



ПРИЛОЖЕНИЕ 12 к ООП ВО  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
БОТАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ.В.Л.КОМАРОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**УТВЕРЖДЕНО**

на заседании Ученого совета БИН РАН  
протокол № 7 от 13 мая 2019 года



Директор БИН РАН,

д.б.н.,

  
Д.В. Гельман

Рабочая программа дисциплины (Б1.В.ДВ.2.1)  
**«ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ 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

2019

*Составитель рабочей программы:*

*Войцеховская Ольга Владимировна., к.б.н., вед.н.с. с возложением обязанностей рук.лаб. Молекулярной и экологической физиологии БИН РАН*

ДИСЦИПЛИНА «Транспортные системы растений»

Профиль 03.01.05 Физиология и биохимия растений

Цикл дисциплин (по учебному плану): Б1.В.ДВ.2.1

Курс: 2 курс

Трудоёмкость в ЗЕТ – 3

Трудоёмкость в часах - 108

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Рабочая программа дисциплины «Транспортные системы растений» (Б1.В.ДВ.1.1) 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 «Транспортные системы растений»:**

- получение фундаментальные знания о процессах переноса метаболитов, воды, сигнальных и информационных молекул между тканями и органами высших растений, о движущих силах и регуляции этих процессов;
- получение фундаментальные знания о методах исследования транспорта низкомолекулярных веществ и макромолекул у растений и о новейших открытиях в данной области.

**Задачи дисциплины:**

- сформировать представление о роли транспортных систем в интеграции растительного организма, а также об основных научных проблемах и дискуссионных вопросах в данной области физиологии и биохимии растений;
- сформировать представление о спектре современных методов, применяемых для исследований транспортных процессов у высших растений;
- подготовить аспирантов к применению полученных знаний при осуществлении собственных исследований.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП**

Учебная дисциплина «Транспортные системы растений» 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, биофизике, биоорганической химии 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 «Транспортные системы 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).

**По окончании изучения дисциплины аспиранты должны знать:**

- о компартментации водных и метаболитных потоков в растениях, о движущих силах транспортных процессов в растениях, о структурно-функциональной организации основных тканей растений, участвующих в транспорте – ксилемы и флоэмы;

- об энергетике транспортных процессов и о современных моделях ксилемного и флоэмного транспорта;

- о молекулярных механизмах переноса веществ через мембраны растительных клеток, о структуре и функциях плазмодесм и о моделях их образования; о механизмах межклеточного и системного транспорта информационных молекул и роли этого процесса в развитии растений и в защите растений от патогенов;

**уметь:**

- применять полученные представления при разработке стратегий решения собственных исследовательских задач при изучении транспортных процессов в растениях.

**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
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b>	<b>18</b>	<b>0,5</b>
в том числе:		
-лекции	12	0,33
-семинары	0	
-практические занятия	6	0,17
<b>Самостоятельная работа аспиранта (всего)</b>	<b>90</b>	<b>2,5</b>
в том числе:		
-Подготовка к практическим занятиям	0	0
-Подготовка реферата	0	0
-Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку	90	2,5

### 4.2. Объем дисциплины и виды учебной работы

№ п/п	Название раздела дисциплины	Объем (в учебных часах)	
		лекции	самостоят. работа
1	Свойства воды и силы, определяющие передвижение воды в растении.	2	8
2	Транспорт веществ через мембраны.	2	12
3	Флоэмный транспорт.	3	20
4	Ксилемный транспорт.	3	14
5	Плазмодесмы и межклеточный симпластный транспорт низкомолекулярных веществ.	3	14

6	Межклеточный и системный транспорт макромолекул.	3	14
7	Донорно-акцепторные взаимодействия.	2	8
	ИТОГО:	18	90

### 4.3. Содержание разделов и темы занятий

#### **Тема 1. Свойства воды и силы, определяющие передвижение воды в растении.**

Химическое равновесие, химический потенциал. Градиент водного потенциала как движущая сила поступления и передвижения воды.

#### **Тема 2. Транспорт веществ через мембраны.**

Транспорт ионов через мембраны; движущие силы переноса ионов. Уравнение Нернста. Градиент электрохимического потенциала ионов водорода - энергетическая основа активного переноса ионов через плазмалемму. Первичные транспортные системы: Н-АТФаза плазмалеммы, Н-АТФаза V-типа, пирофосфатаза, их структура, функционирование и регуляция. 14-3-3 белки. Вторичный активный транспорт. Трансмембранный перенос сахарозы.

