

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель председателя  
Приемной комиссии,  
Директор по учебной работе



М.В. Румянцев

**ПРОГРАММА**  
вступительного испытания в аспирантуру  
по направлению 06.06.01 Биологические науки  
программа (профиль) 03.01.05 Физиология и биохимия  
растений

Красноярск 2017

В основу настоящей программы положена «Программа-минимум кандидатского экзамена по специальности 03.00.12 «Физиология и биохимия растений», разработанная экспертным советом Высшей аттестационной комиссии по биологическим наукам». Программа включает следующие разделы: основные компоненты растительного организма и их функции; растительная клетка; биоэнергетика растительного организма (фотосинтез, дыхание); водный баланс; минеральное питание; транспорт веществ (ближний, дальний); рост и развитие; устойчивость к неблагоприятным факторам; интеграция функционирования органов.

### **Перечень вопросов по темам:**

#### **1. Общая часть.**

Объекты биохимии и физиологии растений. Уникальные особенности растительного организма. Автотрофность в отношении усвоения минеральных элементов. Специфика обмена зеленых растений по сравнению с другими организмами. Космическая роль зеленого растения. Значение фотоавтотрофов в создании и поддержании газового состава атмосферы, водного, почвенного и климатического режима на планете. Методы физиологии и биохимии растений, применяемые на субклеточном, клеточном, организменном и биоценоотическом уровнях. Физиология и биохимия растений — теоретическая основа растениеводства и новых отраслей биотехнологии.

#### **2. Основные компоненты растительного организма и их функции.**

2.1. Углеводы. Состав и метаболизм углеводов у растений. Основные моносахариды, их структура и взаимопревращения. Моносахара - субстраты для синтеза других веществ. Активированные формы углеводов. Состав, структура и основные представители олигосахаридов. Полисахариды: состав, типы связей, ветвление. Запасная и структурная функция.

2.2. Липиды. Общие свойства, классификация, номенклатура. Насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты. Особенности строения ненасыщенных жирных кислот растений. Полярные липиды. Стероиды. Гликозиды. Биологические мембраны, специфика различных мембран растительной клетки.

2.3. Аминокислоты и белки. Структура и свойства аминокислот. Протеиногенные аминокислоты. Первичные amino-соединения, синтезируемые из минерального азота, синтез аминокислот. Реакции переаминирования, участие лутаминовой кислоты в метаболизме аминокислот. Функции свободных аминокислот и аминокислот в составе белковых молекул. Реакции дезаминирования и декарбоксилирования аминокислот. Небелковые аминокислоты растений.

Первичная структура молекулы полипептида. Фибриллярные и глобулярные белки.

Ионные свойства полипептидов. Элементы вторичной структуры белков —  $\alpha$ -спираль и  $\beta$ -структура. Третичная и четвертичная структура белков. Дисульфидные и водородные связи, ионные и гидрофобные взаимодействия. Белковые комплексы. Понятие субъединицы. Функциональная классификация белков.

2.4. Нуклеотиды и нуклеиновые кислоты. Пуриновые и пиримидиновые основания. Нуклеозиды и нуклеотиды: структура, синтез, функции. Нуклеотидные коферменты и переносчики соединений, их основные типы и биологическое значение.

Нуклеиновые кислоты: первичная структура, нуклеотидный состав. Вторичная и третичная структура ДНК. Структура РНК. Типы РНК.

2.5. Вторичные метаболиты. Особенности соединений, по которым их относят к вторичным метаболитам. Основные классы вторичных. Алкалоиды. Фенольные соединения. Гликозиды.

Предшественники биосинтеза вторичных метаболитов, их место в «первичном метаболизме».

2.7. Ферменты и механизмы их действия. Характеристика ферментов как высокоспециализированных белковых катализаторов. Алифатическая и простетическая части фермента. Кофакторы ферментной реакции. Ферментная кинетика. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Механизмы регуляции ферментной активности. Действие рН и температуры на скорость ферментной реакции. Аллостерическая регуляция. Индукция и репрессия синтеза. Изозимы и конформеры.

### **3. Растительная клетка**

3.1. Особенности строения, структурной и функциональной организации растительной клетки.

