

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет им. А.М. Горького»

ИОНЦ «Физика в биологии и медицине»  
Биологический факультет  
Кафедра физиологии и биохимии растений

**УМКД «ФОТОСИНТЕЗ»**

Программа дисциплины

**Екатеринбург**

**2008**

УТВЕРЖДАЮ  
Руководитель ИОНЦ  
«Физика в биологии и ме-  
дицине»

\_\_\_\_\_ Бабушкин А.Н.

\_\_\_\_\_  
(дата)

Программа дисциплины «Фотосинтез» составлена в соответствии с требованиями федерального компонента к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки бакалавров и магистров по направлению Биология – 020200 по циклу СД/ДС дисциплин государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

Семестр – 8

Общая трудоемкость дисциплины – 80 часов, в том числе,

Лекций – 40

Семинары – 8

Автор Киселёва Ирина Сергеевна, к.б.н., доцент кафедры физиологии и биохимии растений Уральского государственного университета им. А.М.Горького

Рекомендовано к печати протоколом заседания  
Экспертно-конкурсной комиссии ИОНЦ «Физика в биологии и меди-  
цине» от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_.  
(дата)

Согласовано:

Зав.кафедрой физиологии и биохимии растений

\_\_\_\_\_/Фирсов Н.Н./

(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

© Уральский государственный университет

© Киселева И.С., 2008

## **I. ВВЕДЕНИЕ**

Фотосинтез – уникальный процесс в биосфере Земли, являющийся источником органического вещества и энергии для абсолютного большинства живых организмов. Его исследование является традиционным для физиологии и биохимии растений, однако, и в наши дни, в постгеномную или эру эпигенетики этот процесс также в центре внимания ученых. Ведутся активные молекулярно-биологические, биофизические, молекулярно-генетические исследования био- и искусственных систем разного уровня сложности, осуществляющих фотосинтез. Вместе с тем, растет популярность исследований фотосинтеза в глобальных масштабах в связи с исключительной ролью этого процесса в экосистемах и биосфере в целом. Современная наука о фотосинтезе – это сложный комплекс научных знаний об этом процессе, изучающих его во всех проявлениях. Поэтому в программе подготовки бакалавров и магистров биологов большое внимание уделяется этому разделу биологического знания. На 4 курсе студенты кафедры физиологии и биохимии растений осваивают спецкурс под названием «Фотосинтез». В процессе его изучения они приобретают теоретические знания об этом процессе. В рамках большого специального практикума студенты овладевают современными методами исследования фотосинтеза.

Цель дисциплины «Фотосинтез» – освоение современных представлений о механизмах процесса фотосинтеза во всех его проявлениях от молекулярного до биосферного масштабов.

### 1. Задачи дисциплины:

а) Дать представления о роли фотосинтеза в биосфере Земли, его значении в экосистемах и для растения, масштабах фотосинтетической деятельности.

б) Ознакомить студентов с теоретическими основами функционирования фотосинтезирующих систем от молекул до биосферы, механизмами фотофизических, фотохимических и биохимических процессов и их регуляции;

в) Сформировать представления о прикладном значении знаний о фотосинтезе

2. Место дисциплины в системе высшего профессионального образования. Освоение данной дисциплины базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных студентами при изучении таких дисциплин как общая биохимия, молекулярная биология, физиология растений, ботаника, цитология, химия, физика. В свою очередь, данная дисциплина помогает студентам освоить такие дисциплины как экология, микробиология, биофизика и другие.

3. Требования к уровню освоения содержания курса. Студент должен усвоить теоретические знания о структурной организации фотосинтетического аппарата растений и механизмах его функционирования; ознакомиться с современными подходами и методами исследования фотосинтеза; научиться планировать экспериментальные исследования в области фотосинтеза. В процессе освоения дисциплины у студентов формируются компетентности:

- личностные (владение иностранным языком, устной речью, умение вести дискуссию);
- профессиональные (чтение научной литературы, в том числе на английском языке, обобщение литературных сведений, выявление тенденций и закономерностей, подготовка докладов, презентаций, работа с базами данных);
- социальные (работа в группе на семинарах, лидерство, способность принимать решения и подчиняться решению, способность распределить полномочия и т.д.).

4. Методическая новизна преподавания дисциплины состоит в сочетании традиционных лекций с мультимедийными презентациями и видеопроказом анимационных моделей процессов и явлений, связанных с фотосинтезом.

## II. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

### 1. Разделы курса, темы, их краткое содержание

#### *Тема 1. Введение*

Понятия фотосинтез, фотоавтотрофия, кислородная фотоавтотрофия. Организмы фотоавтотрофы. Сущность и значение фотосинтеза. История развития представлений о фотосинтезе. Вклад Российских и зарубежных ученых. Историческое значение трудов К.А.Тимирязева. Фотосинтез как углеродное питание растений. Трансформация энергии света при фотосинтезе, продукция кислорода и органического вещества. Космическая роль зеленого растения. Глобальная роль и масштабы фотосинтетической деятельности в биосфере. Методы изучения фотосинтеза.

#### *Тема 2. Структурная основа фотосинтеза*

Понятие фотосинтетического аппарата. Иерархия уровней организации фотосинтетического аппарата. Лист как специализированный орган фотосинтеза. Типы строения мезофилла листа: дорсовентральный, изолатеральный, изопалисадный, кранц-тип и т.д. Устьичный аппарат. Регуляция движения устьиц. Межклетное пространство. Проводящие элементы.

Хлоропласт. Структура и функции хлоропластов. Особенности мембранной организации. Характеристика пластидного генома. Белоксинтезирующая система хлоропластов. Взаимодействие и регуляция ядерно-пластидных отношений. Генезис хлоропластов в фило- и онтогенезе.

Понятие мезоструктуры фотосинтетического аппарата. Параметры мезоструктуры, их биологический и физиологический смысл.

#### *Тема 3. Фотосинтетические пигменты*

Понятие фотосенсибилизаторов. Пигментные системы фотосинтезирующих организмов. Основные и дополнительные фотосинтетические пиг-

менты: хлорофиллы, каротиноиды, фикобилипротеиды.

Хлорофиллы. Химическая структура, спектральные свойства, многообразие форм. Хлорофилл-белковые комплексы. Распространение хлорофиллов у различных групп фотоавтотрофов. Функции хлорофиллов. Основные этапы биосинтеза хлорофиллов и их метаболизм.

Каротиноиды. Химическое строение, свойства, спектры поглощения, функции. Каротиноиды как компоненты антиоксидантных систем. Виолоксантиновый цикл. Основные этапы синтеза каротиноидов.

Фикобилипротеиды. Распространение, химическое строение, спектральные свойства, функции. Локализация в мембранах, фикобилисомы. Биосинтез фикобилинов.

Пигменты фототрофных бактерий (бактериохлорофиллы и бактериородопсин).

Функциональное и экологическое значение различных форм пигментов. Регуляция биосинтеза пигментов. Явление хроматической адаптации.

