



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

УТВЕРЖДЕНО

на заседании Ученого совета БИН РАН
протокола № 8 от «01» июня 2015

Директор БИН РАН,

д.б.н., проф.

В.Т.Ярмишко



Рабочая программа дисциплины по выбору (Б1.В.ДВ.1.1)
**«СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ»**

по направлению подготовки кадров высшей квалификации –
программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

06.06.01 «Биологические науки»

профиль 03.01.05 - «Физиология и биохимия растений»

Санкт-Петербург
2015

Составитель рабочей программы:

Войцеховская Ольга Владимировна., к.б.н., с.н.с. лаб. экологической физиологии БИН РАН.

ДИСЦИПЛИНА «Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата высших растений»

Профиль 03.01.05 - «Физиология и биохимия растений»

Цикл дисциплин (по учебному плану): Б1.В.ДВ.1.1

Курс: 2 курс

Трудоёмкость в ЗЕТ - 3

Трудоёмкость в часах - 108

ПРЕДИСЛОВИЕ

Рабочая программа дисциплины «Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата высших растений» (Б1.В.ДВ.1.1) разработана на основе паспорта научной специальности 03.02.01 – «Физиология и биохимия растений» и составлена на основании Федеральных государственных образовательных стандартов основных образовательных программ высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 06.06.01 Биологические науки, в соответствии с учебным планом подготовки аспирантов в БИН РАН и с Программой-минимум кандидатского экзамена по специальности 03.02.01 – «Физиология и биохимия растений».

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели изучения дисциплины «Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата высших растений»:

- получение фундаментальных знаний о различных уровнях организации фотосинтетического аппарата высших растений, о механизмах и регуляции процессов биосинтеза и деградации его основных компонентов;
- получение фундаментальных знаний о методах исследования фотосинтетического аппарата и процесса фотосинтеза и о новейших открытиях в данной области.

Задачи дисциплины:

- сформировать представление об основных научных проблемах и дискуссионных вопросах в данной области физиологии и биохимии растений;
- сформировать представление о спектре современных методов, применяемых для всестороннего изучения процесса фотосинтеза у высших растений;
- подготовить аспирантов к применению полученных знаний при осуществлении собственных исследований.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

2.1. Учебная дисциплина «Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата высших растений» входит в вариативную часть ООП по направлению 06.06.01 Биологические науки, профиль 03.02.01 – «Физиология и биохимия растений».

2.2. Для изучения данной дисциплины необходимы знания по физиологии и биохимии растений, ботанике, биофизике, биоорганической химии и биологической статистике в объеме программы высшего профессионального образования.

2.3. Знания и навыки, полученные аспирантами при изучении данного курса, необходимы при подготовке к кандидатскому экзамену по специальности, а также при подготовке и написании

научно-квалификационной диссертационной работы по специальности 03.02.01 — «Физиология и биохимия растений».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата высших растений» направлено на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП по направлению 06.06.01 Биологические науки, профили: 03.01.05 - «Физиология и биохимия растений».

3.1. Универсальные компетенции:

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

3.3. Профессиональные компетенции:

- готовность использовать полученные знания в области биологических наук, соответствующей избранному профилю обучения, для решения собственных исследовательских задач, включая постановку проблемы, формирование целей, выбора методов исследования и проведения анализа (ПК-2).

3.4. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны

знать:

- о современных структурно-функциональных моделях фотосинтетических пигмент-белковых комплексов (ПБК), об их организации в тилакоидных мембранах хлоропластов, о генах, кодирующих ключевые компоненты ПБК и их регуляции, о механизмах биосинтеза и деградации хлорофилла, о процессах сборки и репарации ПБК в хлоропластах;
- о механизмах и путях преобразования энергии в фотосинтезе, путях транспорта электронов в мембранах хлоропластов, механизмах фотозащиты;
- о способах фиксации углекислоты и биохимических путях превращений углерода в фотосинтезе у различных групп высших растений, о свойствах и регуляции ферментов, осуществляющих биохимические реакции этих процессов;
- о взаимодействии пластидного и ядерного геномов;

уметь:

- применять полученные представления о диапазоне возможностей современных методов исследований фотосинтеза при разработке стратегий решения собственных исследовательских задач.