3.2. Организация ядерного генома растений. Структура генома, полиморфизм растительной ДНК. Мобильные генетические элементы растений (транспозоны).

3.3. Типы пластид, особенности строения, онтогенез. Геном пластид. Мозаичная структура пластидных генов. Белки, кодируемые пластидным геномом. Двойное кодирование (ядерное и пластидное) компонентов фотосинтетического аппарата. Транспорт ядерно-кодируемых белков в пластиды. Размножение и наследование пластид.

3.4. Особенности строения митохондрий растений. Структура митохондриального генома растений. Прокариотические черты и размер митохондриального генома растений. Мозаичная структура митохондриальных генов. Белки, кодируемые митохондриальным геномом. Двойное кодирование (ядерное и пластидное) белков дыхательной ЭТЦ.

3.5. Перенос генетического материала между органеллами. Совместная работа трех геномов.

3.6. Особенности строения плазмалеммы. Транспортные системы плазмалеммы, протонная энергетика транспортных систем. Транспортные системы тонопласта.

3.7. Эндоплазматический ретикулум растительной клетки. Различные функциональные участки растительного ЭПР.

3.8. Структура аппарат Гольджи. Основные направления транспорта, транспортируемые вещества.

3.9. Литический и запасающий типы вакуолей. Транспорт веществ в запасающие и литические вакуоли. Возникновение вакуолей *de novo*. Функции вакуолярной системы клетки.

3.10. Структура цитоскелета растительной клетки. Белки, ассоциированные с цитоскелетом. Участие цитоскелета в движении и закреплении органелл. Роль цитоскелета в синтезе целлюлозы. Участие цитоскелета в процессе деления клетки,

3.11. Клеточная стенка (КС). Углеводные компоненты клеточной стенки. Структурные белки клеточной стенки:). Функциональные белки КС. Первичная и вторичная клеточная стенка. Лигнины, воска, кутин, суберин. Плазмодесмы (ПД), их строение. Транспорт веществ по плазмодесмам. Функции КС: каркасная, защитная, транспортная, регуляторная, сигнальная.

3.12. Онтогенез клетки растения. Стадии онтогенеза: деление клетки, рост клетки растяжением, дифференцировка, старение и смерть. Клеточный (митотический) цикл. Запуск и регулирование клеточного цикла. Апоптоз растительных клеток.

3.13. Структурные и функциональные особенности клеток растений *in vitro*. Изолированные протопласты клеток растений. Использование клеток растений *in vitro* как модельной системы в физиологических исследованиях и в биотехнологии.

#### **4. Биоэнергетика растительного организма.**

4.1. Основные принципы классической термодинамики. Эндергонические и экзергонические реакции. Химическое равновесие, химический потенциал. Выражение изменения свободной энергии окислительно-восстановительной реакции в единицах электрохимического стандартного окислительно-восстановительного потенциала. Формы запасаения энергии в клетке: электрохимический потенциал ионов на сопрягающих мембранах, макроэргические связи, конформационные изменения. Энергетика процессов синтеза и гидролиза АТФ. Трансформация энергии на сопрягающих мембранах.

4.2. Фотосинтез. Общее уравнение фотосинтеза, его компоненты. Структурная организация фотосинтетического аппарата. Роль фотосинтеза в процессах энергетического и пластического обмена растительного организма. Масштабы фотосинтетической деятельности в биосфере. Эволюция биосферы и фотосинтез.

Хлорофиллы: химическая структура, спектральные свойства, функции. Основные этапы биосинтеза молекулы хлорофилла. Хлорофилл-белковые комплексы. Фикобилины: распространение, химическое строение, спектральные свойства, роль в фотосинтезе. Каротиноиды: химическое строение, спектральные свойства, функции.

Поглощение света и передача энергии возбуждения. Возбужденное состояние электронов и пути дезактивации. Представление о фотосинтетической единице. Антенные комплексы. Преобразование энергии в реакционных центрах. Представление о совместном функционировании двух фотосистем. Эффекты Эмерсона.

