание и распределение калия в клетке, тканях и органах растения; его циркуляция и реутилизация, характеристика систем транспорта  $K^+$ , их функции в растении. Роль  $K^+$  в поддержании потенциала на мембранах. Калий и гомеостаз внутриклеточной и тканевой среды (ионный баланс, рН, осморегуляция гидратация и конформация макромолекул). Роль калия в регуляции ферментных систем..

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

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему **Физиологическое значение макроэлементов и их метаболизм**

Тема 3. Физиологическое значение микроэлементов и их метаболизм.

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

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

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

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

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

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

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

Нарушения в метаболизме растений при недостатке микроэлементов.

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему **Физиологическое значение микроэлементов и их метаболизм.**

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

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

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

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Корень как орган поглощения и транспорта минеральных элементов.

## **Раздел VII. Водный обмен растений.**

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

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

Термодинамические показатели состояния воды: активность воды, химический и водный потенциал. Составляющие водного потенциала клетки: осмотический, матричный потенциал, потенциал давления. Градиент водного потенциала как движущая сила поступления и передвижения воды. Основные закономерности поглощения воды клеткой: взаимосвязь между изменениями водного потенциала клетки, водного потенциала раствора и водного потенциала давления.

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Общая характеристика водного обмена растений и термодинамические показатели состояния воды

### **Тема 2. Транспорт воды по растению.**

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

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Транспорт воды по растению.

### **Тема 3. Выделение воды растением.**

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

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Выделение воды растением.

## **Раздел VIII. Дальний транспорт веществ.**

### **Тема 1. Флоэмный транспорт.**

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

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

*Задания для самостоятельной работы* - Изучить по рекомендуемой литературе тему Флоэмный транспорт

### **Тема 2. Ксилемный транспорт.**

*Содержание темы* Восходящий транспорт веществ по ксилеме. Загрузка ксилемы в корне. Роль клеток эндодермы и перицикла. Состав ксилемного экссудата. Взаимосвязь транспорта воды и растворенных веществ по ксилеме. Скорости транспорта воды и отдельных веществ. Взаимодействие флоэмных и ксилемных потоков азотистых веществ и ионов. Круговорот и реутилизация минеральных веществ в растении. Функциональная роль этих физиологических процессов.

Задания для самостоятельной работы - Изучить по рекомендуемой литературе тему Ксилемный транспорт.

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 (**Используются экспериментальные методы физиологии растений, молекулярной биологии и биохимического анализа для освоения практических приёмов ведения научной работы. Проводятся практические занятия на базе научно-исследовательских организаций Академии наук**);
- В. Научно-производственные технологии (**Проводятся знакомство с промышленными и полупромышленными установками в области биотехнологии и занятия на стационарах Академии сельскохозяйственных наук**).

X. 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);  
**Темы докладов, рефератов, презентаций:**  
**Функциональные особенности строения растительной клетки**  
**Мембранные системы растительной клетки**  
**Особенности строения и функционирования клеточной стенки растительной клетки**  
**Общие принципы термодинамики**  
**Механизмы преобразование энергии в клетке.**  
**Особенности гликолиза в растительной клетке.**  
**Особенности цикла трикарбоновых кислот в растительной клетке.**  
**Глиоксилатный цикл.**  
**Особенности цикла дыхательной электронтранспортной цепи**  
**Окислительный пентозофосфатный цикл**  
**Цитоплазматические оксидазы растительной клетки.**  
**Хлорофиллы.**  
**Первичные процессы фотосинтеза**  
**Фотосистемы и их функционирование**  
**Механизмы регуляция работы фотосинтетического аппарата.**  
**Основные пути ассимиляции углерода при фотосинтезе.**  
**Механизмы транспорта продуктов фотосинтеза**

**Механизмы транспорта ионов через биологические мембраны**  
**Особенности азотного обмена растений**  
**Симбиотическая фиксация молекулярного азота**  
**Физиологическое значение микроэлементов и их метаболизм**  
**Корень как орган поглощения и транспорта минеральных элементов**  
**Механизмы транспорта воды по растению.**  
**Механизмы выделения воды растением**  
**Механизмы флоэмного транспорта.**  
**Механизмы ксилемного транспорта.**