владеть:

— навыком использования освоенной терминологии в личной научно-исследовательской работе

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

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

Форма обучения — очная, заочная, 2-й год аспирантуры; вид отчетности — зачёт

Вид учебной работы	Объем часов / зачетных единиц
--------------------	----------------------------------

Трудоемкость изучения дисциплины	108/3
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)	18/0,5
в том числе:	
-лекции	12
-семинары	0
-практические занятия	6
Самостоятельная работа аспиранта (всего)	90/2,5
в том числе:	
-Подготовка к практическим занятиям	9
-Подготовка реферата	0
-Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку	54

4.2. Объем дисциплины и виды учебной работы (в часах и зачетных единицах)

№ п/п	Название раздела дисциплины	Объем часов / зачетных единиц	
		лекции/ практические занятия	самостоят. работа
1	Пигмент-белковые комплексы – компоненты фотосинтетического аппарата высших растений.	3	24
2	Пигменты фотосинтетического аппарата высших растений и методы их исследования.	2	24
3	Супрамолекулярная организация фотосинтетического аппарата в тилакоидных мембранах.	2	-
4	Поглощение света и преобразования энергии в фотосинтезе.	2	-
5	Транспорт электронов в тилакоидных мембранах. Механизмы фотозащиты.	3	-
6	Механизмы фиксации CO ₂ и пути углерода в фотосинтезе. Фотодыхание.	3	24
7	Импорт белков в хлоропласты.	1	-
8	Взаимодействие пластидного и ядерного геномов.	2	18
	ИТОГО:	18/0.5	90/2.5

4.3. Содержание лекционных занятий.

Тема 1. Пигмент-белковые комплексы – компоненты фотосинтетического аппарата высших растений.

Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата бактерий и хлоропластов. Современные модели структурной организации реакционных центров бактерий и высших растений. Компоненты электрон-транспортной цепи. Типы антенн растений, их структура и состав. Комплекс фотолиза воды. АТФ-синтетаза тилакоидных мембран.

Тема 2. Пигменты фотосинтетического аппарата высших растений и методы их исследования.

Строение хлорофиллов, их биосинтез и распад. Ферменты, осуществляющие реакции биосинтеза хлорофиллов, их компартментация в клетке и регуляция. Строение и биосинтез каротиноидов. Ферменты, осуществляющие реакции биосинтеза каротиноидов, их компартментация в клетке и регуляция.

Тема 3. Супрамолекулярная организация фотосинтетического аппарата в тилакоидных мембранах.

Трехмерная организация внутренней мембраны хлоропластов. Латеральная гетерогенность распределения ПБК в тилакоидных мембранах. Стэкинг гранальных мембран и обуславливающие его силы. Методы исследования макроструктуры фотосинтетического аппарата: электронная микроскопия высокого разрешения, атомно-силовая микроскопия, метод замораживания-скальвания. Суперкомплексы фотосистемы 2 с различным числом компонентов периферической антенны (C_2S_2 , $C_2S_2M_2$). Изменения ультраструктуры хлоропластов и состава суперкомплексов фотосинтетического аппарата в зависимости от световых условий.

Тема 4. Поглощение света и преобразования энергии в фотосинтезе.

Хлорофилл и первичные преобразования энергии света. Различия антенных хлорофиллов и хлорофиллов реакционных центров. Типы реакционных центров. Фотосинтез – окислительно-восстановительный процесс. Квантовая эффективность фотосинтеза. Методы исследования фотосинтеза высших растений, основанные на измерении флуоресценции хлорофилла.

Тема 5. Транспорт электронов в тилакоидных мембранах. Механизмы фотозащиты.

Последовательность переноса электрона по цепи (Z-схема). Циклический, нециклический и псевдоциклический электронный транспорт. Представление о фотосинтетической единице. Переходы между «состоянием 1» и «состоянием 2». «Хлородыхание». Активные формы кислорода (АФК), их образование, токсическое действие и механизмы защиты растений от избытка АФК. Антиоксидантные системы клетки. Разнообразие структурных, молекулярных и биохимических механизмов фотозащиты у растений.

