

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Биологический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан биологического
факультета

М.П. Киричников/

20 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Генетика

Уровень высшего образования:
специалитет

Направление подготовки (специальность):

06.05.02 ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ БИОЛОГИЯ

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании Учебно-методического совета факультета

(протокол № 2, дата)

16.02.2023

Москва 2023

Рабочая программа дисциплины «Генетика» разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 06.05.02 «ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ БИОЛОГИЯ» (образовательные программы специалитета «Общая биология и экология» и «Физико-химическая биология»).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В.Ломоносова 20.01.2022 года.

Год приема на обучение 2023.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к блоку «Общепрофессиональные дисциплины» ОПОП. Изучается в 3 (программа «Физико-химическая биология») или 4 семестре (программа «Общая биология»).

Программа дисциплины "Генетика" предназначена для подготовки студентов-биологов. Изучение дисциплины «Генетика» направлено на получение фундаментальных базовых знаний о природе наследственного материала, закономерностях наследования генетических признаков, закономерностях изменчивости на всех уровнях организации живой материи. Студенты получают современные представления о структуре и функциях генов, механизмах и способах регуляции их действия, репликации, рекомбинации и репарации ДНК. Приобретают знания об основах генетической инженерии, трансгенных организмах, генотерапии.

Цели и задачи освоения дисциплины

Цель данного курса лекций – раскрыть сущность наследственности и изменчивости на разных уровнях организации жизни – молекулярном, клеточном, организменном и популяционном; показать интегрирующую роль генетики среди других биологических наук; разъяснить логику генетических исследований; получить представления о современных концепциях генетики и механизмах генетической регуляции молекулярно-клеточных процессов, показать практическое значение генетики для сельского хозяйства, медицины, биотехнологии и других областей человеческой деятельности.

Задачи:

1. создание у студентов современных представлений об основных принципах и подходах генетики, методах генетического анализа;
2. формирование представлений об основных закономерностях наследования признаков и генетического анализа у прокариот и эукариот, генетической рекомбинации, механизмах ядерной и неядерной наследственности, генетической детерминации пола.
3. создание базовых представлений о видах изменчивости, ее механизмах и биологических последствиях;
4. формирование современных представлений о структуре и функциях гена, о структуре генома и функциях его отдельных частей;
5. создание фундаментальных представлений о молекулярных механизмах генетических процессов (репликации, репарации и рекомбинации ДНК), мутационного процесса, роли мобильных генетических элементов, регуляции действия генов;
6. создание базовых представлений об основах генетической инженерии;
7. формирование представлений о генетических процессах в природных популяциях и молекулярно-генетических основах эволюции;
8. ознакомление с основами генетики человека, проблемами и перспективами генотерапии.

2. Входные требования

Дисциплины, которые должны быть освоены для начала освоения дисциплины «Генетика»: математика, информатика, математические методы в биологии, общая и неорганическая, органическая, аналитическая химия, физика, зоология беспозвоночных, зоология позвоночных, ботаника высших растений, микология и альгология, цитология.

Освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее для следующих дисциплин и практикумов: «Теория эволюции», «Генетика развития растений», «Генетика развития животных», «Геномика», «Генетическая инженерия белков», «Проблемы современной генетики», «Молекулярная генетика», практики.

3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины

Способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации.

Способность использовать современные информационно-коммуникационные технологии в академической и профессиональной сферах.

Способность использовать экологическую грамотность и базовые знания в области физики, химии, наук о Земле и биологии в профессиональной и социальной деятельности.

Способность применять принципы структурной и функциональной организации биологических объектов и знания механизмов гомеостатической регуляции, владение основными физиологическими методами анализа и оценки состояния живых систем, понимания особенности биологии человека, его биосоциальной природы.

Планируемые результаты обучения по дисциплине

ЗНАТЬ: теоретические основы классической и молекулярной генетики; механизмы реализации генетической информации; основные методы и объекты генетики; фундаментальные современные проблемы генетики а также практическое значение генетики для сельского хозяйства, медицины, биотехнологии и других областей человеческой деятельности.

УМЕТЬ: анализировать учебную и научную литературу по генетике, обобщать известные факты, формировать и излагать собственное мнение по интересующим вопросам.

ВЛАДЕТЬ: логикой генетического эксперимента

4. Формат обучения очный

4. Объем модуля

Для программы «Общая биология»

Общая трудоемкость модуля – 4 з.е. (144 ч).

Аудиторная нагрузка – 96 ч, из них 48 ч в форме лекционных занятий, 48 ч в форме семинарских и практических занятий.

Самостоятельная работа – 48 ч.

Форма промежуточной аттестации – зачет, экзамен.

Для программы «Физико-химическая биология»:

Общая трудоемкость модуля – 5 з.е. (180 ч).

Аудиторная нагрузка – 126 ч, из них 54 ч в форме лекционных занятий, 72 ч в форме семинарских и практических занятий.

Самостоятельная работа – 54 ч.

Форма промежуточной аттестации – зачет, экзамен.