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

1. Особенности строения растительной клетки.
2. Клеточная стенка. Общий принцип строения. Первичная и вторичная клеточная стенка.
3. Целлюлоза и сшивочные гликаны. Строение. Синтез. Функционирование. Различия у разных групп растений.
4. Пектины. Строение. Синтез. Функции.
5. Основные углеводы клеточной стенки. Химическое строение и физиологическое значение.
6. Белки клеточной стенки. Инкрустирующие и адкрустирующие клеточную стенку вещества. Их физиологическое значение.
7. Физиологические функции клеточной стенки.
8. Формирование клеточной стенки. Роль микротрубочек. Локализация и функционирование ферментов синтеза клеточной стенки.
9. Плазмалемма. Строение, Основные функции и особенности. Белковые и ферментные системы плазмалеммы
10. Роль различных ацилглицеридов для физических свойств и функционирования мембран растительной клетки. Десатуразы жирных кислот.
11. Тонoplast. Основные функции. Белковые и ферментные системы тонoplastа.
12. Плазмодесмы. Строение и физиологические функции.
13. Вакуоли. Состав вакуолярного сока. Физиологические функции вакуолей. Литические и запасующие вакуоли. Происхождение вакуолей
14. Пластидная система растительной клетки. Типы пластид и их функции. Биогенез пластид.
15. Пластиды. Строение. Геном и белок-синтезирующая система пластид. Происхождения пластид.
16. Митохондрии. Строение. Геном и белок-синтезирующая система митохондрий. Отличия генома митохондрий растений.
17. Особенности ядерного генома растений. Взаимодействие ядерного, хлоропластного и митохондриального геномов у растений.
18. Фотосинтетические пигменты: химическое строение, спектры поглощения, фотохимия.
19. Окислительно-восстановительные компоненты ЭТЦ фотосинтеза. Химическое строение и свойства.
20. Фотохимический этап фотосинтеза: поглощение света и энергетические состояния хлорофилла.
21. Механизм миграции энергии на фотохимическом этапе. Отличия миграции энергии в антенных комплексах и реакционных центрах.
22. Фотосистема 1. Строение и пространственная организация.
23. Фотосистема 2. Строение и пространственная организация.
24. Структура и функционирование РЦ фотосистемы 1.
25. Структура и функционирование РЦ фотосистемы 2.
26. Q - цикл фотосинтеза.
27. Строение водоокисляющего комплекса. Химические реакции, протекающие при фотоокислении воды.
28. Пространственная организация фотосинтетического аппарата в мембране.
29. Связь между фотосистемами 1 и 2 . Подвижные переносчики электронов.
30. Энергизация мембран при фотосинтезе.
31. Образование активных форм кислорода при фотосинтезе и механизмы защиты от них.
32. АТФ-синтаза хлоропластов. Строение, пространственная организация, физиологическая роль и кодирование отдельных субъединиц.
33. Нециклический транспорт электронов при фотосинтезе. Последовательность переносчиков электронов и физиологический смысл.
34. Циклический транспорт электронов вокруг фотосистемы 1 и 2. Последовательность переносчиков электронов и физиологическое значение.
35. Псевдоциклический транспорт электронов при фотосинтезе. Последовательность переносчиков электронов и физиологическое значение.
36. Регуляция потока электронов при фотосинтезе. Переключение путей транспорта электронов. Фотосинтез при высоких интенсивностях света.
37. Цикл Кальвина.
38. Регуляция работы ферментов темновой фазы фотосинтеза.
39. Рибулособисфосфаткарбоксилаза. Строение, кодирование субъединиц, механизмы химических реакций, катализируемых РБФК. Регуляция работы
40. C4 фотосинтез при участии NADP-зависимой малатдегидрогеназы.
41. C4 фотосинтез при участии NAD- зависимой малатдегидрогеназы.
42. C4 фотосинтез при участии ФЕП - карбоксикиназы.
43. ФЕП - карбоксилаза. Строение, механизмы химических реакций, катализируемых ФЕП - карбоксилазой. Регуляция работы
44. Анатомические и физиологические особенности C4 растений. Экологическое значение C4 фотосинтеза.
45. САМ метаболизм (метаболизм по типу толстянковых). Экологическое значение.
46. Фотодыхание.
47. Транспорт продуктов фотосинтеза из хлоропластов. Челночные системы хлоропластов. Конечные продукты фотосинтеза и их компартментация.
48. Окислительно-восстановительные компоненты ЭТЦ дыхания. Химическое строение и свойства.
49. Особенности ЭТЦ дыхания растений.
50. NAD H - дегидрогеназы. Строение, локализация в мембране, кодирование субъединиц, механизмы химических реакций, катализируемых NAD - дегидрогеназами.