Тема 6. Механизмы фиксации CO_2 и пути углерода в фотосинтезе. Фотодыхание.

Пути углерода в фотосинтезе. Цикл Кальвина. Регуляция РуБисКО. Фотодыхание. Транспортные системы, контролирующие обмен метаболитами между клеточными компартментами. Особенности углеводного метаболизма растений: гексозофосфатный, триозофосфатный и пентозофосфатный пулы, их взаимопревращения. Биосинтез сахарозы и крахмала. Деградация сахарозы и крахмала. Фотосинтез по типу C_4 и САМ. Методы исследования фотосинтеза высших растений, основанные на измерении CO_2 и O_2 . Фотосинтез, дыхание и фотодыхание как компоненты продукционного процесса.

Тема 7. Импорт белков в хлоропласты.

«Сортинг» белков различных клеточных компартментов. Системы импорта белков в хлоропласты: ТОС и ТИС. Роль шаперонов. Механизмы дегградации компонентов хлоропластов и ПБК тилакоидных мембран.

Тема 8. Взаимодействие пластидного и ядерного геномов.

Типы пластид, особенности их строения, онтогенез. Геном пластид и особенности его функционирования. Теория эндосимбиогенеза. Особенности биосинтеза белка в пластидах. Транспортные системы мембран растительной клетки. Транспорт продуктов фотосинтеза из хлоропласта: челночные системы выноса. Механизмы, контролируемые обмен метаболитами между хлоропластами и цитоплазмой клетки. Возможные пути трансдукции редокс-сигнала в хлоропластах.

4.4. Практические занятия.

Тема 1. Пигмент-белковые комплексы – компоненты фотосинтетического аппарата высших растений.

Сравнительное исследование состава пигмент-белковых комплексов тилакоидных мембран хлоропластов ячменя *Hordeum vulgare* L. дикого типа и лишённого хлорофилла *b* мутанта *chlorina 3613* методами нативного и денатурирующего электрофореза и вестерн-блоттинга.

Тема 2. Пигменты фотосинтетического аппарата высших растений и методы их исследования.

Спектрофотометрическое изучение пигментного состава тилакоидных мембран хлоропластов высших растений. Тонкослойная хроматография и ВЭЖХ.

Тема 6. Механизмы фиксации CO₂ и пути углерода в фотосинтезе. Фотодыхание.

Исследование скорости фотосинтетической фиксации CO₂ листьев ряда высших растений с помощью портативного инфракрасного газоанализатора LCA-4 (ADC, Великобритания). Построение «световых кривых» зависимости скорости фиксации CO₂ от уровня фотосинтетически активной радиации (ФАР). Исследование суточной динамики скорости фотосинтетической фиксации CO₂.

4.4. Самостоятельная работа аспиранта

Тема 1. Пигмент-белковые комплексы – компоненты фотосинтетического аппарата высших растений.

Строение антенных комплексов аноксигенных фототрофных бактерий и цианобактерий.

Тема 4. Поглощение света и преобразования энергии в фотосинтезе.

Фотосинтез экстремальных галофильных архей. Опсин и родопсин в сетчатке глаза, рецепция света.

Тема 6. Механизмы фиксации CO₂ и пути углерода в фотосинтезе. Фотодыхание.

Динамика изменения газового состава атмосферы в ходе эволюции фотоавтотрофов. Функции пероксисом в растительной клетке. Фотодыхание. Глиоксилатный цикл. Действие внешних факторов (интенсивность и качество света, фотопериод, концентрация CO₂, O₂, температура и др.) на фотосинтез. Транспорт CO₂ к местам фиксации, роль карбоангидразы. Устьичная и клеточная проводимость для CO₂ в зависимости от внешних факторов и возраста листа.

4.5. Тематика рефератов

Не предусмотрены.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.

Технология процесса обучения аспирантов включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- аудиторные занятия (лекции, практические занятия);
- самостоятельная работа аспирантов;
- контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончании: зачет в 3-ем семестре.