#### ***Тема 4. Молекулярная организация фотосинтетических мембран***

Общий план строения фотосинтетической мембраны растений. Понятие фотосинтетической единицы. Реакционные центры и светособирающие (антенные) комплексы. Гетерогенность и асимметрия фотосинтетических мембран. Строение и функции РЦ и ССК фотосистемы I и фотосистемы II. Локализация фотосистем на разных мембранах. Водоокисляющий комплекс. Строение, локализация. Электронтранспортная цепь. Переносчики электронов: пластохинон, цитохромы, пластоцианин, ферредоксин. АТФ-синтетазный комплекс.

#### ***Тема 5. Световая фаза фотосинтеза. Фотофизические и фотохимические реакции фотосинтеза***

Двухфазный характер фотосинтеза. Опыты Блэкмана и Эмерсона. Понятие о световой фазе фотосинтеза. Первичные процессы фотосинтеза. Фо-

тофизические и фотохимические реакции фотосинтеза. Поглощение света пигментами. Электронновозбужденные состояния. Миграция энергии в пигментных системах. Преобразование энергии и окислительно-восстановительные процессы в реакционном центре.

Транспорт электронов и перенос протонов в ЭТЦ хлоропластов. Циклический и нециклический транспорт электронов у растений и бактерий. Эффект Эмерсона. Сопряженное функционирование I и II фотосистем. Образование "восстановительной силы". НАДФН-оксидоредуктаза. Реакция Хилла.

Выделение кислорода при фотосинтезе. Квантовый характер процесса. Ферменты.

Циклическое, нециклическое и псевдоциклическое фотофосфорилирование. Механизмы фотофосфорилирования. Организация и работа фотосинтетической АТФ-синтетазы.

Стехиометрические соотношения параметров транспорта электронов, протонов и образования АТФ. Квантовый выход и квантовый расход фотосинтеза.

### ***Тема 6. Темновая фаза фотосинтеза. Биохимические реакции фотосинтеза***

Темновая фаза фотосинтеза. Карбоангидраза. Локализация и функции. Фотосинтетический метаболизм углерода. Пентозофосфатный восстановительный путь (цикл Кальвина-Бэнсона). Ферменты цикла, реакции, локализация и кинетические свойства. Первичные продукты фотосинтеза и их превращения. Регенерация акцептора углекислоты. Стабильные продукты фотосинтеза, их синтез, ферменты, локализация. Альтернативные (неуглеводные) пути ассимиляции углерода. Разнокачественность продуктов фотосинтеза.

Фотодыхание. Эффект Варбурга. Гликолатный путь фотосинтеза. Функциональное взаимодействие хлоропластов, пероксисом, митохондрий. Происхождение и значение. Антиэффект Варбурга.

C-4 кооперативный (Хэч и Слэка) путь фотосинтеза. Пространственная организация. Функциональное взаимодействие клеток мезофилла и обкладки. Ферменты первичной ассимиляции углекислоты. Реакции декарбоксилирования. Характеристика ключевых ферментов C-4 пути, сравнение с ферментами C-3 метаболизма. Биохимическое разнообразие – НАД-МЭ, НАДФ-МЭ и ФЭП-КК типы. Структурное разнообразие C4-фотосинтеза и основные типы Кранц-анатомии у злаков, осок и маревых. Экологическое значение C-4 фотосинтеза. Происхождение и распространение C-4 растений.

СAM-тип фотосинтеза. Ферменты. Временная организация СAM-метаболизма. Индукция СAM. Распространение СAM-растений.

Цикл Эванса-Арнона. Эволюция метаболических путей фотосинтеза. Закономерности глобального распределения растений с разными типами фотосинтеза.

### ***Тема 7. Экология фотосинтеза***

Экологические факторы фотосинтеза.

Свет. Фотосинтетически активная радиация (ФАР). Интенсивность света. Световые кривые фотосинтеза. Световой компенсационный пункт (СКП). Насыщающие интенсивности. Фотоингибирование. Особенности световых кривых C-3 и C-4, светолюбивых и теневыносливых растений. Фотосинтез и спектральный состав света. Особенности анатомии листа и метаболизма углерода в зависимости от интенсивности и спектральных характеристик света. Листовая мозаика. Явление хроматической адаптации.

Концентрация CO<sub>2</sub>. Углекислотные кривые фотосинтеза. Углекислотный компенсационный пункт (УКП). УКП C-3 и C-4 растений. Потенциальный и реальный фотосинтез. Ингибирование фотосинтеза высокими концентрациями углекислоты. Индуцибельный характер синтеза карбоангидразы. CO<sub>2</sub>-концентрирующие механизмы у растений и водорослей. Сопротивление диффузии CO<sub>2</sub>. Основные компоненты сопротивлений. Эндогенные и экзогенные факторы регуляции диффузионных сопротивлений.



Температура. Температурная зависимость фотосинтеза. Кримо- и термофильные растения. Адаптации фотосинтетического аппарата в высоким и низким температурам.

Влияние условий минерального питания, водоснабжения на фотосинтез. Особенности фотосинтеза растений разных экологических групп.

Дневной ход фотосинтеза. Возрастные изменения фотосинтеза. Роль донорно-акцепторных отношений в регуляции фотосинтеза. Гормональная регуляция фотосинтеза.

Фотосинтез и глобальные климатические изменения. Фотосинтез и проблемы «парникового эффекта» и «озоновых дыр».

### ***Тема 8. Фотосинтез и продукционный процесс***

Фотосинтез – основа продукционного процесса растений. Теория фотосинтетической продуктивности растений А.А. Ничипоровича. Посев как фотосинтетическая система. Архитектоника посева и продукционный процесс. Эффективность усвоения ФАР. Экстенсивные и интенсивные пути оптимизации фотосинтетической продуктивности. Взаимосвязь фотосинтеза, дыхания, транспорта ассимилятов, роста и урожая. Гетеротрофная фиксация CO<sub>2</sub>. Взаимосвязь фотосинтеза и фиксации атмосферного азота у цианобактерий.

Светокультура растений. Биотехнология фотоавтотрофных биосинтезов на основе культуры одноклеточных водорослей. Фотосинтез и создание замкнутых систем жизнеобеспечения.

Фотосинтез и продукционный процесс в биосфере. Депонирование продуктов фотосинтеза в экосистемах.

### ***Тема 9. Эволюция фотосинтеза***

Условия происхождения анакисигенного фотосинтеза. Появление окисгенных фототрофов. Происхождение хлоропластов. Эндосимбиотрофия. Эволюция энергетических систем клеток. Эволюция фотосистем. Эволюция

ферментов и метаболических систем. Перспективы изменения фотосинтезирующих организмов в условиях глобальных климатических изменений.