51. Терминальная цитохром - оксидаза. Строение, локализация в мембране, механизм химических реакций, катализируемых терминальной оксидазой.
52. Цианид - резистентное дыхание и его физиологическая роль.
53. Q - цикл дыхания.
54. Пространственная организация ЭТЦ дыхания в мембране.
55. Энергизация мембран при функционировании ЭТЦ дыхания.
56. АТФ - синтаза митохондрий. Строение, пространственная организация, физиологическая роль и кодирование отдельных субъединиц.
57. Окислительное фосфорилирование, фотофосфорилирование и субстратное фосфорилирование.
58. Цикл Кребса и его особенности в растительной клетке.
59. Глиоксилатный цикл и его физиологическая роль.
60. Гликолиз и его особенности в растительной клетке.
61. Пентозофосфатный шунт. Физиологическое значение.
62. Множественность цитоплазматических терминальных оксидаз у растений. Физиологическое значение.
63. Транспорт продуктов дыхания из митохондрий. Челночные системы митохондрий.
64. Азотный обмен. Доступные для растения минеральные формы азота. Поглощение и восстановление нитрата. Нитратредуктаза. Нитритредуктаза.
65. Симбиотическая азотфиксация. Механизм симбиоза. Нитрогеназа. Легоглобины.
66. Поглощение и восстановление серы. Физиологическая роль серы.
67. Физиологическая роль фосфора. Инозитол-фосфаты.
68. Физиологическая роль калия.
69. Физиологическая роль кальция.
70. Микроэлементы и их физиологическая роль в растительной клетке.
71. Активный и пассивный транспорт ионов. Ионные каналы и насосы. Общая характеристика.
72. Ион-транспортные системы плазмалеммы и тонопласта.
73. Роль электрохимического градиента протонов в транспорте различных ионов.
74. Поглощение ионов в корне. Радиальный транспорт ионов в корне. Роль эндодермы.
75. Загрузка ксилемы. Транспорт ионов и органических веществ по ксилеме.
76. Загрузка флоэмы. Транспорт ионов и органических веществ по флоэме.
77. Физико-химические законы поглощения и транспорта воды. Активность воды, химический потенциал воды, водный потенциал.
78. Водный потенциал клетки и его составляющие.
79. Водный обмен клетки.
80. Поглощение воды в корне. Радиальный транспорт воды.
81. Корневое давление. Возможный механизм возникновения корневого давления.
82. Транспирация и верхний концевой двигатель.
83. Транспорт воды по ксилеме и его механизмы
84. Транспорт воды по флоэме и его механизмы
85. Включение азота в органические соединения. Транспорт азотсодержащих соединений.
86. Строение устьиц у растений. Регуляция устьичных движений эндогенными и экзогенными факторами.

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
<b>А. Основная литература</b>									
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 С.-Петерб. Ун-та	2011			
3	Зитте П., Вайлер Э.В., Кадерайт Й.В. и др.	Strasburger. Ботаника. Т. 2. Физиология растений.	Под ред. В.В. Чуба	Москва	Издательский центр "Академия"	2008			
4	Мокроносков А.Т., Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В.	Фотосинтез: Физиолого-экологические и биохимические аспекты		Москва	Издательский центр "Академия"	2006			
5	Хелдт Г.-В.	Биохимия	Под ред	Москва	БИНОМ.	2011			

		растений	А.М. Носова, В.В. Чуба		Лаборатория знаний				
<b>Б. Дополнительная литература</b>									
1	Лутова Л.А., Ежова Т.А., Додуева И.Е., Осипова М.А.	Генетика развития растений	Под ред. С.Г.Инге- Вечтомова	С.-Петербург	Изд-во Н.-Л	2010			
<b>В. Интернет-ресурсы</b>									
1	лектор	<a href="http://moodle.bio.msu.ru/">http://moodle. bio.msu.ru/</a>	каф. Физиологии растений	Москва		текущий			

ХII. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

А. Помещения (две практические комнаты по 40 м<sup>2</sup>, центрифужная комната – 20 м<sup>2</sup>, растительная комната – 20 м<sup>2</sup>, лекционная аудитория – 20 м<sup>2</sup>);

Б. Оборудование

1. Спектрофотометры: Spesord 200 с компьютерным обеспечением, LEKI SS1207 UV, СФ 46 ЛОМО,
2. фотоколориметры КФК-2МП – 4 шт.,
3. центрифуги РС-6 -2 шт.,
4. ламинары: КПГ-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).