6. Содержание и структура дисциплины

Программа «Общая биология»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины Форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского и практического типа	Всего	
Предмет и история генетики. Природа генетического материала	8	4	4	8	2 Опрос
Генетический анализ. Основные закономерности наследования.	17	8	8	16	2 Опрос, контрольная работа
Генетическая детерминация пола и наследование признаков, сцепленных с полом.	5	2	4	4	2 Домашнее задание, опрос
Сцепленное наследование и кроссинговер.	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, практическая работа
Нехромосомное наследование	5	2	2	4	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа, практическая работа
Генетические основы изменчивости	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа, практическая работа
Современные представления о гене. Генетическая регуляция процессов онтогенеза	9	4	4	8	2 Опрос, контрольная работа, практическая работа

Генетические процессы в популяциях. Молекулярно-генетические основы эволюции	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа, практическая работа
Основы генетики человека.	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Генетический контроль и молекулярные механизмы репликации	5	3	3	6	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Генетическая рекомбинация. Генетический анализ у прокариот	11	5	5	10	2 Опрос, контрольная работа
Мобильные генетические элементы	7	3	3	6	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Генетический контроль мутационного процесса. Генетический контроль репарационных процессов	9	4	4	8	2 Опрос, контрольная работа
Строение и функционирование генов. Геном и геномика	5	2	2	4	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Молекулярные механизмы регуляции действия генов	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Основы генетической инженерии. Генотерапия: подходы, проблемы и перспективы	7	3	3	6	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Промежуточная аттестация – зачет, экзамен	10				10
	144	48	48	96	48

Программа «Физико-химическая биология»

					В том числе
--	--	--	--	--	-------------

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского и практического типа	Всего	
Форма промежуточной аттестации по дисциплине					
Предмет и история генетики. Природа генетического материала	8	4	4	8	2 Опрос
Генетический анализ. Основные закономерности наследования.	17	8	8	16	2 Опрос, контрольная работа
Генетическая детерминация пола и наследование признаков, сцепленных с полом.	5	2	4	4	2 Домашнее задание, опрос
Сцепленное наследование и кроссинговер.	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, практическая работа
Нехромосомное наследование	5	2	2	4	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа, практическая работа
Генетические основы изменчивости	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа, практическая работа
Современные представления о гене. Генетическая регуляция процессов онтогенеза	9	4	4	8	2 Опрос, контрольная работа, практическая работа
Генетические процессы в популяциях. Молекулярно-генетические основы эволюции	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа, практическая работа

Основы генетики человека.	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Генетический контроль и молекулярные механизмы репликации	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Генетическая рекомбинация. Генетический анализ у прокариот	9	4	4	8	2 Опрос, контрольная работа
Мобильные генетические элементы	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Генетический контроль мутационного процесса. Генетический контроль репарационных процессов	9	4	4	8	2 Опрос, контрольная работа
Строение и функционирование генов. Геном и геномика	7	3	3	6	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Молекулярные механизмы регуляции действия генов	9	4	4	8	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Основы генетической инженерии. Генотерапия: подходы, проблемы и перспективы	7	3	3	6	2 Домашнее задание, опрос, контрольная работа
Промежуточная аттестация – зачет, экзамен	10				10
	180	54	72	126	54

6. Программа дисциплины

Программа «Общая биология»

Введение. Предмет и история генетики.

Предмет генетики. Наследственность и изменчивость. Ген, генотип и фенотип. История генетики. Место генетики среди биологических дисциплин. Значение генетики для решения задач медицины, биотехнологии, экологии и селекции.

Природа генетического материала.

Генетическая информация. Локализация генов в хромосомах. Роль цитоплазматических органелл в передаче наследственной информации. Деление клетки. Митоз. Мейоз. Гаметогенез. Синапсис (конъюгация) хромосом. Кариотип.

Нуклеиновые кислоты, их структура, свойства и функции. Генетический код.

Генетический анализ

Цели и принципы генетического анализа.

Наследственный признак. Признаки качественные и количественные, элементарные и комплексные. Принцип анализа единичных признаков.

Методы генетического анализа.

Основные закономерности наследования.

Моногибридное и полигибридное скрещивания. Аллели и типы их взаимодействий. Статистический характер расщеплений. Цитологические основы законов наследования. Условия выполнения менделевских закономерностей наследования признаков.

Взаимодействие генов: комплементарность, эпистаз, полимерия (кумулятивная и некумулятивная). Биохимические основы взаимодействия генов. Особенности наследования количественных признаков (полигенное наследование).

Представление о генотипе как сложной системе взаимодействующих генов. Плейотропия.

Генетическая детерминация пола и наследование признаков, сцепленных с полом.

Типы детерминации пола. Половые хромосомы. Наследование признаков, сцепленных с полом. Наследование при нерасхождении половых хромосом.

Сцепленное наследование и кроссинговер

Сцепленное наследование признаков. Группы сцепления. Кроссинговер. Множественный кроссинговер. Коинциденция. Интерференция. Линейное расположение генов в хромосомах. Генетические карты. Митотический кроссинговер.

Хромосомная теория наследственности и роль Т. Моргана в ее формировании.

Нехромосомное наследование

Критерии нехромосомного наследования. Материнский эффект. Пластидная наследственность. Митохондриальная наследственность. Организация геномов хлоропластов и митохондрий. Взаимодействие ядерных и неядерных генов. Инфекционные факторы и неядерная наследственность.