#### **Тема 3. Флоэмный транспорт.**

Уравнения диффузии и массового тока. Основные структурные единицы флоэмы высших растений различных таксонов. Ситовидные элементы и клетки-спутники. Модели апопластной и симпластной загрузки флоэмы. Состав флоэмного эксудата. Механизм передвижения веществ по флоэме: теория массового тока под давлением Э. Мюнха, ее современные доказательства. Скорость флоэмного транспорта. Форисомы и каллоза. Разгрузка флоэмы. Методы исследования флоэмного транспорта.

#### **Тема 4. Ксилемный транспорт.**

Корень как основной орган поглощения воды. Механизм радиального транспорта воды в корне. Структура ксилемы в различных таксонах высших растений. Восходящий транспорт веществ по ксилеме. Теория когезионного напряжения. Кавитация как причина эмболии и механизмы репарации. Состав ксилемного эксудата. Скорости транспорта воды и растворенных веществ. Гуттация. Устьичная и кутикулярная транспирация. Регуляторная роль устьиц в водо- и газообмене.

#### **Тема 5. Плазмодесмы и межклеточный симпластный транспорт низкомолекулярных веществ.**

Методы и трудности исследования плазмодесм. Конфокальная микроскопия и полевая эмиссионная микроскопия как методы исследования тонкой организации плазмодесм. Основные структурные компоненты плазмодесм. Формирование первичных плазмодесм: цитокinez. Модель формирования вторичных плазмодесм путем «деления» первичных. Плазмодесмы трихом листьев табака как наиболее изученный объект, их структура, функционирование и регуляция. Роль градиента тургорного давления в регуляции пропускной способности плазмодесм. Энергизация работы плазмодесм. Симпластные и апопластные домены в теле растения.

## **Тема 6. Межклеточный и системный транспорт макромолекул.**

Неклеточноавтономные факторы транскрипции растений. Изменения границ симпластных доменов в онтогенезе растений. Транспорт макромолекул как фактор позиционной информации в развитии растений. Изменение пропускной способности плазмодесм под воздействием вирусных белков и эндогенных факторов. Защита от вирусов: посттранскрипционный сайленсинг. Образование малых интерферирующих РНК. Типы сигналов локального и системного сайленсинга. Амплификация сигналов локального сайленсинга, их распространение по плазмодесмам. Системное распространение сайленсинговых сигналов по флоэме. Системный транспорт эндогенных факторов транскрипции, мРНК и микроРНК по флоэме, его роль в развитии растений. «Флориген».

## **Тема 7. Донорно-акцепторные взаимодействия.**

Донорно-акцепторные взаимодействия как основа эндогенной регуляции фотосинтеза в системе растительного организма. Повышение продуктивности растений путем модификации транспортных процессов.

### **4.4. Практические занятия.**

Не предусмотрены.

### **4.5. Самостоятельная работа аспиранта**

#### **Тема 1. Свойства воды и силы, определяющие передвижение воды в растении.**

Составляющие водного потенциала клетки: осмотический, матричный потенциал, потенциал давления. Метод pressure probe.

#### **Тема 2. Транспорт веществ через мембраны.**

Пассивный и активный транспорт ионов. Особенности транспортных систем эндомембран растительной клетки. Апопласт: газовая и водная фазы, их участие в переносе веществ в растениях.

#### **Тема 3. Флоэмный транспорт.**

Тип загрузки флоэмы у растений различных систематических групп и ее зависимость от климатических условий.

#### **Тема 4. Ксилемный транспорт.**

Сезонная зависимость состава ксилемного экссудата у древесных растений.

#### **Тема 5. Плазмодесмы и межклеточный симпластный транспорт низкомолекулярных веществ.**

Структура и механизмы формирования плазмодесм растений различных систематических групп.

## **Тема 6. Межклеточный и системный транспорт макромолекул.**

Классификация вирусов растений. Основные компоненты геномов растительных вирусов. МикроРНК как механизм регуляции экспрессии генов у многоклеточных организмов.

