



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

ПРИЛОЖЕНИЕ 11 к ООП ВО


УТВЕРЖДЕНО

на заседании Ученого совета БИН РАН

протокол № 7 от 13 мая 2019 года

Директор БИН РАН,

д.б.н.,


Д.В. Гельтман



Рабочая программа дисциплины (Б1.В.ДВ.1.2)

«ЛИПИДЫ ГРИБОВ И РАСТЕНИЙ:

СТРУКТУРНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ, МЕТАБОЛИЗМ, ФУНКЦИИ»

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

2019

Составитель рабочей программы:

*Котлова Екатерина Робертовна, к.б.н., вед.н.с. лаб. аналитической фитохимии
БИН РАН.*

ДИСЦИПЛИНА «Липиды грибов и растений: структурное разнообразие, метаболизм, функции»

Профиль: 03.01.05 Физиология и биохимия растений

Цикл дисциплин (по учебному плану): Б1.В.ДВ.1.2

Курс: 2 курс

Трудоёмкость в ЗЕТ - 3

Трудоёмкость в часах - 108

ПРЕДИСЛОВИЕ

Рабочая программа дисциплины «Липиды грибов и растений: структурное разнообразие, метаболизм, функции» (Б1.В.ДВ.1.2.) разработана 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 профиль 03.01.05 Физиология и биохимия растений, в соответствии с учебным планом подготовки аспирантов в БИН РАН и паспортом научной специальности 03.01.05 - «Физиология и биохимия растений».

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели изучения дисциплины «Липиды грибов и растений: структурное разнообразие, метаболизм, функции»:

- сформировать у студентов целостное представление о структурном разнообразии, путях метаболизма, способах транспорта, локализации и функциях липидов в клетках грибов и растений

Задачи дисциплины:

- выработать навыки работы с основными информационными ресурсами, включающими данные о структурном разнообразии липидов, связанных с их обменом ферментах и аннотированных генах, карты метаболизма, протоколы анализа отдельных классов липидов, жирных кислот, индивидуальных молекулярных видов липидов (липидомика), библиотеки МС-спектров и др.;

- охарактеризовать современные системы классификации липидов;

- рассмотреть особенности локализации липидов в клетках грибов и растений и обсудить причины, обуславливающие их структурное разнообразие и неравномерное распределение;

- сформировать целостное представление о процессе метаболизма основных классов запасных и структурных липидов (последовательность реакций, взаимосвязь различных путей синтеза, механизмы регуляции);

- рассмотреть универсальные и специфические реакции компенсаторного замещения липидов, обсудить регуляторную роль липидов;
- сформировать представление о спектре современных методов, применяемых для качественного и количественного анализа липидов;
- подготовить аспирантов к применению полученных знаний при осуществлении собственных исследований.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Учебная дисциплина «Липиды грибов и растений: структурное разнообразие, метаболизм, функции» входит в вариативную часть ООП по направлению 06.06.01 Биологические науки, профиль 03.02.01 Физиология и биохимия растений.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания по физиологии и биохимии растений, ботанике, микологии, биохимии, молекулярной биологии и биологической статистике, в объеме программы высшего профессионального образования.

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.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Липиды грибов и растений: структурное разнообразие, метаболизм, функции» 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).

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны

знать:

— о структурном разнообразии, принципах компартментализации, процессах метаболизма и функциях липидов;

— о месте липидных молекул в системе регуляции роста, развития и адаптогенеза грибов и растений;

уметь:

— применять полученные в данном курсе знания в своей исследовательской работе.

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, 2-й год аспирантуры; вид отчетности — зачёт

Вид учебной работы	Объем часов	Объем зачетных единиц
Трудоемкость изучения дисциплины	108	3
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)	18	0,5
в том числе:		
-лекции	12	0,33
-семинары	0	
-практические занятия	6	0,17
Самостоятельная работа аспиранта (всего)	90	2,5
в том числе:		
-Подготовка к практическим занятиям	9	0,1
-Подготовка реферата	0	0
-Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку	54	

4.2. Объем дисциплины и виды учебной работы

№ п/п	Название раздела дисциплины	Объем (в учебных часах)	
		лекции/ практические занятия	самостоят. работа

1	Общее представление о липидах грибов и растений. Принципы работы с информационными ресурсами, содержащими данные о липидах.	4	9
2	Характеристика жирных кислот. Биосинтез и катаболизм жирных кислот.	2	12
3	Биосинтез фосфо- и бетаиновых липидов, триглицеридов.	2	12
4	Биосинтез и функции гликолипидов в растительной клетке.	2	12
5	Структурное разнообразие, метаболизм и функции сфинголипидов.	1	12
6	Триглицериды (общее представление). Структурное разнообразие, метаболизм и функции стероидов. Характеристика основных методов анализа липидов: классический анализ отдельных классов липидов и жирных кислот методами TLC, GC-MS; липидомный анализ методами ESI-MS и HPLC-ESI-MS/MS.	4	12
7	Транспорт липидов в растительной клетке.	1	12
8	Липидные сигнальные системы.	2	9
	ИТОГО:	18	90

4.3. Содержание разделов и темы занятий

Тема 1. Общее представление о липидах грибов и растений.