## **2. Темы семинарских занятий**

- 1) Пигментные системы фотоавтотрофов.
- 2) Мезоструктура фотосинтетического аппарата
- 3) Фотосинтетический метаболизм углерода
- 4) Эволюция фотосинтеза

## **3. Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы**

1. Дайте определение процессу фотосинтеза.
2. Объясните особенности понятия оксигенная фотоавтотрофия.
3. Какие организмы являются фотоавтотрофами?
4. Что такое фотосинтетический аппарат?
5. Назовите уровни организации фотосинтетического аппарата растений.
6. Нарисуйте схему функционального взаимодействия клеточных компартов при фотосинтезе и фотодыхании. Укажите уровни такого взаимодействия.
7. Составьте и заполните таблицу сходства и различий ядерного, пластидного и митохондриального геномов растений.
8. Приведите классификацию пластидных генов.
9. Покажите примеры взаимодействия пластидного и ядерного геномов.
10. Укажите особенности организации пластидных ДНК.
11. Как устроена белоксинтезирующая система хлоропластов?
12. Какие типы пластид вам известны? Какие функции они выполняют?
13. Что такое хроматофоры? Какова их организация.
14. Что такое пиреноид? Каковы его функции?
15. Каковы особенности мембранной организации хлоропластов?
16. В чем выражается гетерогенность мембран пластид?

17. Докажите, что фотосинтетические мембраны асимметричны.
18. Назовите основные белковые комплексы мембран хлоропластов.
19. Что такое тилакоид? Какова его пространственная организация?
20. Какие типы мембран различают в хлоропласте?
21. Назовите особенности разных мембран хлоропласта.
22. Почему лист зеленый?
23. Какие части солнечного спектра и при участии каких фотосенсибилизаторов используются при фотосинтезе?
24. Назовите основные фотосинтетические пигменты.
25. Какие пигменты относят к добавочным?
26. Каковы функции каротиноидов?
27. Какие фикобилины распространены в разных отделах водорослей и цианобактериях?
28. Что такое фикобилисомы? Как они организованы?
29. Какой механизм миграции энергии света имеет место в антенных комплексах?
30. Назовите основные процессы, происходящие в реакционном центре фотосистем.
31. Что такое феофитин? Какова его роль при фотосинтезе?
32. Дайте характеристику фотосистемы I.
33. Дайте характеристику фотосистемы II.
34. Покажите сопряженное действие двух фотосистем.
35. Чем представлена электронтранспортная цепь фотосинтеза?
36. Дайте характеристику цитохромному комплексу.
37. Назовите периферические переносчики электронов при фотосинтезе.
38. Назовите интегральные белки, участвующие в переносе электронов в фотосинтетических мембранах.
39. Какие их липофильных переносчиков участвуют в световых реакциях фотосинтеза?
40. Расскажите о фотофизических процессах световой фазы фотосинтеза.

41. Дайте характеристику фотохимических процессов фотосинтеза.
42. какие фотоэнергетические реакции осуществляются в хлоропластах?
43. Охарактеризуйте циклический поток электронов.
44. Покажите, как осуществляется нециклический поток электронов.
45. Что является донором электронов при циклическом их переносе?
46. Каковы доноры электронов при нециклическом переносе?
47. Что является терминальным акцептором электронов при нециклическом переносе электронов?
48. Что является терминальным акцептором электронов при псевдоциклическом переносе электронов?
49. Какие типы фотофосфорилирования Вы знаете? С какими процессами они сопряжены?
50. Как был расшифрован метаболизм углерода при фотосинтезе?
51. Назовите основные фазы цикла Кальвина-Бэнсона.
52. Дайте характеристику основным ферментам цикла Кальвина-Бэнсона.
53. назовите первичные продукты фотосинтеза. Как они образуются?
54. В каких случаях в хлоропласте накапливается крахмал?
55. В какой форме продукты фотосинтеза транспортируются через мембрану хлоропласта?
56. Где осуществляется синтез сахарозы?
57. Какие ферменты катализируют образование сахарозы и крахмала?
58. Каковы основные транспортные формы ассимилятов в растении?
59. Почему в молодых не полностью дифференцированных клетках мезофилла преобладают альтернативные пути фотосинтетического метаболизма углерода?
60. Проведите сравнение ферментов РуБФК и ФЕПК.
61. Найдите черты сходства и различия в поглощении углекислоты С-4 и САМ растениями.
62. В чем причины крахмального ингибирования фотосинтеза?

63. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакции, катализируемые РБФК/О
64. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакции, катализируемые ФЕПК и ААТ у С-4 растений
65. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакцию образования акцептора  $\text{CO}_2$  у С-4 растений в клетках мезофилла, назовите фермент
66. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакцию образования акцептора  $\text{CO}_2$  у САМ растений ночью, назовите фермент
67. Запишите транскетолазные реакции цикла Кальвина
68. Запишите альдолазные реакции цикла Кальвина
69. Что такое фотодыхание и как оно связано с эффектом Варбурга?
70. Какова роль фотодыхания в растениях?
71. Напишите реакции гликолатного пути фотосинтеза, идущие в хлоропласте.
72. Напишите реакции гликолатного пути фотосинтеза, идущие в пероксисоме.
73. Напишите реакции гликолатного пути фотосинтеза, идущие в митохондри.
74. Составьте схемы стехиометрии цикла Кальвина-Бэнсона.
75. Рассчитайте энергетическую эффективность совместного протекания фотосинтеза и фотодыхания.
76. Какова эффективность усвоения ФАР в естественных и агрофитоценозах?
77. Почему УКП неодинаков у С-3 и С-4 растений?
78. Почему СКП неодинаков у светолюбивых и теневыносливых растений?
79. Какие регуляторные системы обеспечивают «лиственную мозаику» у растений?
80. Найдите отличия структурно-функциональной организации фотосинтетического аппарата светолюбивых и теневыносливых растений.
81. Какие изменения в структуре фотосинтетического аппарата и его функ-

ционировании могут быть вызваны длительной и кратковременной засухой?

82. Как изменяет состояние устьиц накопление в замыкающих клетках ассимилятов?

83. Как изменяет состояние устьиц накопление в замыкающих клетках АБК и калия? Каковы механизмы действия этих факторов в регуляции устьичных движений?

84. Какие виды сопротивлений диффузии  $\text{CO}_2$  вам известны?

85. Назовите экзогенные факторы, регулирующие диффузионные сопротивления.

86. Какие экзогенные факторы влияют на величину сопротивления диффузии  $\text{CO}_2$ ?

87. Что такое явление хроматической адаптации?

88. Чем бактериальный фотосинтез отличается от фотосинтеза растений?

89. Каковы отличия фотосинтеза цианобактерий от других бактерий?

90. Укажите основные направления современной биотехнологии на основе растительных клеток в связи с функцией фотосинтеза.

91. Что такое светокультура?

92. Как оптимизировать усвоение ФАР растениями?

93. Какова роль растений в создании замкнутых систем жизнеобеспечения?

94. Назовите экзогенные факторы оптимизации фотосинтеза при выращивании растений в закрытом и открытом грунте.