Генетические основы изменчивости

Понятие о наследственной и ненаследственной (модификационной) изменчивости. Взаимодействие генотипа и окружающей среды. Норма реакции генотипа. Пенетрантность и экспрессивность.

Комбинативная изменчивость, механизмы ее возникновения и роль в эволюции.

Геномные изменения: полиплоидия (эуплоидия и анеуплоидия). Автополиплоиды. Аллополиплоиды. Межвидовая гибридизация.

Хромосомные перестройки. Внутри- и межхромосомные перестройки: делеции, дупликации, инверсии, транслокации, транспозиции.

Генные мутации. Классификация генных мутаций.

Спонтанный мутагенез. Механизмы возникновения генных мутаций. Гены мутаторы и антимутаторы.

Индуктированный мутагенез. Мутагены: физические и химические. Механизмы их действия. Первичные (предмутационные) повреждения ДНК. Роль процессов репарации в мутагенезе.

Многоэтапность и генетический контроль мутационного процесса. Антимутагены. Мутагены окружающей среды и методы их тестирования.

Генетический контроль мутационного процесса. Спонтанный мутагенез. Основные факторы спонтанного мутагенеза. Индуцированный мутагенез.

Современные представления о гене.

Ген и аллель. Функциональный и рекомбинационный тесты на аллелизм. Псевдоаллелизм. Структурная организация прокариотического и эукариотического генов. Процессинг эукариотической мРНК, сплайсинг.

Явления, усложняющие традиционные представления о гене: Современное определение гена.

Генетическая регуляция процессов онтогенеза

Онтогенез как реализация наследственно детерминированной программы развития. Действие генов в раннем эмбриогенезе. Гомеостатические гены. Клонирование организмов. Тканеспецифическая активность генов. Взаимоотношения генов и клеток в морфогенезе.

Генетика соматических клеток. Гетерокарионы. Стволовые клетки. Химерные организмы. Генетика иммунитета.

Генетические процессы в популяциях

Вид и популяция. Частоты фенотипов, генотипов, генов и аллелей. Математические модели в популяционной генетике. Закон Харди-Вайнберга.

Генетическая гетерогенность популяций. Факторы динамики генетического состава популяции: ограничение численности (дрейф генов, эффект «бутылочного горлышка»), мутации, миграции, естественный отбор. Взаимодействие факторов динамики генетической структуры в природных популяциях. Внутрипопуляционный генетический полиморфизм. Генофонд. Генетический груз. Приспособленность. Коэффициент отбора. Роль генетических факторов в эволюции.

Молекулярно-генетические основы эволюции.

Задачи геносистематики. Значение генетики популяций для медицинской генетики, селекции, решения проблем сохранения генофонда и биологического разнообразия.

Основы генетики человека.

Человек как объект генетических исследований. Методы генетики человека. Особенности генома человека. Проблемы генетики человека и медицинской генетики. Врожденные и наследственные болезни, их распространение в человеческих популяциях. Хромосомные и генные болезни. Наследственные синдромы. Моногенные и полигенные заболевания человека. Болезни с наследственной предрасположенностью. Диагностика заболеваний генетическими методами. Митохондриальные болезни человека. Причины возникновения наследственных и врожденных заболеваний.

Генетическая паспортизация.

Генетическая опасность радиации и химических веществ. Генотоксикология.

Перспективы лечения наследственных болезней. Медико-генетическое консультирование.

Проблемы и перспективы генотерапии

Задачи генотерапии. Стратегии генотерапии: *in vivo* и *ex vivo*. Векторы на основе вирусов животных и невирусные способы доставки «терапевтического» гена в больные клетки. Альтернативные подходы (РНК-интерференция и др). Методические подходы к генотерапии рака. Достижения и проблемы генотерапии.

Генетический контроль и молекулярные механизмы репликации

Структура ДНК. Модель репликации по Уотсону и Крику - полуконсервативный способ репликации ДНК. Другие модели репликации. Эксперимент Мезельсона и Сталя, подтвердивший модель полуконсервативной репликации (для студентов генетиков – на семинаре).

ДНК-полимераза Корнберга, её свойства и значение её открытия. Физиологическая роль ДНК-полимеразы I. Свойства *polA*-мутанта. Методологическое значение эксперимента Кэрнса и Де Лючия по выделению и изучению *polA*-мутанта.

Взаимодействие генетического подхода с биохимическими и физическими методами в изучение синтеза ДНК у *E.coli*. Использование условно-летальных мутантов (*ts*-мутантов) для исследования жизненно важных процессов. Роль генетического анализа в исследовании сложных биологических процессов.

Репликационная вилка. Понятие о репликоне. Особенности организации и репликации хромосом про- и эукариотов.

Основные принципы репликации: матричный процесс, комплементарный, полуконсервативный, однонаправленный (направления роста и полярности цепей ДНК), полунепрерывный - отстающая и лидирующая цепи, необходимость в праймерах. Структура ориджина репликации у *E.coli*. Инициация репликации и расплетание двойной спирали ДНК. Схема событий в вилке репликации. Полигенный контроль процесса репликации. Представление о функциях основных белков, принимающих участие в репликации ДНК. Кооперативное действие белков репликационной вилки; праймосома, реплисома.