Основные функциональные комплексы ЭТЦ. Системы фотоокисления воды и выделения кислорода при фотосинтезе. Типы функциональной организации ЭТЦ: нециклический, циклический и псевдоциклический потоки электронов и фотофосфорилирования. Образование трансмембранного протонного градиента в процессе фотосинтетического электронного транспорта. Структура и функции цитохром b<sub>6</sub>/f комплекса, Q-цикл. Локализация ЭТЦ комплексов в гранальных и стромальных мембранах тилакоидов.

Стехиометрия сопряжения электронного транспорта и образования АТФ. Регуляция потоков электронов при фотосинтезе. Фотосинтетический контроль.

Природа первичных акцепторов углекислого газа (углекислоты). Фиксация углекислого газа в цикле Кальвина-Бенсона, ключевые ферменты. Фотодыхание. Первичные продукты фотосинтеза. Фиксация углекислого газа в цикле Хэтча-Слэка-Карпилова. Особенности углекислотного метаболизма у C<sub>3</sub>-, C<sub>4</sub> и САМ-растений. Эволюция механизма концентрирования CO<sub>2</sub>

Влияние на фотосинтез температуры, условий освещения, содержания углекислоты, условий минерального питания, водоснабжения. Световая кривая фотосинтеза. Компенсационная точка при фотосинтезе и ее зависимость от особенностей организма. Ассимиляционное число. Фотосинтез в онтогенезе растения.

#### 4.3. Дыхание.

Специфика процесса дыхания у растений. Каталитические системы дыхания (дегидрогеназы, оксидазы, оксигеназы, карбоксилазы, трансферазы и др.). Механизмы активации водорода субстрата и молекулярного кислорода. Метаболизм дыхательного субстрата.

Электрон-транспортная цепь митохондрий: структурная организация, основные компоненты, их окислительно-восстановительные потенциалы. Комплексы переносчиков электронов.

Гликолитический путь окисления; основные стадии. Цикл Кребса. Глиоксилатный цикл. Пентозофосфатный путь окисления глюкозы и его роль в обмене клетки. Механизмы регуляции циклов.

Единство элементарных энергетических процессов в живой природе. Фосфорилирование на уровне субстрата и фосфорилирование в дыхательной

цепи. Мембраны как структурная основа биоэнергетических процессов. Электро-химический потенциал – движущая сила фосфорилирования. Регуляция электронного транспорта в дыхательной цепи. Дыхательный контроль. Понятие о разобщителях. Энергетическая эффективность дыхания.

Составляющие дыхания: дыхание роста, дыхание поддержания и их соотношение в онтогенезе и в условиях меняющихся факторов среды.

Цитоплазматические оксидазы (аскорбатоксидаза, полифенолоксидазы, ксантинооксидазы, пероксидазы, каталазы), их локализация функции, вклад в общее поглощение кислорода растительной тканью. Изменения в интенсивности и путях дыхания в онтогенезе и при действии факторов среды.

## **5. Водный режим растений.**

5.1. Молекулярная структура и физические свойства воды. Взаимодействие молекул воды и биополимеров, гидратация. Состояние воды в клетке. Вода, как структурный компонент растительной клетки, ее участие в биохимических реакциях.

5.2. Формы воды в почве. Корневая система как орган потребления воды. Корневое давление, значение, механизм и методы определения. Гуттация и плач растений. Распределение воды в клетке и организме. Физиологическая засуха и ее причины. Коэффициент завядания.

5.3. Термодинамические показатели состояния воды: активность воды, химический и водный потенциал. Составляющие водного потенциала клетки: осмотический, матричный потенциал, потенциал давления. Градиент водного потенциала как движущая сила поступления и передвижения воды. Механизмы передвижения воды по растению. Теория сцепления. Водообмен между ксилемой и флоэмой в целом растении. Верхний и нижний концевые двигатели. Влияние внешних условий на поступление воды в растение. Транспирация, ее формы и физиологическое значение. Количественные показатели: интенсивность, экономичность, продуктивность, транспирационный коэффициент. Методы измерения. Устьичная транспирация и механизм ее регулирования. Кутикулярная транспирация. Действие факторов внешней среды: свет, температура, влажность воздуха. Суточные колебания транспирации.

5.4. Экология водообмена растений. Особенности водообмена у растений разных экологических групп (ксерофитов, мезофитов, гигрофитов, галофитов).