Определение (согласно М. Kates, В.Е. Васьяковскому, W. Christie), основные функциональные группы липидов, локализация в клетках грибов и растений, липидные рафты. Представление о биологических функциях липидов. Две основные системы классификации. Характеристика основных информационных ресурсов, содержащих данные о структуре, метаболизме и функциях липидов. Принципы работы с информационными ресурсами, содержащими данные о липидах.

Тема 2. Характеристика жирных кислот. Биосинтез и катаболизм жирных кислот.

Основные структурные закономерности природных ЖК (количество атомов углерода, количество и положение двойных связей, изомерия). Схематическое обозначение. Номенклатура. Классификация. Краткая характеристика основных природных насыщенные и ненасыщенные ЖК: особенности распределения у растений разных таксономических групп, положение в составе липидов, физиологические функции. Пути образования ацетил-СоА. Образование малонил-СоА с участием ацетил-СоА-карбоксилазы. Строение ацетил-СоА-

карбоксилазы (гомо- и гетеромерная формы). Многоступенчатый синтез ацильных цепей. Семейство кетоацилсинтаз. Десатурация ЖК. Ацил-белковые и ацил-липидные десатуразы. Элонгация ЖК. Окисление ЖК: β -окисление, α -окисление, особые случаи окисления жирных кислот (ненасыщенных, нечетных, с разветвленной цепью, дикарбоновых).

Тема 3. Биосинтез фосфо- и бетаиновых липидов.

Общее представление о внехлоропластном («эукариотическом») пути синтеза липидов: основные реакции, клеточная локализация, регуляция. Биосинтез и функциональная активность фосфатидной кислоты, диацилглицерина (ДАГ) и CDP-ДАГ. Структурное разнообразие, биосинтез и функции фосфатидилинозитов. Два основных пути биосинтеза фосфатидилэтаноламина (ФЭ) и фосфатидилхолина (ФХ): синтез *de novo* (реакции декарбоксилирования фосфатидилсерина и переметилирования ФЭ) и путь Кеннеди (образование ФЭ и ФХ с участием ДАГ). Особенности распределения ФХ и ФЭ в мембранах, их биологические функции. Общее представление о бетаиновых липидах: распределение среди основных систематических групп грибов и растений, синтез и биологические функции.

Тема 4. Биосинтез и функции гликолипидов в растительной клетке.

Общее представление о хлоропластном («прокариотическом») пути синтеза липидов: основные реакции, клеточная локализация, регуляция. Взаимодействие про- и эукариотического путей синтеза липидов. Структурное разнообразие и особенности локализации гликолипидов в клетках растений. Биосинтез моногалактозилдиацилглицеринов (МГДГ). Особенности локализации и активации семейства МГДГ синтаз. Биосинтез дигалактозилдиацилглицеринов (ДГДГ). Особенности локализации и активации ДГДГ синтаз. Биосинтез сульфохиновозилдиацилглицеринов.

Тема 5. Структурное разнообразие, метаболизм и функции сфинголипидов.

Структурное разнообразие, особенности распределения в клетках грибов и растений. Два основных пути синтеза комплексных сфинголипидов (образование фосфоинозитол-содержащих церамидов и моногексозилцерамидов). Функции сфинголипидов в клетках грибов и растений.

Тема 6. Триглицериды. Стерины. Современные методы анализа липидов.

Состав и локализация триглицеридов в растительных клетках. Биосинтез и распад триглицеридов. Связь метаболизма триглицеридов с основными этапами онтогенеза семенных растений. Структурное разнообразие и основные пути синтеза стерина грибов и растений. Функции стерина в растительной клетке. Участие стерина в определении биофизических параметров мембраны. Общая характеристика основных методов анализа липидов: классический анализ отдельных классов липидов и жирных кислот методами TLC, GC-MS; липидомный анализ методами ESI-MS и HPLC-ESI-MS/MS.

Тема 7. Транспорт липидов в растительной клетке.

Диффузия. Flip-flop перемещения. Везикулярный транспорт. Транспорт через зоны мембранных контактов. Транспорт через плазмодесмы.