95. Когда в истории Земли появился кислородный фотосинтез?

96. Каким представляется происхождение хлоропластов?

97. Какие взаимопревращения пластид имеют место в листьях растений?

98. В чем причины возникновения C-4 и САМ-типов фотосинтеза в истории Земли?

99. Каковы основные направления эволюции фотосинтетического метаболизма?

100. Каковы перспективы изменения фотосинтетического аппарата растений и их функционирования в условиях глобального изменения климата?

Выполнение этих заданий позволит студентам осуществить самоконтроль в процессе изучения курса и при подготовке к коллоквиумам и экзамену. Дополнительно к выполнению этих заданий рекомендуется выполнить приведенный ниже тест.

### **Тест для самоконтроля по спецкурсу "фотосинтез"**

1. Для мембран хлоропластов не характерна: 1) динамичность структуры  
2) симметрия поверхности 3) гетерогенность химического строения  
4) избирательная проницаемость 5) многофункциональность
2. Ксероморфная структура листьев характеризуется: 1) мелкими клетками, большой поверхностью 2) крупными клетками малой поверхностью 3) крупными клетками, большой поверхностью 4) мелкими клетками, малой поверхностью
3. Гидрофильные свойства молекулы хлорофилла обусловлены: 1) фитолом, порфирином, металлорганической связью 2) метанолом, фитолом, порфирином 3) метанолом, порфирином 4) порфирином, металлорганической связью
4. Гидрофобные свойства хлорофилла обусловлены: 1) фитолом, порфирином, 2) метанолом, фитолом, порфирином 3) метанолом, фитолом 4) фитолом
5. При взаимодействии хлорофилла с соляной кислотой образуются:  

---
6. При облучении синим светом хлорофилл флуоресцирует в области спектра: 1) красной 2) желтой 3) сине-фиолетовой 4) ультрафиолетовой 5) инфракрасной
7. При биосинтезе хлорофилла свет необходим на этапе:  

---

8. Первое синглетное состояние молекулы хлорофилла связано с поглощением кванта \_\_\_\_\_ света

9. Второе синглетное состояние молекулы хлорофилла связано с поглощением кванта \_\_\_\_\_ света

10. Реакция Хилла демонстрирует процесс \_\_\_\_\_

11. Эффект Эмерсона является доказательством \_\_\_\_\_

12. При циклическом фосфорилировании кислород \_\_\_\_\_, НАДФ\*Н \_\_\_\_\_, АТФ \_\_\_\_\_, участвует \_\_\_\_\_ фотосистема

13. При нециклическом фосфорилировании кислород \_\_\_\_\_, НАДФ\*Н \_\_\_\_\_, АТФ \_\_\_\_\_, участвует \_\_\_\_\_ фотосистема

14. Терминальным акцептором при циклическом переносе электронов является \_\_\_\_\_

15. Терминальным акцептором при нециклическом транспорте электронов является \_\_\_\_\_

16. После выключения света в листе: 1) увеличивается содержание ФГК 2) уменьшается содержание ФГК 3) содержание ФГК не изменяется

17. После выключения света в листе: 1) увеличивается содержание РБФ 2) уменьшается содержание РБФ 3) содержание РБФ не изменяется

18. В цикле Кальвина акцептором  $\text{CO}_2$  является \_\_\_\_\_, продуктом карбоксилирования \_\_\_\_\_, продуктом восстановления \_\_\_\_\_, продуктом стадии регенерации \_\_\_\_\_

19. При первичной фиксации  $\text{CO}_2$  у С-4 растений акцептором  $\text{CO}_2$  является \_\_\_\_\_, продуктом карбоксилирования \_\_\_\_\_,



- продуктом восстановления \_\_\_\_\_, продуктом  
стадии регенерации \_\_\_\_\_
20. У С-4 НАДФ-малокэнзимных растений в клетки обкладки из клеток мезофилла транспортируется \_\_\_\_\_, а в клетки мезофилла из обкладки \_\_\_\_\_
21. У САМ растений ночью происходит \_\_\_\_\_ рН за счет накопления \_\_\_\_\_ в \_\_\_\_\_
22. Синтез сахарозы при фотосинтезе происходит в: 1) строме хлоропласта  
2) тилакоидах хлоропласта 3) цитоплазме 4) аппарате Гольджи  
5) матриксе митохондрий 6) на мембранах ЭПР
23. Синтез крахмала при фотосинтезе осуществляется в:  
1) строме хлоропласта 2) тилакоидах хлоропласта 3) цитоплазме  
4) аппарате Гольджи 5) матриксе митохондрий
24. При повышении содержания  $\text{CO}_2$  выше 10% фотосинтез: 1) возрастает  
2) снижается 3) такой же, как при 1%  $\text{CO}_2$
25. Увеличению фотодыхания способствует: 1) высокая концентрация  $\text{O}_2$  2)  
высокая концентрация  $\text{CO}_2$  3) высокая концентрация углеводов в клетках  
4) низкая концентрация  $\text{O}_2$  5) низкая концентрация углеводов в клетках

#### 4. Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Сущность и значение фотоавтотрофии. Этапы развития представлений о фотосинтезе.
2. Космическая роль зеленого растения. Масштабы фотосинтетической деятельности в биосфере. Фотосинтез и проблемы экологии.
3. Методы изучения фотосинтеза.
4. Лист как специализированный орган фотосинтеза. Регуляция устьичных движений.
5. Пластиды. Генезис, взаимопревращения, строение, функции.

6. Характеристика пластидного генома и белоксинтезирующей системы пла-  
стид. Взаимодействие и регуляция ядерно-пластидных отношений.
7. Генезис хлоропластов в фило- и онтогенезе. Общая характеристика фото-  
сенситизаторов. Основные и дополнительные фотосинтетические пигмен-  
ты. Пигментные системы растений. Реакционные центры и ССК.
8. Хлорофиллы. Химическая природа, спектральные свойства. Биосинтез и  
метаболизм. Многообразие форм хлорофиллов.
9. Каротиноиды. Химическая природа, спектральные свойства. Значение.  
Виолоксантиновый цикл.
10. Фикобилипротеины. Химическая природа, спектральные свойства.  
Распространение в разных группах фотоавтотрофов.
11. Молекулярная организация сопрягающих мембран хлоропластов.  
Свойства пластидных мембран.
12. Первичные фотофизические и фотохимические процессы.
13. Структура и функции фотосистемы I и фотосистемы II.
14. Фотосинтетическая электронтранспортная цепь. Циклический и не-  
циклический потоки электронов. Псевдоциклический путь.
15. Фотофосфорилирование. Механизмы. Энергетическая эффективность  
фотосинтеза.
16. Фотоокисление воды, доказательства водного происхождения кисло-  
рода. Структура водоокисляющего комплекса.
17. Фотосинтетический метаболизм углерода. Восстановительный пен-  
тозофосфатный цикл (цикл Кальвина). Ключевые ферменты, локализация и  
регуляция.
18. Первичный синтез углеводов. Альтернативные (неуглеводные) пути  
ассимиляции углерода.
19. Фотодыхание. Гликолатный путь. Эффект Варбурга.
20. C<sub>4</sub>-фотосинтез. Биохимическое и структурное разнообразие – НАД-  
МЭ, НАДФ-МЭ и ФЭП-КК типы.