## **Тема 7. Донорно-акцепторные взаимодействия.**

Регуляция соотношения надземной и подземной биомассы. Теория фотосинтетической продуктивности. Управление распределением ассимилятов как основа повышения продуктивности растений.

#### **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 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**

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. Диффузия и массовый ток: движущие силы.
2. Градиент водного потенциала.
3. Транспортные системы мембран растительной клетки.

4. Плазмодесмы, их образование, строение, модели формирования и организации.
5. Функционирование и регуляции пропускной способности плазмодесм на примере трихом табака.
6. Основные структурно-функциональные элементы ксилемы.
7. Основные структурно-функциональные элементы флоэмы.
8. Структура флоэмных окончаний высших растений.
9. Осмотическая гипотеза массового тока ассимилятов Э. Мюнха.
10. Организация углеводного метаболизма растений.
11. Биосинтез и расщепление сахарозы у растений.
12. Роль транспорта информационных молекул по флоэме на примере «флоригена».
13. Механизм амплификации сигналов межклеточного сайленсинга.
14. МикроРНК у растений.
15. Тип загрузки флоэмы у растений различных систематических групп и ее зависимость от климатических условий.
16. Градиент водного потенциала как движущая сила поступления и передвижения воды.
17. Особенности транспортных систем эндоплазматической мембраны растительной клетки.
18. Структура и механизмы формирования плазмодесм растений различных систематических групп.
19. Примеры неклеточноавтономных факторов транскрипции растений, их функции в регуляции развития растений.
20. Устьичная и кутикулярная транспирация. Регуляторная роль устьиц в водно-газообмене.
21. Транспорт ионов через мембраны; движущие силы переноса ионов. Уравнение Нернста.
22. Вторичный активный транспорт веществ через мембраны.
23. Трансмембранный перенос сахарозы.
24. Роль форисом и каллозы в регуляции транспорта по флоэме.
25. Теория когезионного напряжения. Кавитация как причина эмболии и механизмы репарации.
26. Конфокальная микроскопия и полевая эмиссионная микроскопия как методы исследования тонкой организации плазмодесм.

### **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 утвержден-



ной 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. — 512 с.
2. Taiz L., Zeiger E. Plant Physiology, 5th Edition, Sunderland-Massachusetts, Sinauer Associates Inc, 2010, 778 p
3. Гамалей Ю.В. Флоэма листа. Л, 1990. 144 с.
4. Buchanan B.B., Gruissem W., Jones P.L., ed, Biochemistry and Molecular Biology of Plants. 2nd Edition, Rockville, Maryland, American Society of Plant Physiologists, 2015, 1222 p.
5. Gamalei Y. 1989. Structure and function of leaf minor veins in trees and herbs. *Trees* 3:96–110.
6. Oparka KJ (2005) Annual plant reviews. Plasmodesmata, vol 18. Blackwell, Oxford
7. K.J. Oparka and D.A.M. Prior. Direct evidence for pressure-generated closure of plasmodesmata. *The Plant Journal* (1992) 2(5), 741 -750.
8. Faulkner C, Akman OE, Bell K, Jeffree C, Oparka K (2008) Peeking into pit fields : a multiple twinning model of secondary plasmodesmata formation in tobacco. *Plant Cell* 20: 1504–1518.
9. Christensen NM, Faulkner C, Oparka K (2009) Evidence for unidirectional flow through plasmodesmata. *Plant Physiol.* 150:96 –104.
10. Fitzgibbon J, Bell K, King E, Oparka K (2010) Super-resolution imaging of plasmodesmata using 3D-structured illumination microscopy (3D-SIM). *Plant Physiol* 153:1453– 1463.
11. Daniel L. Mullendore, Carel W. Windt, Henk Van As, and Michael Knoblauch. Sieve Tube Geometry in Relation to Phloem Flow. 2010. *The Plant Cell*, Vol. 22: 579–593.
12. Nick Gould, Michael R. Thorpe, Olga Koroleva, Peter E. H. Minchin. Phloem hydrostatic pressure relates to solute loading rate: a direct test of the Münch hypothesis. 2005. *Functional Plant Biology* 32(11) 1019–1026.
13. Franziska Turck, Fabio Fornara and George Coupland. Regulation and Identity of Florigen: FLOWERING LOCUS T Moves Center Stage. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2008. 59:573–94.
14. Lee, J.Y., Yoo, B.C., Rojas, M.R., Gomez-Ospina, N., Staehelin, L.A., Lucas, W.J., 2003. Selective trafficking of non-cell-autonomous proteins mediated by NtNCAPP1. *Science* 299, 392 – 396.