## **6. Минеральное питание.**

6.1. Роль растений в круговороте минеральных элементов в биосфере. Потребность растений в элементах минерального питания. Содержание и соотношение минеральных элементов в почве и в растениях и факторы, их определяющие. Классификации химических элементов, необходимых для

растений. Основная функция элементов в метаболизме: структурная и каталитическая. Физиологическая роль макро- и микроэлементов.

6.2. Корень как орган поглощения минеральных элементов, специфических синтезов с их участием и транспорта. Рост корня как основа поступления элементов минерального питания. Значение зон роста корня в этом процессе. Система взаимодействия “корень - почва”. Роль микоризы.

6.3. Ближний транспорт ионов в тканях корня. Симпластический и апопластический пути. Дальний транспорт. Восходящее передвижение веществ по растению: пути и механизмы. Перераспределение и реутилизация ионов в растении. Взаимодействие ионов (антагонизм, синергизм, аддитивность). Значение работ Д.Н. Прянишникова, Д.А. Сабина в создании теории минерального питания. Корневое питание как важнейший фактор управления продуктивностью и качеством урожая. Генотипические различия в минеральном питании разных видов и сортов.

6.4. Особенности азотного обмена растений. Источники азота для растений. Минеральные формы азота, используемые растениями. Видовая специфика усвоения разных форм азота. Симбиотическая фиксация молекулярного азота.

6.5. Поступление серы в растение. Основные соединения серы в клетке, участие в окислительно-восстановительных реакциях.

6.6. Формы минерального фосфора в тканях, их содержание и функции. Особенности поступления фосфора и транспорта его соединений в растении. Основные фосфорсодержащие компоненты клетки, их роль. Запасные формы фосфора.

6.7. Содержание и распределение калия в клетке, тканях и органах растения. Роль  $K^+$  в поддержании мембранного потенциала. Роль калия в работе устьиц и флоэмном транспорте.

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

6.9. Содержание и соединения магния в тканях растений. Функции магния в фотосинтезе. Магний как активатор ферментных систем.

6.10. Микроэлементы. Свойства тяжелых металлов, определяющие их роль в ЭТЦ фотосинтеза и дыхания и других редокс-реакциях.

6.11. Железо: доступность в почве. Особенности поступления железа у двудольных и однодольных растений. Соединения железа; распределение по компартментам клетки и в растении. Комплексы железа в белках редокс-цепей и других ферментах.

6.12. Медь: Содержание и распределение в клетке и тканях. Участие в окислительно-восстановительных процессах дыхания и фотосинтеза.

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

6.14. Молибден: значение для процессов утилизации азота среды.

6.15. Цинк: Структурная роль в поддержании ферментной активности и при синтезе белка. Zn-содержащие ферменты.

6.16. Бор. Механизмы участия в регуляции физиологических процессов и метаболизма.

6.17. Структурная роль в клеточной стенке.

6.18. Нарушения в метаболизме растений при недостатке микроэлементов.

## **7. Дальний транспорт и круговорот веществ в растении.**

7.1. Транспорт веществ из листьев в другие органы. Состав транспортируемых веществ. Передвижение ассимилятов из мезофилла листа к сосудам флоэмы по апопласту и симпласту. Механизмы загрузки флоэмы из апопласта и симпласта. Роль сопровождающих клеток. Механизм передвижения веществ по флоэме. Модель потока воды под давлением. Скорость передвижения веществ по флоэме; их выгрузка из ситовидных элементов.

7.2. Восходящий транспорт веществ по ксилеме. Состав ксилемного сока. Взаимосвязь транспорта воды и растворенных веществ по ксилеме. Круговорот и реутилизация минеральных веществ в растении.

## **8. Рост и развитие растений.**

8.1. Общие представления о росте и развитии растений. Закономерности роста, типы роста. Кинетика ростовых процессов. Основные этапы развития растений.

8.2. Клеточные основы роста. Особенности роста органов растений. Корреляции ростовых процессов различных органов, регенерация.

8.3. Влияние на рост и развитие внутренних и внешних факторов. Физиологические основы действия фитогормонов.

8.4. Ауксины. Активный транспорт ауксинов в растениях. Физиологические ответы на ауксины.