Репликация и метилирование ДНК. Роль метилазы Dam у *E.coli*.

Другие типы синтезов ДНК.

Генетическая рекомбинация

Генетическая рекомбинация в широком смысле. Межмолекулярная и внутримолекулярная рекомбинация ДНК нуждается в тесном контакте (синапсисе) между рекомбинирующими молекулами.

Мейотическая рекомбинация: перекомбинация (независимая сортировка) негомологичных хромосом и обмен участками гомологичных хромосом в результате кроссинговера.

Типы рекомбинации: гомологичная или общая рекомбинация (кроссинговер), сайт-специфическая рекомбинация, транспозиция, незаконная рекомбинация.

Общая схема кроссинговера. Эктопическая рекомбинация – частный случай гомологичной рекомбинации. Образование делеций и дупликаций в результате эктопической рекомбинации (межмолекулярная и внутримолекулярная рекомбинация). Биологическое значение гомологичной рекомбинации и эктопической рекомбинации в частности.

Молекулярные механизмы рекомбинации: модель Холлидея (для студентов генетиков – на семинаре). Генетический контроль и энзимология общей рекомбинации у *E.coli*, роль белка RecA. Гетеродуплекс и генная конверсия; схема конверсии гена на примере мейоза у дрожжей.

Сайт-специфическая рекомбинация: схема интеграции и исключения ДНК фага лямбда. Структура рекомбинационных сайтов attP и attB.

Генетический анализ у прокариот

Особенности микроорганизмов как объекта генетических исследований. Основные термины: штамм, дикий тип, клон, клонирование как метод генетического анализа в культуре микроорганизмов. Признаки микробных культур, прототрофы, ауксотрофы. Методы, применяемые в генетическом анализе у бактерий и бактериофагов: клональный анализ, метод селективных сред, метод отпечатков и др.

Генетические элементы бактериальной клетки: хромосома, плазмиды, профаги, мигрирующие элементы. Организация генетического аппарата у бактерий (топология бактериальных геномов). Общее представление о плазмидах и их разнообразии. Строгий и ослабленный контроль репликации. Плазмиды конъюгативные и неконъюгативные. Плазмиды с узким и широким кругом хозяев. Гены устойчивости к антибиотикам. Характеристика плазмид ColE1, F-фактора, RK2, RSF1010.

Процессы передачи генетической информации у бактерий, приводящие к рекомбинации генетического материала, и их особенности.

Конъюгация у бактерий. Открытие конъюгации Дж.Ледербергом и Э.Татумом (для самостоятельного изучения). Структура F-фактора. Перенос конъюгативных плазмид на примере F-фактора у *E.coli*. Схема интеграции F-фактора в хромосому. Образование и свойства Hfr-штаммов. Схема переноса хромосомных генов при конъюгации. Рекомбинация после Hfr-конъюгации. Методы генетического картирования при

конъюгации (для семинарских занятий). Кольцевая карта хромосомы *E.coli*. Образование F'(прим)-факторов, сексдукция, меродиплоиды. Мобилизация неконъюгативных плазмид.

Трансдукция у бактерий. Открытие трансдукции Дж.Ледербергом и Н.Циндером (для самостоятельного изучения). Общее представление о бактериофагах. Схема морфологического строения фага T4. Фаги вирулентные и умеренные, размножение фагов, литический и лизогенный циклы. Профаг, лизогенные клетки. Лизогенная (фаговая) конверсия – пример горизонтального переноса генов. Механизм общей трансдукции. Схема интеграции фага λ в хромосому *E.coli* и образование трансдуцирующего фага. Специфическая трансдукция, опосредованная фагом λ . Использование трансдукции для картирования генов (для семинарских занятий у генетиков).

Трансформация. Открытие трансформации Ф.Гриффитом (для самостоятельного изучения). Компетентность, стадии трансформации. Генетическая рекомбинация при трансформации. Использование трансформации для картирования генов (для семинарских занятий у генетиков).

Транспозиция

Открытие подвижных элементов. Схема строения подвижных элементов и их инсерции в ДНК-мишень.

Роль подвижных элементов в регуляции генного действия и в хромосомных перестройках.

Подвижные элементы прокариот: классификация, структурная организация IS-элементов, составных и несоставных (комплексных) транспозонов, генетический контроль и основные механизмы транспозиции (консервативный и репликативный). Роль подвижных элементов и плазмид в горизонтальном переносе генов у прокариотов.

Подвижные элементы эукариот: элементы прокариотического типа. Ac и Ds-элементы у кукурузы как представители эукариотических элементов класса II (ДНК-транспозонов).

Подвижные элементы эукариот: ретротранспозоны (ретроэлементы). Механизм транспозиции ретротранспозонов. Типы ретроэлементов. Структурная организация LTR-ретротранспозонов на примере ретротранспозона Ty1 дрожжей. Сравнительная характеристика не-LTR ретротранспозонов SINE и LINE.

Геномы и ретротранспозоны. Типы последовательностей в геноме человека. Мобильные элементы и болезни человека. Alu-элементы.