21. САМ-тип фотосинтетического метаболизма. Экологическая роль  $C_4$  и САМ-типов фотосинтеза. Закономерности распределения растений с разными типами фотосинтеза. Происхождение  $C_4$  и САМ-типов фотосинтеза.
22. Свет как фактор фотосинтеза. Световые кривые. Квантовый выход и квантовый расход фотосинтеза. Фотосинтез и спектральный состав света.
23.  $CO_2$  как фактор фотосинтеза. Субстратная и регуляторная роль  $CO_2$ . Карбоангидраза.
24. Температура и водный режим как факторы фотосинтеза. Дневной ход фотосинтеза.
25. Возрастные изменения фотосинтеза. Роль донорно-акцепторных отношений в регуляции фотосинтеза. Гормональная регуляция фотосинтеза.
26. Теория фотосинтетической продуктивности. Пути оптимизации продукционного процесса. Посев как фотосинтетическая система. Светокультура растений.
27. Биотехнология фотоавтотрофных биосинтезов на основе культуры одноклеточных водорослей. Фотосинтез и создание замкнутых систем жизнеобеспечения.
28. Многообразие типов фотосинтеза у про- и эукариот. Восстановительный цикл ди- и трикарбоновых кислот (цикл Эванса-Арнона). Гетеротрофная фиксация  $CO_2$ .
29. Взаимосвязь фотосинтеза и фиксации атмосферного азота у цианобактерий.
30. Эволюция фотосинтеза.

## Экзаменационные тесты по дисциплине «Фотосинтез»

### Вариант 1

1. Распределите указанные процессы по фазам фотосинтеза. Соедините стрелками столбцы. (напишите соответствующее слово)

образование сахаров

фотолиз воды

фотовозбуждение хлорофилла

ФОТОФИЗИЧЕСКАЯ

восстановление углекислоты

цикл Кальвина

ФОТОХИМИЧЕСКАЯ

образование АТФ

расходование АТФ

БИОХИМИЧЕСКАЯ

восстановление НАДФ

окисление НАДФ\*Н

выделение кислорода

2. Для синтеза 1 молекулы глюкозы требуется: 1; 2; 4; 6; 10; 12 молекул углекислого газа.
3. Темновая фаза фотосинтеза происходит: 1) в строме хлоропласта 2) в цитоплазме 3) в тилакоидах хлоропласта 4) на наружной мембране хлоропласта 5) на поверхности крахмальных зерен
4. Первичным акцептором электронов в фотосистеме II является: 1) тушитель флуоресценции Qa 2) феофетин 3) анион-радикалы хлорофилла A<sub>1</sub> 4) углекислый газ 5) рибулезобисфосфат
5. Пластоцианин - это белок: 1) интегральный 2) полуинтегральный 3) периферический 4) стромальный
6. Исключите из перечня фермент, не имеющий отношения в циклу регенерации акцептора РДФ: 1) альдолаза 2) транскетолаза 3) фосфатаза 4) фосфорибулокиназа 5) АТФ-аза
7. У "аспартатных" C-4 растений по сравнению с "малатными" фотодыхание: 1) выше 2) ниже 3) такое же
8. Гликолатоксидаза катализирует превращение гликолата в: 1) глиоксилат 2) глицин 3) фосфогликолат 4) серин
9. Гидрофильные свойства молекулы хлорофилла обусловлены наличием: 1) фитола, порфирина, 2) метанола, фитола 3) метанола, порфирина 4) металлорганической связи
10. Mn кластер водоокисляющего комплекса содержит атомов Mn: 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4
11. Фикобилисомы локализованы в: 1) цитоплазматическом матриксе 2) на внутренней поверхности цитоплазматической мембраны 3) на наружной поверхности цитоплазматической мембраны 4) в хлоропласте
12. Хилл, Бэндал, Дюйзенс – авторы \_\_\_\_\_ схемы фотосинтеза

13. В процессе растяжения листа число хлоропластов в единице поверхности: 1) увеличивается 2) уменьшается 3) не изменяется
14. Активация глюкозы при синтезе сахарозы осуществляется молекулой \_\_\_\_\_ при участии фермента \_\_\_\_\_
15. При взаимодействии хлорофилла со щелочью образуются \_\_\_\_\_
16. Реакция Хилла демонстрирует процесс \_\_\_\_\_
17. Терминальным акцептором при нециклическом транспорте электронов является \_\_\_\_\_
18. У С-4 НАДФ-маликэнзимных растений в клетки обкладки из клеток мезофилла транспортируется \_\_\_\_\_, а в клетки мезофилла из обкладки \_\_\_\_\_
19. Увеличению фотодыхания способствует: 1) высокая концентрация  $O_2$  2) высокая концентрация  $CO_2$  3) высокая концентрация углеводов в клетках 4) низкая концентрация  $O_2$  5) низкая концентрация углеводов в клетках
20. С увеличением внутренней ассимилирующей поверхности листа диффузионные сопротивления: 1) увеличиваются 2) уменьшаются 3) не изменяются

### Задания с развернутым ответом

21. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакции, катализируемые РБФК/О
22. Какие изменения в структуре фотосинтетического аппарата и его функционировании могут быть вызваны длительной и кратковременной засухой?

### Вариант 2

### ТЕСТ ПО ТЕМЕ "ФОТОСИНТЕЗ"

1. Световая фаза фотосинтеза локализована \_\_\_\_\_, а темновые процессы – в \_\_\_\_\_.
2. При фотосинтезе на каждый моль связанного углекислого газа выделяется: 1; 2; 6; 12 молей кислорода.
3. Наличие множественных форм хлорофиллов в пределах одной группы (например хл а) обусловлено: 1) наличием разных боковых радикалов 2) наличием мономерных или димерных форм 3) взаимосвязью с разными компонентами мембран тилакоидов 4) другими причинами (укажите, какими \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_)
4. Первичным акцептором электронов в ФС1 является: : 1) тушитель флуоресценции  $Q_a$  2) феофетин 3) анион-радикал хлорофилла  $A_1$  4) углекислый газ 5) рибулезобисфосфат