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

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

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

- поиск научной информации в открытых источниках с целью ее анализа и выявления ключевых особенностей исследуемых явлений;
- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы, постановка которых отвечает целям освоения дисциплины;
- решение проблемных задач стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

6.1. Текущий контроль

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

6.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация включает зачет в 3 семестре. Зачет проводится в форме собеседования.

Перечень примерных вопросов к зачету:

1. Динамика изменения газового состава атмосферы в ходе эволюции фотоавтотрофов.
2. Особенности организации пластидного генома растений.
3. Модель реакционного центра фотосистемы 1 высших растений, ее сходство с бактериальными реакционными центрами.
4. Модель реакционного центра фотосистемы 2 высших растений, ее сходство с бактериальными реакционными центрами.
5. Строение комплекса фотолиза воды: современные представления.
6. Синтез АТФ в хлоропластах.
7. Компоненты электрон-транспортной цепи и транспорт электронов (Z-схема).
8. Циклический, нециклический и псевдоциклический электронный транспорт.
9. Хлорофилл-белковые комплексы и различные типы антенн фотоавтотрофов.
10. Биосинтез и распад хлорофилла.
11. Биосинтез каротиноидов, их роль в фотосинтезе.
12. Структурные и биохимические типы C4-фотосинтеза.
13. Цикл Кальвина: история открытия, реакции, регуляция RuBisCO.
14. Фотосинтез по типу C4 и САМ. Критерии C4-фотосинтеза: как определить, фотосинтезирует растение по типу C3 или C4?
15. Пластиды: структурные типы, организация генома, основные биохимические функции
16. Функции пероксисом в растительной клетке. Фотодыхание. Глиоксилатный цикл.
17. Механизмы фотозащиты у растений.

18. Организация углеводного метаболизма растений.
19. Биосинтез и расщепление сахарозы у растений.
20. Биосинтез и распад крахмала у растений.
21. «Сортинг» белков в растительной клетке.
22. Механизмы деградации компонентов матрикса и тилакоидных мембран хлоропластов высших растений.
23. Транспортные системы мембран растительной клетки.
24. Окислительный стресс и антиоксидантные системы клетки.
25. Возможные пути трансдукции редокс-сигнала в хлоропластах.
26. Методы исследования фотосинтеза высших растений, основанные на измерении флуоресценции хлорофилла.
27. Методы исследования фотосинтеза высших растений, основанные на измерении CO₂ и O₂.

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

6.3.1. Критерии оценивания для зачета

Оценка «Зачтено». Систематическое посещение занятий в течение учебного года. Наличие глубоких исчерпывающих знаний (в объеме утвержденной программы дисциплины в соответствии с поставленными программой курса целями и задачами обучения); грамотное и логически стройное изложение материала, усвоение основной и знакомство с дополнительной литературой.

Оценка «Не зачтено». Пропущено значительное количество занятий без уважительной причины. Наличие недостаточно полных знаний (в объеме утвержденной программы), изложение материала с отдельными ошибками, не правильные в целом действия по применению знаний на практике.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература

1. Медведев С. С. Физиология растений: учебник. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 512с.
2. Полевой В.В. Физиология растений. М.: Высшая школа, 1989 г., 464 с.
3. Стадничук И.Н., Тропин И.В. Феномен смены антенны в эволюции оксигенных фотосинтетиков// Фотосинтез: открытые вопросы и что мы знаем сегодня / Ред. С.И. Аллахвердиев и др. - Москва ; Ижевск, 2013. - С. 507-533.
4. Чекунова Е. М.. Генетика биосинтеза хлорофилла: темновой и светозависимый пути. Экологическая генетика. 2010. Т.8.№ 3. с.38-51.
5. Dekker, J.P. and Boekema, E.J. (2005) Supramolecular organization of thylakoid membrane proteins in green plants. Biochim. Biophys. Acta , 1706, 12–39.
6. Wataru Sakamoto, Shin-ya Miyagishima, Paul Jarvis. Chloroplast Biogenesis: Control of Plastid Development, Protein Import, Division and Inheritance. The Arabidopsis Book, Number 6 2008. URL: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1199/tab.0110>
7. Tanaka, A., Ito, H., Tanaka, R., Tanaka, N.K., Yoshida, K., and Okada, K. (1998). Chlorophyll a oxygenase (CAO) is involved in chlorophyll b formation from chlorophyll a. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 95, 12719–12723.
8. Voznesenskaya Elena V., Vincent R. Franceschi, Olavi Kiirats, Helmut Freitag and Gerald E. Edwards. Kranz anatomy is not essential for terrestrial C4 plant photosynthesis. Nature. 2001. Vol 414. № 29. P.543-546.
9. Gerald E. Edwards, and Elena V. Voznesenskaya. C 4 Photosynthesis: Kranz Forms and Single-Cell C 4 in Terrestrial Plants. IN: Agepati S. Raghavendra and Rowan F. Sage (eds.), C4 Photosynthesis and Related CO2 Concentrating Mechanisms, pp. 29–61. © Springer Science+Business Media B.V. 2011