Биологическая роль подвижных элементов в онтогенезе и филогенезе. Использование подвижных элементов.

Генетический контроль мутационного процесса

Проблемы стабильности генетического материала. Основные повреждения ДНК. Эндогенные и экзогенные ДНК-повреждающие факторы. Повреждения ДНК и их основные следствия: возникновение мутаций и гибель клетки. Повреждение ДНК – неотъемлемый аспект жизни в биосфере.

Генетический код и его свойства.

Точковые мутации. Замены оснований: транзиции и трансверсии. Точковые мутации в кодирующих участках на молекулярном уровне: молчание мутации, миссенс-мутации нейтральные (неконсервативные) и радикальные (неконсервативные), нонсенс-мутации, мутации со сдвигом рамки считывания (frameshift).

Генетический контроль мутационного процесса. Темпы спонтанного мутирования. Уровень спонтанного мутирования у человека.

Механизмы спонтанного мутагенеза: роль генетических процессов (репликация, репарация, рекомбинация). Гены мутаторы и антимутаторы. Связь мутабельности с функциями аппарата репликации. Мутаторный и антимутаторный эффект ts-мутаций по гену 43 фага T4. Ошибки репликации, приводящие к инсерциям и делециям. Микросателлиты, встречаемость у человека, гетерозиготность по количеству повторов, использование микросателлитов в качестве молекулярных маркеров. Экспансия повторов и

наследственные заболевания человека (синдром хрупкой Х-хромосомы, болезнь Хантингтона, феномен генетической антиципации).

Понятие о мутагенных индуцибельных путях репарации. Мутагенез, опосредованный через процессы рекомбинации.

Механизмы спонтанного мутагенеза: химическая модификация оснований ДНК (образование транзиций в результате дезаминирования оснований) и их утрата (образование апириимидиновых и апуриновых сайтов в результате гидролиза гликозидной связи между основанием и дезоксирибозой), окислительные нарушения ДНК.

Механизмы автономной нестабильности генома, роль мобильных генетических элементов. Гипермутабельные гены.

Индукцированный мутагенез. Химические агенты. Механизмы действия аналогов оснований, интеркалирующих агентов, алкилирующих агентов, соединений, реагирующие с ДНК непосредственно или после метаболических превращений. Понятие о мутагенных индуцибельных путях репарации; УФ-мутагенез. Физические агенты: УФ-излучение и ионизирующее излучение.

Мутагенность и канцерогенность. Гены-супрессоры опухолей у человека (ген p53).

Генетический контроль репарационных процессов

Основные ферменты, участвующие в репарации (эндонуклеазы, экзонуклеазы, ДНК-полимеразы, ДНК-лигаза, хеликазы). Репарация ДНК путем прямого восстановления нарушений.

Генетический контроль и механизмы эксцизионной и пострепликативной репарации. Вырезание поврежденных оснований. Вырезание нуклеотидов. Репарация неспаренных оснований. Эксцизионная репарация и гены-мутаторы. Пострепликативная рекомбинационная репарация.

Понятие о мутагенных индуцибельных путях репарации. SOS-репарация у *E.coli* и её генетический контроль. SOS-репарация и УФ-индуцированный мутагенез.

Роль репарационных систем в поддержании стабильности генетического аппарата в филогенезе и онтогенезе. Нарушения в процессах репарации как причина наследственных молекулярных болезней человека.

Молекулярные механизмы регуляции действия генов

Уровни регуляции экспрессии генов.

Хроматин. Эухроматин и гетерохроматин. Иерархия упаковки ДНК и хроматина в метафазной хромосоме. Структура нуклеосомы – базовой единицы хроматина. Динамичная структура хроматина. Изменение экспрессии генов, ассоциированное с ацетилированием гистонов. Гипотеза «гистонового кода» и её спорный характер. Метилирование ДНК и его роль в регуляции экспрессии генов. Системы метилирования и наследование паттернов метилирования.

Регуляция на уровне транскрипции. ДНК как транскрипционная матрица. Понятие о транскрипционной единице.

Принципы регуляции действия генов у прокариот. РНК-полимераза прокариот и структура промоторов. Структура и функционирование rho-независимых терминаторов транскрипции. Принципы негативного и позитивного контроля; регуляторные белки, индукторы, корепрессоры и ингибиторы.

Схема строения и функционирования прокариотического гена, кодирующие и некодирующие гены. Некодирующая РНК у прокариот.

Оперонные системы регуляции (теория Жакоба и Моно). Принципы негативного и позитивного контроля на примере лактозного оперона *E.coli*. Генетический анализ лактозного оперона. Фенотип гаплоидных и частично диплоидных гетерозигот с мутацией в гене *lacI*. Фенотип гаплоидных и частично диплоидных гетерозигот с мутацией O^c в операторе. Полярные мутации у прокариот и их связь с оперонной организацией генов и особенностью транскрипции и трансляции.

Принципы регуляции действия генов у эукариот. РНК-полимеразы и особенности инициации транскрипции у эукариот. Особенности организации регуляторной части генов, структура промотора РНК-полимеразы II. Структура транскрипционного комплекса у человека.