5. Пластохиноны осуществляют связь между комплексом фотосистемы II и \_\_\_\_\_.
6. Триозофосфатизомераза катализирует превращение 3-ФГА в : 1) 3-ФГК 2)ДОАФ 3)2-ФГК 4)ФЕП
7. Первичное карбоксилирование у С-4 растений происходит в клетках: 1)эпидермиса 2)устьиц 3)мезофилла 4) обкладки сосудистых пучков
8. Реакции окисления гликолата при фотодыхании происходят в: 1) цитоплазме 2)хлоропласте 3)пероксисоме 4)глиоксисоме 5) митохондрии
9. Гидрофобные свойства хлорофилла обусловлены наличием: 1) фитола, 2) метанола, 3) порфирина 4) металлорганической связи
10. Компонентом водоокисляющего комплекса не является: 1) Mg 2) Mn 3) Cl 4) Fe
11. Максимум поглощения каротиноидов – в части спектра: 1) красной 2) желтой 3) зеленой 4) синей
12. Соавторами М.Кальвина по расшифровке путей метаболизма углерода при фотосинтезе являлись \_\_\_\_\_ и \_\_\_\_\_.
13. Продукты фотосинтеза транспортируются из хлоропласта в цитоплазму в виде: 1) сахарозы 2) глюкозы 3) ФГА 4) фруктозы
14. Активация глюкозы при синтезе крахмала осуществляется молекулой \_\_\_\_\_ при участии фермента \_\_\_\_\_
15. При облучении синим светом хлорофилл флуоресцирует в области спектра: 1) красной 2) желтой 3) сине-фиолетовой 4) ультрафиолетовой 5) инфракрасной
16. Эффект Эмерсона является доказательством \_\_\_\_\_
17. После выключения света в листе: 1) увеличивается содержание ФГК 2) уменьшается содержание ФГК 3) содержание ФГК не изменяется
18. У САМ растений ночью происходит \_\_\_\_\_ рН за счет накопления \_\_\_\_\_ в \_\_\_\_\_.
19. Превращение глицина в серин при фотодыхании происходит в \_\_\_\_\_ и сопровождается выделением \_\_\_\_\_.
20. Листовой индекс посева - это: \_\_\_\_\_

### Задания с развернутым ответом

21. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакции, катализируемые ФЕПК и ААТ у С-4 растений
22. Космическая роль зеленых растений состоит в \_\_\_\_\_

### Вариант 3

1. Фермент, участвующий в синтезе АТФ на мембранах хлоропластов называется \_\_\_\_\_.
2. Синтез сахарозы при фотосинтезе происходит в: 1) тилакоидах хлоропласта 2) цитоплазме 3) аппарате Гольджи 4) стромах хлоропласта 5) на мембранах ЭПР
3. Разные группы водорослей содержат разные хлорофиллы. Установите соответствие, соединив стрелками понятия 1 и 2 группы:

зеленые водоросли	хл а
бурые водоросли	хл в
красные водоросли	хл с
диатомеи	хл d
цианобактерии	
4. Внутренняя сторона тилакоида, обращенная в люмен, заряжена \_\_\_\_\_.
5. Кислород при фотосинтезе образуется из: 1) углекислого 2) воды 3) углеводов 4) пероксида водорода
6. Первичным акцептором углекислоты у САМ растений является: 1)РБФ 2)ФГК 3)ФЕП 4) ПВК 5) ФГА
7. Вторичному карбоксилированию у САМ растений предшествует работа фермента: 1) ФЕПК 2)ФЕПКК 3)РБФК 4)Малатдегидрогеназы декарбоксилирующей 5)амилазы
8. Источником углекислого газа при фотодыхании является реакция образования: 1) гликолата 2) глиоксилата 3) пирувата 4) серина 5)глицина
9. Каротиноиды не выполняют функцию: 1) поглощения света 2) антиоксидантную 3) передачи энергии резонансно-индуктивным путем 4) разделения зарядов
10. Мембраносвязанная карбоангидраза тилакоидов локализована в 1) ФС1 2) ФС2 3) цитохромном комплексе 4) CF<sub>0</sub>
11. Фикоэритрины имеют максимум поглощения в \_\_\_\_\_ части спектра
12. Метаболической основой фотодыхания является \_\_\_\_\_ путь.
13. Основная транспортная форма сахаров - \_\_\_\_\_.
14. Гидролиз крахмала в хлоропласте осуществляется ферментом \_\_\_\_\_.
15. При биосинтезе хлорофилла свет необходим на этапе: \_\_\_\_\_.
16. При циклическом фосфорилировании кислород \_\_\_\_\_, НАДФ\*Н \_\_\_\_\_, АТФ \_\_\_\_\_, участвует \_\_\_\_\_ фотосистема

17. После выключения света в листе: 1) увеличивается содержание РБФ 2) уменьшается содержание РБФ 3) содержание РБФ не изменяется
  18. Синтез сахарозы при фотосинтезе происходит в: 1) строме хлоропласта 2) тилакоидах хлоропласта 3) цитоплазме 4) аппарате Гольджи 5) на мембранах ЭПР
  19. Углекислотный компенсационный пункт - это концентрация углекислоты, при которой интенсивность фотосинтеза равен
- 
20. Чистая продуктивность фотосинтеза - это:
- 
- 

### Задания с развернутым ответом

21. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакцию образования акцептора  $\text{CO}_2$  у С-4 растений в клетках мезофилла, назовите фермент
22. Найдите отличия структурно-функциональной организации фотосинтетического аппарата светолюбивых и теневыносливых растений.

### Вариант 4

1. Реакции образования АТФ называют \_\_\_\_\_.
  2. Синтез крахмала при фотосинтезе осуществляется в: 1) строме хлоропласта 2) тилакоидах хлоропласта 3) цитоплазме 4) аппарате Гольджи 5) на мембранах ЭПР
  3. Красные водоросли содержат: 1) фикоэритрин 2) фикоцианин 3) фукоксантин 4) аллофикоцианин
  4. Фактор  $\text{CF}_1$  АТФ-синтетазы располагается на \_\_\_\_\_ стороне мембраны тилакоидов.
  5. Укажите фазы восстановительного пентозофосфатного пути.
- 
6. Первичным акцептором углекислоты у С-4 растений является: 1) РБФ 2) ФГК 3) ФЕП 4) ПВК 5) ФГА
  7. С-4 и САМ типы фотосинтеза имеют адаптивное значение для растений: 1) гидрофитов 2) гигрофитов 3) мезофитов 4) ксерофитов 5) суккулентов
  8. РБФК/О катализирует реакцию образования: 1) РБФ 2) ФГК и глиоксилата 3) ФГК и гликолата 4) ФГК и фосфогликолата 5) фосфогликолата и глиоксилата
  9. Белок D1 является компонентом 1) ФС1 2) ФС2 3) цитохромного комплекса 4) водоокисляющего комплекса