Тема 8. Липидные сигнальные системы.

Фосфатидатная сигнальная система – фосфатидная кислота (ФК) и фосфолипаза D. Эндоканнабиноиды (N-ацил-этаноламин, N-ацил-ФЭ). Фосфоинозитидная сигнальная система – диацилглицерин (ДАГ), ДАГ-киназа и фосфолипаза C. Лизо-фосфолипиды, свободные ЖК и фосфолипаза A. Неспецифичные ацил-гидролазы. Липоксигеназная сигнальная система. Сфинголипид-зависимая сигнальная система.

4.4. Практические занятия.

Тема 1. Экстракция липидов

Модифицированный метод Блайя и Дайера (Bligh, Dyer, 1959) - используется для экстракции общих липидов из нефотосинтезирующих тканей или фотосинтезирующих тканей, содержащих легко дезактивируемые. Модифицированный метод Николса (Nichols, 1963) - используется для экстракции общих липидов из фотосинтезирующих тканей, содержащих трудно дезактивируемые липазы.

Тема 3, 4, 5, 6. Разделение липидов методом тонкослойной хроматографии.

Количественный анализ липидов.

Разделение основных классов липидов методом двумерной высокоэффективной тонкослойной хроматографии. Обнаружение и идентификация липидов. Количественный анализ фосфолипидов методом денситометрии.

Тема 2, 5. Анализ липидов методами газо-жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии.

Определение жирнокислотного состава индивидуальных классов липидов методом капиллярной газо-жидкостной хроматографии. Масс-спектрометрический анализ фосфатидилхолинов и гликоцерамидов.

4.5. Самостоятельная работа аспиранта.

Тема 2. Характеристика жирных кислот. Биосинтез и катаболизм жирных кислот.

Физико-химические свойства жирных кислот: изомерия, температура плавления, растворимость, важнейшие химические реакции.

Тема 3. Биосинтез фосфо- и бетаиновых липидов.

Биосинтез и функции фосфатидилглицерина и кардиолипина.

Тема 5. Структурное разнообразие, метаболизм и функции сфинголипидов.

Основные реакции катаболизма сфинголипидов.

Тема 6. Триглицериды. Стерины.

Генные биотехнологии производства.

4.6. Темы 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 окончанию: ...
- 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

Осуществляется в ходе собеседования с аспирантами на семинарских занятиях.

6.2. Промежуточная аттестация

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

Перечень примерных вопросов к зачету:

1. Общая характеристика липидов. Основные функциональные группы липидов, локализация в клетках грибов и растений, липидные рафты.
2. Общее представление о биологических функциях липидов.
3. Две основные системы классификации липидов.
4. Классификация жирных кислот. Основные природные насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты. Физические и химические свойства жирных кислот.
5. Начальные этапы биосинтеза жирных кислот. Образование малонил-CoA с участием ацетил-CoA-карбоксилазы. Строение ацетил-CoA-карбоксилазы (гомо- и гетеромерная формы).

6. Многоступенчатый синтез ацильных цепей жирных кислот. Семейство кетоацилсинтаз.
7. Десатурация жирных кислот. Ацил-АПБ- и ацил-липидные десатуразы. Элонгация жирных кислот.
8. Общее представление о внехлоропластном («эукариотическом») пути синтеза липидов: основные реакции, клеточная локализация, регуляция.
9. Биосинтез и функции фосфатидной кислоты, фосфатидилинозитов, фосфатидилглицерина и кардиолипина.
10. Два основных пути биосинтеза фосфатидилэтаноламина (ФЭ) и фосфатидилхолина (ФХ): синтез de novo (реакции декарбоксилирования фосфатидилсерина (ФС) и переметилирования ФЭ) и путь Кеннеди (образование ФЭ и ФХ с участием ДАГ). Особенности распределения ФС, ФЭ и ФХ в мембранах, их биологические функции.
11. Общее представление о бетаиновых липидах. Распределение среди основных систематических групп грибов и растений. Синтез и биологические функции.
12. Общее представление о хлоропластном («прокариотическом») пути синтеза липидов: основные реакции, клеточная локализация, регуляция.
13. Структурное разнообразие и особенности локализации гликолипидов в клетках растений.
14. Биосинтез моно- (МГДГ) и дигалактозилдиацилглицеринов (ДГДГ). Особенности локализации и активации МГДГ и ДГДГ синтаз. Биосинтез сульфохинозилдиацилглицеринов.
15. Структурное разнообразие и особенности распределения сфинголипидов в клетках грибов и растений. Функции сфинголипидов.
16. Два основных пути синтеза сфинголипидов (образование фосфоинозитол-содержащих церамидов и моногексозилцерамидов).
17. Структурное разнообразие и основные пути синтеза стерина. Отличия в составе стерина у растений, грибов и животных. Функции стерина в растительной клетке. Участие стерина в определении биофизических параметров мембраны.
18. Состав и локализация триглицеридов в растительных клетках. Биосинтез и распад триглицеридов. Связь метаболизма триглицеридов с основными этапами онтогенеза семенных растений. Генные биотехнологии производства.
19. Общее представление о транспорте липидов в растительной клетке. Диффузия. Flip-flop перемещения.
20. Транспорт липидов через зоны мембранных контактов. Везикулярный транспорт. Транспорт через плазмодесмы.
21. Фосфатидатная сигнальная система – фосфатидная кислота (ФК) и фосфолипаза D. 19. Эндоканнабиноиды (N-ацил-этаноламин, N-ацил-ФЭ).
19. Фосфоинозитидная сигнальная система – диацилглицерин (ДАГ), ДАГ-киназа и фосфолипаза C.
22. Лизо-фосфолипиды, свободные ЖК и фосфолипаза A. Неспецифичные ацил-гидролазы.
23. Липоксигеназная сигнальная система.