Схема строения и функционирования эукариотического гена, кодирующие и некодирующие гены. Связь между сложностью организмов, размером геномов, размеров генов и межгенных участков.

Посттранскрипционный процессинг РНК. Альтернативный сплайсинг и его роль. Регуляторные РНК.

Регуляторные РНК у бактерий, которые функционируют посредством спаривания с мРНК (антисмысловые РНК), – посттранскрипционный уровень регуляции. Использование антисмысловых РНК в функциональном анализе у про- и эукариот.

Некодирующие РНК у эукариот. РНК-интерференция и РНК-сайленсинг. Малые регуляторные РНК (siRNA и miRNA) у эукариот, их сходства и различия. РНК-интерференция как один из механизмов регуляции действия генов у эукариот с помощью малых РНК. Открытие РНК-интерференции, её основные свойства, механизм. Источники двуцепочечной РНК и биологическая роль РНК-интерференции. РНК-интерференция как инструмент функциональной геномики. Образование и основная функция miRNA. Связь между генетическим контролем и механизмами функционирования miРНК и siРНК. Механизм действия малых РНК и характер спаривания мРНК-мишенью. Основные активности малых регуляторных РНК: пост-транскрипционное разрезание мРНК-мишени, трансляционная репрессия мРНК, транскрипционный сайленсинг. Гены miРНК и их локализация. Биологическая роль miРНК и их использование в диагностике.

Многообразие механизмов посттрансляционной регуляции генного действия: роль пептидаз, шаперонов и ковалентной модификации белков у про- и эукариотических организмов.

Сравнительный анализ особенностей регуляции генов у бактерий и эукариот.

Основы генетической инженерии

Суть технологии. Теоретические основы генетической инженерии. Почему необходимо изучать генетическую инженерию. Задачи и методология генетической инженерии. Схема типичного эксперимента.

Системы рестрикции и модификации ДНК. Характеристика рестриктаз II типа. Общие принципы конструирования рекомбинантных молекул.

Методы выделения и синтеза генов. Рестрикционные фрагменты. Полимеразная цепная реакция (ПЦР). Синтез кДНК.

Понятие о векторах. Основные и дополнительные свойства векторов. Векторы на основе плазмид и ДНК фагов. Клонирование в генетической инженерии. Отбор рекомбинантных молекул на примере клонирования с инсерционной инактивацией.

Методы введения рекомбинантных молекул в клетки различных организмов. Трансформация *E.coli* плазмидной ДНК.

Основы генетической инженерии растений. Ti-плазмиды *Agrobacterium tumefaciens*: структурно-функциональная организация и использование для трансформации клеток растений. Технология получения трансгенных растений.

Основы генетической инженерии животных. Векторы клонирования для животных. Введение генов в зародышевые и соматические клетки животных. Методические подходы получения трансгенных животных. Трансгенные животные как биореакторы.

Проблемы генотерапии. Стратегия генной терапии. Заместительная и корректирующая генная терапия. Использование генотерапии для лечения моногенных болезней человека.

ДНК-вакцинация. Преимущества перед традиционными вакцинами.

Значение генетической инженерии для решения задач биотехнологии, сельского хозяйства, медицины и различных отраслей народного хозяйства. Использование методов

генетической инженерии для изучения фундаментальных проблем генетики и других биологических наук. Социальные аспекты генетической инженерии. Этические проблемы получения и использования трансгенных животных. Генетически модифицированные продукты питания – проблема ГМО.

Программа «Физико-химическая биология»

Введение. Предмет и история генетики.

Предмет генетики. Наследственность и изменчивость. Ген, генотип и фенотип. История генетики. Место генетики среди биологических дисциплин. Значение генетики для решения задач медицины, биотехнологии, экологии и селекции.

Природа генетического материала.

Генетическая информация. Локализация генов в хромосомах. Роль цитоплазматических органелл в передаче наследственной информации. Деление клетки. Митоз. Мейоз. Гаметогенез. Синапсис (конъюгация) хромосом. Кариотип.

Нуклеиновые кислоты, их структура, свойства и функции. Генетический код.

Генетический анализ

Цели и принципы генетического анализа.

Наследственный признак. Признаки качественные и количественные, элементарные и комплексные. Принцип анализа единичных признаков.

Методы генетического анализа.

Основные закономерности наследования.

Моногибридное и полигибридное скрещивания. Аллели и типы их взаимодействий. Статистический характер расщеплений. Цитологические основы законов наследования. Условия выполнения менделевских закономерностей наследования признаков.

Взаимодействие генов: комплементарность, эпистаз, полимерия (кумулятивная и некумулятивная). Биохимические основы взаимодействия генов. Особенности наследования количественных признаков (полигенное наследование).

Представление о генотипе как сложной системе взаимодействующих генов. Плейотропия.

Генетическая детерминация пола и наследование признаков, сцепленных с полом.

Типы детерминации пола. Половые хромосомы. Наследование признаков, сцепленных с полом. Наследование при нерасхождении половых хромосом.

Сцепленное наследование и кроссинговер

Сцепленное наследование признаков. Группы сцепления. Кроссинговер. Множественный кроссинговер. Коинциденция. Интерференция. Линейное расположение генов в хромосомах. Генетические карты. Митотический кроссинговер.