10. Активность карбоангидразы обуславливает компонент сопротивления диффузии  $\text{CO}_2$ : 1)  $r_a$  2)  $r_s$  3)  $r_{mc}$  4)  $r_{md}$
11. Фикоцианобилины имеют максимум поглощения в \_\_\_\_\_ части спектра
12. ИМК – это индекс \_\_\_\_\_, который определяется как \_\_\_\_\_  
Фотосинтетический Q-цикл осуществляется при участии молекул \_\_\_\_\_ и компонентов \_\_\_\_\_ комплекса.
13. Первое синглетное состояние молекулы хлорофилла связано с поглощением кванта \_\_\_\_\_ света
14. При нециклическом фосфорилировании кислород \_\_\_\_\_, НАДФ\*Н \_\_\_\_\_, АТФ \_\_\_\_\_, участвует \_\_\_\_\_ фотосистема
15. В цикле Кальвина акцептором  $\text{CO}_2$  является \_\_\_\_\_, продуктом карбоксилирования \_\_\_\_\_, продуктом восстановления \_\_\_\_\_, продуктом стадии регенерации \_\_\_\_\_
16. Световой компенсационный пункт - это концентрация углекислоты, при которой фотосинтез равен \_\_\_\_\_.
17. Листовой индекс – это \_\_\_\_\_, диапазон его оптимальных значений - от \_\_\_\_\_ до \_\_\_\_\_.
18. Увеличению фотодыхания способствует: 1) высокая концентрация  $\text{O}_2$  2) высокая концентрация  $\text{CO}_2$  3) высокая концентрация углеводов в клетках 4) низкая концентрация  $\text{O}_2$  5) низкая концентрация углеводов в клетках
19. Превращение глицина в серин при фотодыхании происходит в \_\_\_\_\_ и сопровождается выделением \_\_\_\_\_.

### Задания с развернутым ответом

20. Напишите, используя структурные формулы соединений, реакцию образования акцептора  $\text{CO}_2$  у САМ растений ночью, назовите фермент
21. В чем причины крахмального ингибирования фотосинтеза?

## Вариант 5

1. При фотосинтезе различают типы фосфорилирования:  
\_\_\_\_\_
2. Световая фаза фотосинтеза осуществляется: 1) в строме хлоропласта  
2) в тилакоидах хлоропласта 3) на наружной мембране хлоропласта  
4) на поверхности крахмальных зерен 5) в цитоплазме
3. Окисление хлорофилла при фотосинтезе происходит при переходе электрона с уровня: 1) стационарного 2) первого синглетного 3) второго синглетного 4) триплетного
4. Фактор  $CF_0$  АТФ-синтетазы локализован в \_\_\_\_\_
5. Укажите исходные субстраты и конечные продукты второй фазы ВПФП  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
6. В клетках С-3 растений отсутствует фермент: 1) ФЕПкарбоксилаза  
2) ФЕПкарбоксикиназа 3) малатдегидрогеназа  
4) пируватотфосфаткиназа 5) транскетолаза
7. Энергетические затраты на синтез углеводов при наличии активного фотодыхания: 1) растут 2) уменьшаются 3) не изменяются
8. Окисление гликолата в глиоксилат осуществляет фермент: 1) гликолатфосфатаза 2) гликолатдегидрогеназа 3) гликолатоксидаза 4) гликолатоксигеназа
9. Белок D2 является компонентом 1) ФС1 2) ФС2 3) цитохромного комплекса 4) водоокисляющего комплекса
10. Фикобилисомы имеются у: 1) хлореллы 2) сценедесмуса 3) арабидопсиса 4) спирулины
11. Донором электронов при псевдоциклическом потоке электронов является \_\_\_\_\_, а терминальным акцептором - \_\_\_\_\_
12. ИМХ – это индекс \_\_\_\_\_, который определяется как \_\_\_\_\_
13. Транзиторный крахмал – это крахмал, локализованный в \_\_\_\_\_
14. При взаимодействии хлорофилла с соляной кислотой образуются: \_\_\_\_\_
15. Второе синглетное состояние молекулы хлорофилла связано с поглощением кванта \_\_\_\_\_ света
16. Терминальным акцептором при циклическом переносе электронов является \_\_\_\_\_

17. При первичной фиксации  $\text{CO}_2$  у C-4 растений акцептором  $\text{CO}_2$  является \_\_\_\_\_, продуктом карбоксилирования \_\_\_\_\_, продуктом восстановления \_\_\_\_\_, продуктом стадии регенерации \_\_\_\_\_
18. При повышении содержания  $\text{CO}_2$  выше 10% фотосинтез: 1) возрастает 2) снижается 3) такой же, как при 1%  $\text{CO}_2$
19. Укажите основные виды сопротивлений диффузии  $\text{CO}_2$ : \_\_\_\_\_
20. По химической природе P700 это - \_\_\_\_\_ форма пигмента \_\_\_\_\_

### Задания с развернутым ответом

21. Почему лист зеленый? Какие части солнечного спектра и при участии каких фотосенсибилизаторов используются при фотосинтезе?
22. Почему в молодых не полностью дифференцированных клетках мезофилла преобладают альтернативные пути фотосинтетического метаболизма углерода?

### Вариант 6

- Для синтеза 1 молекулы глюкозы требуется: 1; 2; 4; 6; 10; 12 молекул углекислого газа.
- Темновая фаза фотосинтеза происходит: 1) в строме хлоропласта 2) в цитоплазме 3) в тилакоидах хлоропласта 4) на наружной мембране хлоропласта 5) на поверхности крахмальных зерен
- Первичным акцептором электронов в фотосистеме II является: 1) тушитель флуоресценции Qa 2) феофетин 3) анион-радикалы хлорофилла  $A_1$  4) углекислый газ 5) рибулезобисфосфат
- Пластоцианин - это белок: 1) интегральный 2) полуинтегральный 3) периферический 4) стромальный
- Гидрофобные свойства хлорофилла обусловлены наличием: 1) фитола, 2) метанола, 3) порфирина 4) металлорганической связи
- Компонентом водоокисляющего комплекса не является: 1) Mg 2) Mn 3) Cl 4) Fe
- Максимум поглощения каротиноидов – в части спектра: 1) красной 2) желтой 3) зеленой 4) синей
- Соавторами М.Кальвина по расшифровке путей метаболизма углерода при фотосинтезе являлись \_\_\_\_\_ и \_\_\_\_\_.
- Гидролиз крахмала в хлоропласте осуществляется ферментом \_\_\_\_\_

10. При биосинтезе хлорофилла свет необходим на этапе:  
\_\_\_\_\_
11. При циклическом фосфорилировании кислород \_\_\_\_\_, НАДФ\*Н \_\_\_\_\_, АТФ \_\_\_\_\_, участвует \_\_\_\_\_ фотосистема \_\_\_\_\_
12. После выключения света в листе: 1) увеличивается содержание РБФ 2) уменьшается содержание РБФ 3) содержание РБФ не изменяется
13. Световой компенсационный пункт - это концентрация углекислоты, при которой фотосинтез равен \_\_\_\_\_.
14. Листовой индекс – это \_\_\_\_\_, диапазон его оптимальных значений - от \_\_\_\_\_ до \_\_\_\_\_.
15. Увеличению фотодыхания способствует: 1) высокая концентрация  $O_2$  2) высокая концентрация  $CO_2$  3) высокая концентрация углеводов в клетках 4) низкая концентрация  $O_2$  5) низкая концентрация углеводов в клетках
16. Донором электронов при псевдоциклическом потоке электронов является \_\_\_\_\_, а терминальным акцептором - \_\_\_\_\_
17. ИМХ – это индекс \_\_\_\_\_, который определяется как \_\_\_\_\_
18. Транзиторный крахмал – это крахмал, локализованный в \_\_\_\_\_
19. При взаимодействии хлорофилла с соляной кислотой образуются: \_\_\_\_\_
20. Второе синглетное состояние молекулы хлорофилла связано с поглощением кванта \_\_\_\_\_ света

### Задания с развернутым ответом

21. Напишите последовательно, начиная с 3-ФГК уравнения реакции образования аланина в альтернативных путях фотосинтеза
22. Найдите черты сходства и различия в поглощении углекислоты С-4 и САМ растениями.