8.5. Цитокинины. Физиологическое действие. Взаимодействие ауксинов и цитокининов.

8.6. Гиббереллины. Пути биосинтеза и многообразие гиббереллинов. Физиологическое действие гиббереллинов. Взаимодействие с другими гормонами.

8.7. Абсцизовая кислота. Физиологическое действие. Взаимодействие АБК и гиббереллинов в процессах регуляции покоя.

8.8. Этилен. Специфика этилена как газообразного гормона. Физиологическое действие. Созревание сочных плодов и листопад.

8.9. Фитохромная и криптохромная системы, электрофизиологические процессы роста.

8.10. Процессы раздражимости и возбудимости. Типы движения растений (внутриклеточные движения, тропизмы, настии, нутации) и их механизмы.



8.11. Основные этапы онтогенеза (эмбриональный, ювенильный, репродуктивный, зрелости, старения). Морфологические, физиологические и метаболические особенности этапов онтогенеза. Состояние покоя у растений. Типы покоя и их значение для жизнедеятельности растений.

8.12. Механизмы морфогенеза растений. Полярность. Индукция генетических программ.

8.13. Фоторегуляция у растений. Основные принципы фоторецепции. Отличие фоторецепторных комплексов от энергопреобразующих. Физиологически важные области спектра: красная и синяя. Фитохром и криптохром.

8.14. Сеть путей передачи сигнала в клетке. Восприятие воздействий и сигнальных молекул. Рецепторы стимулов и гормонов, их локализация.

8.15. Фотопериодизм. Феноменология фотопериодизма: цветение и группы фотопериодических растений, регуляция листопада, образования почек, перехода к состоянию покоя. Восприятие длины дня: эффект прерывания ночи, фитохром, внутренние часы. Гормональная теория цветения. Изменения гормонального баланса, приводящие к физиологическому ответу на фотопериод.

8.16. Регуляция развития климатическими факторами. Глубокий (физиологический) покой и вынужденный покой. Температура и развитие растений. Явления стратификации и яровизации как экологическая адаптация.

## **9. Устойчивость растений к неблагоприятным факторам.**

9.1. Стресс и адаптация — общая характеристика явлений. Неблагоприятные факторы биотической и абиотической природы. Специфические и неспецифические реакции ответные реакции растений на действие стрессоров. Природа неспецифических реакций. Стрессовые белки и их функции.

9.2. Водный дефицит. Классификация растений по их устойчивости к засухе. Осмотический и гидростатический потенциалы у разных по засухоустойчивости растений. Регуляция осмотического потенциала давления с помощью осмолитов. Важнейшие протекторы белков, нуклеиновых кислот.

9.3. Типы почвенного засоления. Галофиты и гликофиты. Повреждающее действие солей. Адаптация растений к осмотическому и токсическому действию солей. Протекторные белки, синтезирующиеся в растениях при солевом стрессе. Роль плазмалеммы и тонопласта в поддержании низких концентраций  $\text{Na}^+$  в цитоплазме при засолении. Стратегия избегания накопления ионов в активно метаболизирующих тканях и генеративных органах в условиях засоления.

9.4. Экстремальные температуры. Структурные перестройки клеточных мембран при температурных адаптациях. Роль изменения

химического состава жирных кислот и соотношения насыщенных и ненасыщенных жирных в температурных адаптациях.

9.5. Устойчивость растений к отрицательным температурам. Способы предотвращения образования льда в клетках. Химическая природа и механизмы действия биологических веществ антифризов. Приемы, позволяющие повысить морозоустойчивость растений.

9.6. Активные формы кислорода (АФК) – индукторы окислительного стресса. Токсическое действие АФК. Вклад фотосинтетической и дыхательной ЭТЦ в генерацию АФК. Антиоксидантные системы клетки.

9.7. Аноксия и гипоксия. Растения, устойчивые к недостатку кислорода. Роль гликолиза в адаптации растений к недостатку кислорода. Анатомические особенности растений, устойчивых к аноксии и гипоксии. Роль гормонов в адаптации к анаэробизму. Ответная реакция растений на резкое снижение содержания кислорода в среде.