15. Xoconostle-Cazares, B., Xiang, Y., Ruiz-Medrano, R., Wang, H.L., Monzer, J., Yoo, B.C., McFarland, K.C., Franceschi, V.R., Lucas, W.J., 1999. Plant paralog to viral movement protein that potentiates transport of mRNA into the phloem. *Science* 283, 94–98.
16. Evert, R. F. *Esau's Plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development* /Ray F. Evert.—3rd ed. 2006. 624 p.
17. Charles W Melnyk, Attila Molnar and David C Baulcombe. Intercellular and systemic movement of RNA silencing signals. *The EMBO Journal* (2011) 30, 3553–3563.

## 7.2. Дополнительная литература

1. Хелдт Г.-В. Биохимия растений. Изд-во Бином: 2011 г. 472 с.
2. Полевой В.В. Физиология растений. М.: Высшая школа, 1989 г., 464 с.
3. Michael R. Thorpe, Alexandra C. U. Furch, Peter E. H. Minchin, Jens Föller, Aart J. E. Van Bel, Jens B. Hafk. Rapid Cooling Triggers Forisome Dispersion Just Before Phloem Transport Stops. *Plant Cell Environ* 2010, 33: 259–271.
4. Swanson C. & Geiger D. (1967) Time course of low temperature inhibition of sucrose translocation in sugar beets. *Plant Physiology* 42, 751–756.
5. Knoblauch M., Peters W.S., Ehlers K. & van Bel A.J.E. (2001) Reversible calcium-regulated stopcocks in legume sieve tubes. *The Plant Cell* 13, 1221–1230.
6. Gould N., Thorpe M.R. & Minchin P.E.H. (2004) Direct measurements of sieve element hydrostatic pressure reveal strong regulation of sieve element hydrostatic pressure after pathway blockage. *Functional Plant Biology* 31, 987–993.
7. Lough, T.J., Lucas, W.J. Integrative plant biology: role of phloem long-distance macromolecular trafficking. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2006. 57:203-32.
8. Shoudong Zhang, Li Sun, and Friedrich Kragler. The Phloem-Delivered RNA Pool Contains Small Noncoding RNAs and Interferes with Translation. *Plant Physiology*, 2009, Vol. 150, pp. 378–387.
9. Barthe'le'my Tournier, Martin Tabler, and Kriton Kalantidis. Phloem flow strongly influences the systemic spread of silencing in GFP *Nicotiana benthamiana* plants. *The Plant Journal* (2006) 47, 383–394.
10. Voitsekhovskaja OV, Koroleva OA, Batashev DR, Кноп С, Tomos AD, Gamalei YuV, Heldt HW, Lohaus G. 2006. Phloem loading in two Scrophulariaceae species. What can drive symplastic flow via plasmodesmata? *Plant Physiol.* 140:383–95.

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

## 7.3. Электронные образовательные ресурсы

Наименование ресурса	Краткая характеристика
<a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a>	Федеральный образовательный портал
<a href="http://www.rsl.ru">http://www.rsl.ru</a>	Российская государственная библиотека
<a href="http://www.library.spbu.ru">http://www.library.spbu.ru</a>	Научная библиотека СПбГУ
<a href="http://elibrary.ru/">http://elibrary.ru/</a>	Научная электронная библиотека

<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>	ЭБС издательства Лань
<a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov">http://www.ncbi.nlm.nih.gov</a>	БД и ресурсы Национального центра биотехнологической информации США
<a href="http://www.ebi.ac.uk/embl/">http://www.ebi.ac.uk/embl/</a>	БД Европейского института биоинформатики Европейской лаборатории молекулярной биологии
<a href="http://www.viniti.ru/">http://www.viniti.ru/</a>	Реферативный журнал ВИНТИ «Биология»
<a href="http://www.arabidopsisbook.org/">http://www.arabidopsisbook.org/</a>	Продолжающаяся серия рецензируемых публикаций Американского общества биологов растений
<a href="http://www.scopus.com/">http://www.scopus.com/</a>	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.