24. Сфинголипид-зависимая сигнальная система

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. *Васьковский В.Е.* Липиды // Соревский образ. жур. 1997. №3. С. 32-37.
2. *Верещагин А.Г.* Липиды в жизни растений. LXVI Тимирязевские чтения. М.: Наука. 2007. 78 с.
3. *Лось Д.А.* Десатуразы жирных кислот. М.: Научный мир. 2014. 372 с.
4. *Тарчевский И.А.* Сигнальные системы клеток растений. М.: Наука. 2002. 294 с.
5. *Biogenesis of Fatty Acids, Lipids and Membranes / Geiger O. (Ed.).* Springer. 2019. 879 p.
6. *Benning C., Ohta H.* Three enzyme systems for galactoglycerolipid biosynthesis are coordinately regulated in plants // *J. Biol. Chem.* 2005. V. 280. N. 4. P. 2397–2400.
7. *Boudière L., Michaud M., Petroustos D., Rébeillé F., Falconet D., Bastien O., Roy S., Finazzi G., Rolland N., Jouhet JI, Block M.A., Maréchal E.* Glycerolipids in photosynthesis: composition, synthesis and trafficking // *Biochim. Biophys. Acta.* 2014. V. 1837. P. 470-480.
8. *Dowhan W.* Understanding phospholipid function: Why are there so many lipids? // *J. Biol. Chem.* 2017. V. 292. P. 10755-10766.
9. *Dyer J.M., Stymne S., Green A.G., Carlsson A.S.* High-value oils from plants // *Plant J.* 2008. V. 54. P. 640-655.
10. *Fahy E., Subramaniam S., Brown H.A. et al.* A comprehensive classification system for lipids // *J. Lipid Res.* 2005. V. 46 P. 839-861.
11. *Ohlrogge J., Browse J.* Lipid biosynthesis // *Plant Cell.* 1995. V. 7. P. 957-970.
12. *Gronnier J., Gerbeau-Pissot P., Germain V., Mongrand S., Simon-Plas F.* Divide and Rule: Plant Plasma Membrane Organization // *Trends in Plant Science.* 2018. V. 23. Is. 10. P. 899-917.
13. *Harayama T., Riezman H.* Understanding the diversity of membrane lipid composition // *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* 2018. V. 19. P. 281-296.

14. *Lipid-Mediated Signaling* / Murphy E.J., Rosenberger T.A. (Eds.). CRC Press. 2010. 443 p.
15. Moreau R.A., Nyström L., Whitaker B.D., Winkler-Moser J.K., Baer D.J., Gebauer S.K., Hicks K.B. Phytosterols and their derivatives: Structural diversity, distribution, metabolism, analysis, and health-promoting uses // *Prog. Lipid Res.* 2018. V. 70. P. 35-61.
16. Meyers A., Weiskittel T.M., Dalhaim P. Lipid droplets: formation to breakdown // *Lipids.* 2017. V. 52. P. 465-475.
17. Santos A.L., Preta G. Lipids in the cell: organisation regulates function // *Cell. Mol. Life Sci.* 2018. V. 75. P. 1909-1927.
18. *The Lipid Handbook* / Gunstone F., Harwood J., Dijkstra A. (Eds.). CRC Press. 2007. 1472 p.