**III. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ КУРСА ПО ТЕМАМ И ВИДАМ РАБОТ**

№ п/п	Наименование разделов и тем	ВСЕ- ГО (часов)	Аудиторные занятия (час)		Самостоя- тельная работа
			в том числе		
			Лекции	Семинары	
1.	Введение	2	2		
2.	Структурная основа фотосинтеза	12	6	2	4
3.	Фотосинтетические пигменты	10	4	2	4
4.	Молекулярная организация фотосинтетических мембран	8	4		4
5.	Световая фаза фотосинтеза. Фотофизические и фотохимические реакции фотосинтеза	8	4		4
6.	Темновая фаза фотосинтеза. Биохимические реакции фотосинтеза	14	8	2	4
7.	Экология фотосинтеза	8	4		4
8.	Фотосинтез и продукционный процесс	8	4		4
9.	Эволюция фотосинтеза	10	4	2	4
	<b>ИТОГО:</b>	<b>80</b>	<b>40</b>	<b>8</b>	<b>32</b>

## **II. ФОРМА ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ**

По завершении курса студенты сдают экзамен. Допуск к экзамену – посещение семинаров, положительная оценка работы на семинарах. Экзамен проходит в 2 этапа: 1 – тестирование, 2 – устное собеседование по билетам. Ко второму этапу допускаются студенты, успешно прошедшие тестирование.

## **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА**

### **1. Рекомендуемая литература**

#### **Основная**

1. Борзенкова Р.А., Храмцова Е.В. Изучение мезоструктуры фотосинтетического аппарата листа. Руководство к практическим занятиям. УрГУ, Екатеринбург. 2006.
2. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу / Под ред. Ермакова И.П. М.: Издательский центр «Академия». 2003. 256 с.
3. Горышина Т.К. Фотосинтетический аппарат растений и условия среды. Л, Изд-во Ленинградского университета. 1989.
4. Ленинджер А. Биохимия (в 3-х томах). М., Мир, 1974, 1976, 1992.
5. Мокроносов А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. М, Наука. 1981.
6. Мокроносов А.Т. Фотосинтетическая функция и целостность растительного организма. М, Наука, 1983.
7. Мокроносов А.Т., Гавриленко В.Ф. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты. М., Высшая школа. 1992.
8. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения. М, Агропромиздат. 1989.
9. Фотосинтез.(в 2-х томах). Под редакцией Говинджи. М., Мир. 1986.
10. Эдвардс Дж., Уокер Д. Фотосинтез  $C_3$ - и  $C_4$ -растений: механизмы и регуляция.

## Дополнительная

1. Андрианова Ю. Е., Тарчевский И. А. Хлорофилл и продуктивность растений. М., Наука, 2000.
2. Атлас ультраструктуры растительных тканей. Петрозаводск, 1980.
3. Белл Л.Н. Энергетика фотосинтезирующей клетки. М., Наука, 1980.
4. Биосфера. Эволюция, пространство, время. Под ред. Р. У. Симса, Дж. Прайса, П.Э.С. Уэлли. М., Прогресс, 1988.
5. Вознесенский В.Л. Фотосинтез пустынных растений. Л., Наука, 1977.
6. Гамалей Ю.В. Флоэма листа. Л., Наука, 1990.
7. Гамалей Ю.В. Эндоплазматическая сеть растений. Происхождение, структура и функции. С-Петербург, Наука. 1994.
8. Гамалей Ю.В. Эндоплазматическая сеть растений. Происхождение, структура и функции. 53-е Тимирязевское чтение. С-Пб., 1994.
9. Глобальное потепление. Доклад Гринпис. Под ред. Дж. Леггета. М., Изд. Московского университета, 1993.
10. Головки Т.К. Дыхание растений. С-Петербург, Наука. 1999.
11. Изотопы и радиация в сельском хозяйстве. Под ред. В.В.Рачинского. М., Агропромиздат, 1989.
12. Курсанов А.Л. Транспорт ассимилятов в растении. М., Наука, 1976.
13. Лархер В. Экология растений. М., Мир, 1978.
14. Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М, Мир, 1983.
15. Николос Д. Биоэнергетика. Введение в хемиосмотическую теорию. М., Мир, 1985.
16. Новые направления в физиологии растений. под ред. А.Л.Курсанова, М., Наука, 1985.
17. Роун Ш. Озоновый кризис. М., Мир, 1993.
18. Чиков В.И. Фотосинтез и транспорт ассимилятов. М., Наука, 1987.
19. Шульгин И.А. Растение и солнце. Л., Гидрометеиздат, 1973.
20. Юсуфов А.Г. Лекции по эволюционной физиологии растений. М., высшая школа, 1986.

21. C4 Plant Biology. Eds. Sage R., Monson R.K., N-Y., Academic Press, 1999.
22. Inherent Variation in Plant Growth. Physiological Mechanisms and Ecological Consequences. Eds. Lambers H., Poorter H., van Vuuren M. M. I., Backhuys Publishers, 1998.
23. Lambers H., Chapin III F. S., Pons T. Plant Physiological Ecology, N-Y., Springer, 1998.
24. Photosynthesis: Mechanisms and Effects. Ed. G. Garab. Proceedings of the Xith International Congress on Photosynthesis, Budapest, Hungary, August 17-22, 1998.
25. Physiological Plant Ecology I. Responses to Physical Environment. Eds. Lange O. L., Nobel P. S., Osmond C. B., Ziegler H. Berlin, Springer, 1981.
26. Variation in Leaf Structure. An Ecophysiological Perspectives. Eds. Garnier E., Farrar J. F., Poorter H., Dale J. E. New Phytologist (special issue) 1999, 143, N 1.
27. Walker D. Energy, Plants and Man. Sheffield, Robert Hill Institute, 1993.

## **VI. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

- Лаборатория физиологии и биохимии растений
- Изотопная лаборатория фотосинтеза
- База данных по структуре фототрофных клеток листьев растений, система анализа компьютерных изображений клеток и тканей растений «SIAMS» в комплекте с цифровой видеокамерой и компьютером
- Интернет-сайты:
- Мультимедийный проектор, ноутбук.