10. Krishna K. Niyogi. Photoprotection Revisited: Genetic and Molecular Approaches. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1999. 50:333–59.
11. Nathan Nelson and Charles F. Yocum. Structure and Function of Photosystems I and II. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2006. 57:521–65.

7.2. Дополнительная литература

1. Heldt H-W. *Plant Biochemistry*. 2011 г. 622 p.
2. Рубин А. Б., Т. Е. Кренделева. Регуляция первичных процессов фотосинтеза. *Успехи биологической химии*, т. 43, 2003, с. 225-266.
3. Voznesenskaya Elena V., Nouria K. Koteyeva, Simon D. X. Chuong, Hossein Akhiani, Gerald E. Edwards, Vincent R. Franceschi. Differentiation of cellular and biochemical features of the single-cell C4 syndrome during leaf development in *Bienertia cycloptera* (Chenopodiaceae). *American Journal of Botany* 92(11): 1784–1795. 2005.
4. Koteyeva Nuria K. , Elena V. Voznesenskaya, Eric H. Roalson and Gerald E. Edwards. Diversity in forms of C 4 in the genus *Cleome* (Cleomaceae). *Annals of Botany* 107: 269 – 283, 2011
5. Hu, Q. Hideaki Miyashita, Ikuko Iwasaki, Norihide Kurano, Shigetoh Miyachi, Masayo Iwaki, and Shigeru Itoh. A photosystem I reaction center driven by chlorophyll d in oxygenic photosynthesis. 1998. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 95, pp. 13319 –13323.
6. Mubarakshina MM, Ivanov BN, Naydov IA, Hillier W, Badger MR, Krieger-Liszkay A. Production and diffusion of chloroplastic H₂O₂ and its implication to signalling. *J Exp Bot.* 2010 Aug;61(13):3577-87.

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

7. 3. Учебно-методические материалы по дисциплине

1. Физиология и биохимия растений: Программы-минимум кандидатских экзаменов / Одобрено экспертным советом ВАК Министерства образования РФ по биологическим наукам; Утверждено приказом Министерства образования и науки РФ № 274 от 08.10.2007 г. М.: Изд-во «Икар», 2004.

7.4. Интернет-ресурсы

№	Ссылка на интернет-ресурс	Компания-производитель
	http://www.ncbi.nlm.nih.gov	БД и ресурсы Национального центра биотехнологической информации США
	http://www.ebi.ac.uk/embl/	БД Европейского института биоинформатики Европейской лаборатории молекулярной биологии
	http://www.viniti.ru/	Реферативный журнал ВИНТИ «Биология»
	http://uisrussia.msu.ru/	Университетская информационная система Россия
	http://www.rsl.ru/	Российская государственная библиотека
	http://www.scopus.com/	SciVerse Scopus
	http://www.elibrary.ru	Научная электронная библиотека РФФИ (Elibrary)
	http://isiwebofknowledge.com/ http://webofknowledge.com/	Thomson Reuters / Web of Knowledge

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

- помещения для проведения занятий, оборудованные комплектом мебели;

- комплект проекционного мультимедийного оборудования;
- компьютеры с доступом к сети Интернет, оснащенные операционной системой Windows и пакетом программ Microsoft Office;
- библиотека с информационными ресурсами на бумажных и электронных носителях;
- офисная оргтехника