Хромосомная теория наследственности и роль Т. Моргана в ее формировании.

Нехромосомное наследование

Критерии нехромосомного наследования. Материнский эффект. Пластидная наследственность. Митохондриальная наследственность. Организация геномов хлоропластов и митохондрий. Взаимодействие ядерных и неядерных генов. Инфекционные факторы и неядерная наследственность.

Генетические основы изменчивости

Понятие о наследственной и ненаследственной (модификационной) изменчивости. Взаимодействие генотипа и окружающей среды. Норма реакции генотипа. Пенетрантность и экспрессивность.

Комбинативная изменчивость, механизмы ее возникновения и роль в эволюции.

Геномные изменения: полиплоидия (эуплоидия и анеуплоидия). Автополиплоиды. Аллополиплоиды. Межвидовая гибридизация.

Хромосомные перестройки. Внутри- и межхромосомные перестройки: делеции, дупликации, инверсии, транслокации, транспозиции.

Генные мутации. Классификация генных мутаций.

Спонтанный мутагенез. Механизмы возникновения генных мутаций. Гены мутаторы и антимутаторы.

Индукцированный мутагенез. Мутагены: физические и химические. Механизмы их действия. Первичные (предмутационные) повреждения ДНК. Роль процессов репарации в мутагенезе.

Многоэтапность и генетический контроль мутационного процесса. Антимутагены. Мутагены окружающей среды и методы их тестирования.

Генетический контроль мутационного процесса. Спонтанный мутагенез. Основные факторы спонтанного мутагенеза. Индуцированный мутагенез.

Современные представления о гене.

Ген и аллель. Функциональный и рекомбинационный тесты на аллелизм. Псевдоаллелизм. Структурная организация прокариотического и эукариотического генов. Процессинг эукариотической мРНК, сплайсинг.

Явления, усложняющие традиционные представления о гене: Современное определение гена.

Генетическая регуляция процессов онтогенеза

Онтогенез как реализация наследственно детерминированной программы развития. Действие генов в раннем эмбриогенезе. Гомеостатические гены. Клонирование организмов.

Тканеспецифическая активность генов. Взаимоотношения генов и клеток в морфогенезе.

Генетика соматических клеток. Гетерокарионы. Стволовые клетки. Химерные организмы. Генетика иммунитета.

Генетические процессы в популяциях

Вид и популяция. Частоты фенотипов, генотипов, генов и аллелей. Математические модели в популяционной генетике. Закон Харди-Вайнберга.

Генетическая гетерогенность популяций. Факторы динамики генетического состава популяции: ограничение численности (дрейф генов, эффект «бутылочного горлышка»), мутации, миграции, естественный отбор. Взаимодействие факторов динамики генетической структуры в природных популяциях. Внутрипопуляционный генетический полиморфизм. Генофонд. Генетический груз. Приспособленность. Коэффициент отбора. Роль генетических факторов в эволюции.

Молекулярно-генетические основы эволюции.

Задачи геносистематики. Значение генетики популяций для медицинской генетики, селекции, решения проблем сохранения генофонда и биологического разнообразия.

Основы генетики человека.

Человек как объект генетических исследований. Методы генетики человека. Особенности генома человека. Проблемы генетики человека и медицинской генетики. Врожденные и наследственные болезни, их распространение в человеческих популяциях. Хромосомные и генные болезни. Наследственные синдромы. Моногенные и полигенные заболевания человека. Болезни с наследственной предрасположенностью. Диагностика заболеваний генетическими методами. Митохондриальные болезни человека. Причины возникновения наследственных и врожденных заболеваний.

Генетическая паспортизация.

Генетическая опасность радиации и химических веществ. Генотоксикология.

Перспективы лечения наследственных болезней. Медико-генетическое консультирование.

Проблемы и перспективы генотерапии

Задачи генотерапии. Стратегии генотерапии: *in vivo* и *ex vivo*. Векторы на основе вирусов животных и невирусные способы доставки «терапевтического» гена в больные клетки. Альтернативные подходы (РНК-интерференция и др). Методические подходы к генотерапии рака. Достижения и проблемы генотерапии.

Генетический контроль и молекулярные механизмы репликации

Структура ДНК. Модель репликации по Уотсону и Крику - полуконсервативный способ репликации ДНК. Другие модели репликации. Эксперимент Мезельсона и Сталя, подтвердивший модель полуконсервативной репликации (для студентов генетиков – на семинаре).

ДНК-полимераза Корнберга, её свойства и значение её открытия. Физиологическая роль ДНК-полимеразы I. Свойства *polA*-мутанта. Методологическое значение эксперимента Кэрна и Де Лючия по выделению и изучению *polA*-мутанта.

Взаимодействие генетического подхода с биохимическими и физическими методами в изучение синтеза ДНК у *E.coli*. Использование условно-летальных мутантов (*ts*-мутантов) для исследования жизненно важных процессов. Роль генетического анализа в исследовании сложных биологических процессов.

Репликационная вилка. Понятие о репликоне. Особенности организации и репликации хромосом про- и эукариотов.