9.8. Токсичность тяжелых металлов (ТМ) для растений. Механизмы защиты растений от ТМ: Видоспецифичность в чувствительности и устойчивости растений к избытку и недостатку тяжелых металлов в среде. Фиторемедиация.

9.9. Фитоиммунология как составная часть общей иммунологии. Двухфазность ответа растений на внедрение патогена. Элиситоры. Факторы, обеспечивающие проникновение патогена и его питание внутри растения; факторы, обеспечивающие преодоление защитной реакции растения. Роль вторичных метаболитов в устойчивости. Локализация синтеза и накопления вторичных метаболитов на уровне клетки, ткани, органа, целого растения. Фитоалексины.

## **10. Взаимодействие физиологических процессов.**

Донорно-акцепторные взаимодействия как основа эндогенной регуляции фотосинтеза в системе растительного организма. Механизм эндогенной регуляции в системе растения: потоки углерода, используемые на синтез различных соединений и их распределение по тканям и органам. Теория фотосинтетической продуктивности. Донорно-акцепторные отношения, реутилизация и круговорот минеральных элементов в растении. Системы регуляции и их иерархия в растении.

### **Список основных рекомендованных источников.**

1. Лутова Л. А. Биотехнология высших растений: учебник – СПб.: БХВ-Петербург, 2010, - 239 с.
2. Льюин Б. Гены. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012. – 896 с.
3. Медведев С. С. Физиология растений: учебник. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013, - 512 с.
4. Молекулярно-генетические и биохимические методы в современной биологии растений/ под ред. Вл. В. Кузнецова, В. В. Кузнецова, Г. А. Романова. Эл. Изд. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 487 с. -

5. Хелдт Г.-В. Биохимия растений. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 463 с.

#### **Список дополнительных рекомендованных источников.**

1. Албертс Б., Брэй Д., Льюис Дж. и др. Молекулярная биология клетки. 2-ое изд., переработанное и дополненное. М.: Мир, 1994 г.
2. Бутенко Р. Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. М.: ФБК-ПРЕСС, 1999 г., 160 с.
3. Головкин Т. К. Дыхание растений. Физиологические аспекты. СПб.: Наука, 1999 г., 204 с.
4. Дьяков Ю. Т., Озерцовская О. Л., Джавахия В. Г., Багирова С. Ф. Общая и молекулярная фитопатология. М.: Общество фитопатологов, 2001 г., 302 с.
5. Кабата-Пендиас З. А., Пендиас С. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989 г., 439 с.
6. Кузнецов В. В., Дмитриева Г. А. Физиология растений. М.: Высшая школа, 2005. – 736 с.
7. Лутова Л. А., Проворов Н. А., Тиходеев О. Н. и др. Генетика развития растений. СПб.: Наука, 2000 г., 539 с.
8. Мокронос А. Т., Гавриленко В. Ф. Фотосинтез: Физиолого-экологические и биохимические аспекты. М.: изд-во МГУ, 1992 г., 319 с.
9. Полевой В. В., Саламатова Т. С. Физиология роста и развития растений. Л.: изд. ЛГУ, 1991, 240 с.
10. Скулачев В. П. Биоэнергетика. Мембранные преобразователи энергии. Биохимия мембран. М.: Высшая школа, 1990 г.
11. Тарчевский И. А. Метаболизм растений при стрессе. Казань: ФЭН, 2001 г., 448 с.
12. Усманов И. Ю., Рахманкулова З. Ф., Кулагин А. Ю. Экологическая физиология растений. М.: Логос, 2001.
13. Учебник по Физиологии растений для студентов биологических специальностей вузов, под ред. И. П. Ермакова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005.
14. Фотосинтез. Под ред. Говинджи. Т.1, 2. М.: Мир, 1987 г., 470 с.
15. Чайлахян М. Х. Регуляция цветения высших растений. М.: Наука, 1988 г., 560 с.
16. Эдвардс Дж., Уокер Д. Фотосинтез С-3 и С-4 растений: механизмы и регуляция. М.: Мир, 1986 г., 598 с.
17. Якушкина Н. И. Физиология растений. 3-е издание. М.: Просвещение, 2003.

Составитель программы:

Н. А. Гаевский, д-р биол. наук, профессор.

Программа соответствует паспорту номенклатуры специальностей научных работников.