7.2. Дополнительная литература

1. Валитова Ю.Н., Сулкарнаева А.Г., Мунбаева Ф.В. Растительные стерины: многообразие, биосинтез, физиологические функции (обзор) // *Биохимия.* 2016. Т. 81. № 8. С. 1050-1068.
2. Ткачук В.А. Фосфоинозитидный обмен и осцилляция ионов Ca^{2+} // *Биохимия.* 1998. Т. 63. Вып. 1. С. 47-56.
3. Хотимченко С.В. Липиды морских водорослей макрофитов и трав: структура, распределение, анализ. Владивосток: Дальнаука. 2003. 234 с.
4. Aznar-Moreno J.A., Durrett T.P. Metabolic engineering of unusual lipids in the synthetic biology era. *Plant Sci.* 2017. V.263. P. 126-131.
5. Cassim A.M., Gouguet P., Gronnier J., Laurent N., Germain V., Grison M., Boutté Y., Gerbeau-Pissot P., Simon-Plas F., Mongrand S. Plant lipids: Key players of plasma membrane organization and function // *Progress in Lipid Research.* 2019. V. 73. P. 1-27.
6. Jiang X.C. Phospholipid transfer protein: its impact on lipoprotein homeostasis and atherosclerosis // *J. Lipid Res.* 2018. V. 59. P. 764-771.
7. Lopez-Lara I.M., Sohlenkamp C., Geiger O. Membrane lipids in plant-associated bacteria: their biosyntheses and possible functions // *Mol. Plant-Microbe Interact.* 2003. V. 16. P. 567-579.
8. Lu S.M., Fairn G.D. Mesoscale organization of domains in the plasma membrane - beyond the lipid raft // *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.* 2018. V. 53. P.192-207.
9. Millar A.A., Smith M.A., Kunst L. All fatty acids are not equal: discrimination in plant membrane lipids // *Trends in Plant Science.* 2000. V. 5. P. 95-101.
10. Munnik T. Phosphatidic acid: an emerging plant lipid second messenger // *Trends in Plant Science.* 2001. V. 6. P. 227-233.
11. Ohlrogge J.B. Design of new plant products: engineering of fatty acid metabolism // *Plant. Physiol.* 1994. V. 104. P. 821-826.
12. Pokotylo I., Kravets C., Martinec J., Ruelland E. The phosphatidic acid paradox: Too many actions for one molecule class? Lessons from plants // *Prog. Lipid Res.* 2018. V.71. P. 43-53.

13. *Porta H., Rocha-Sosa M.* Plant lipoxygenases. Physiological and molecular features // *Plant Physiol.* 2002. V. 130. P. 15-21.
14. *Renne M.F., de Kroon A.I.P.M.* The role of phospholipid molecular species in determining the physical properties of yeast membranes // *FEBS Letts.* 2018. V. 592. P. 1330-1345.
15. *Sasaki Yu., Nagano Yu.* Plant acetyl-CoA carboxylase: structure, biosynthesis, regulation and gene manipulation for plant breeding // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2004. V. 68. P. 1175-1184.
16. *Stephenson D.J., Hoeflerlin L.A., Chalfant C.E.* Lipidomics in translational research and the clinical significance of lipid-based biomarkers // *Translat. Res.* 2017. V. 189. P. 13-29.
17. *Yang Y., Benning C.* Functions of triacylglycerols during plant development and stress // *Curr. Opin. Biotechnol.* 2018. V. 49. P. 191-198.

Рекомендуются для дополнительного изучения обзорные и экспериментальные статьи в журналах «Физиология растений», «Биохимия», «Nature», «Lipids», «Progress in Lipid Research» и др.

7.3. Электронные образовательные ресурсы

Наименование ресурса	Краткая характеристика
http://www.edu.ru	Федеральный образовательный портал
http://www.rsl.ru	Российская государственная библиотека
http://www.library.spbu.ru	Научная библиотека СПбГУ
http://elibrary.ru/	Научная электронная библиотека
http://e.lanbook.com	ЭБС издательства Лань
http://www.lipidmaps.org	LIPID MAPS® Lipidomics Gateway
http://lipidbank.jp	The official database of Japanese Conference on the Biochemistry of Lipids (JCBL)
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.scopus.com/	SciVerse Scopus

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

- помещения для проведения занятий, оборудованные комплектом мебели;
- комплект проекционного мультимедийного оборудования;
- компьютеры с доступом к сети Интернет;

- библиотека с информационными ресурсами на бумажных и электронных носителях;
- офисная оргтехника
- хромато-масс спектрометр МАЭСТРО 7820/5975, Agilent Technologies, США
- жидкостный хроматограф Agilent 1200, Agilent Technologies, США
- времяпролетный масс-спектрометр с ортогональным вводом и ионизацией электрораспылением (ESI-TOF) MX5303, Россия