Основные принципы репликации: матричный процесс, комплементарный, полуконсервативный, однонаправленный (направления роста и полярности цепей ДНК), полунепрерывный - отстающая и лидирующая цепи, необходимость в праймерах. Структура ориджина репликации у *E.coli*. Инициация репликации и расплетание двойной спирали ДНК. Схема событий в вилке репликации. Полигенный контроль процесса репликации. Представление о функциях основных белков, принимающих участие в репликации ДНК. Кооперативное действие белков репликационной вилки; праймосома, реплисома.

Репликация и метилирование ДНК. Роль метилазы *Dam* у *E.coli*.

Другие типы синтезов ДНК.

Генетическая рекомбинация

Генетическая рекомбинация в широком смысле. Межмолекулярная и внутримолекулярная рекомбинация ДНК нуждается в тесном контакте (синапсисе) между рекомбинирующими молекулами.

Мейотическая рекомбинация: перекombинация (независимая сортировка) негомологичных хромосом и обмен участками гомолгичных хромосом в результате кроссинговера.

Типы рекомбинации: гомолгичная или общая рекомбинация (кроссинговер), сайт-специфическая рекомбинация, транспозиция, незаконная рекомбинация.

Общая схема кроссинговера. Эктопическая рекомбинация – частный случай гомолгичной рекомбинации. Образование делеций и дупликаций в результате эктопической рекомбинации (межмолекулярная и внутримолекулярная рекомбинация). Биологическое значение гомолгичной рекомбинации и эктопической рекомбинации в частности.

Молекулярные механизмы рекомбинации: модель Холлидея (для студентов генетиков – на семинаре). Генетический контроль и энзимология общей рекомбинации у *E.coli*, роль белка *RecA*. Гетеродуплекс и генная конверсия; схема конверсии гена на примере мейоза у дрожжей.

Сайт-специфическая рекомбинация: схема интеграции и исключения ДНК фага лямбда. Структура рекомбинационных сайтов *attP* и *attB*.

Генетический анализ у прокариот

Особенности микроорганизмов как объекта генетических исследований. Основные термины: штамм, дикий тип, клон, клонирование как метод генетического анализа в культуре микроорганизмов. Признаки микробных культур, прототрофы, ауксотрофы. Методы, применяемые в генетическом анализе у бактерий и бактериофагов: клональный анализ, метод селективных сред, метод отпечатков и др.

Генетические элементы бактериальной клетки: хромосома, плазмиды, профаги, мигрирующие элементы. Организация генетического аппарата у бактерий (топология бактериальных геномов). Общее представление о плазмидах и их разнообразии. Строгий и

ослабленный контроль репликации. Плазмиды конъюгативные и неконъюгативные. Плазмиды с узким и широким кругом хозяев. Гены устойчивости к антибиотикам. Характеристика плазмид ColE1, F-фактора, RK2, RSF1010.

Процессы передачи генетической информации у бактерий, приводящие к рекомбинации генетического материала, и их особенности.

Конъюгация у бактерий. Открытие конъюгации Дж.Ледербергом и Э.Татумом (для самостоятельного изучения). Структура F-фактора. Перенос конъюгативных плазмид на примере F-фактора у *E.coli*. Схема интеграции F-фактора в хромосому. Образование и свойства Hfr-штаммов. Схема переноса хромосомных генов при конъюгации. Рекомбинация после Hfr-конъюгации. Методы генетического картирования при конъюгации (для семинарских занятий). Кольцевая карта хромосомы *E.coli*. Образование F'(прим)-факторов, сексдукция, меродиплоиды. Мобилизация неконъюгативных плазмид.

Трансдукция у бактерий. Открытие трансдукции Дж.Ледербергом и Н.Циндером (для самостоятельного изучения). Общее представление о бактериофагах. Схема морфологического строения фага T4. Фаги вирулентные и умеренные, размножение фагов, литический и лизогенный циклы. Профаг, лизогенные клетки. Лизогенная (фаговая) конверсия – пример горизонтального переноса генов. Механизм общей трансдукции. Схема интеграции фага λ в хромосому *E.coli* и образование трансдуцирующего фага. Специфическая трансдукция, опосредованная фагом λ . Использование трансдукции для картирования генов (для семинарских занятий у генетиков).

Трансформация. Открытие трансформации Ф.Гриффитом (для самостоятельного изучения). Компетентность, стадии трансформации. Генетическая рекомбинация при трансформации. Использование трансформации для картирования генов (для семинарских занятий у генетиков).

Транспозиция

Открытие подвижных элементов. Схема строения подвижных элементов и их инсерции в ДНК-мишень.

Роль подвижных элементов в регуляции генного действия и в хромосомных перестройках.

Подвижные элементы прокариот: классификация, структурная организация IS-элементов, составных и несоставных (комплексных) транспозонов, генетический контроль и основные механизмы транспозиции (консервативный и репликативный). Роль подвижных элементов и плазмид в горизонтальном переносе генов у прокариотов.

Подвижные элементы эукариот: элементы прокариотического типа. Ac и Ds-элементы у кукурузы как представители эукариотических элементов класса II (ДНК-транспозонов).

Подвижные элементы эукариот: ретротранспозоны (ретроэлементы). Механизм транспозиции ретротранспозонов. Типы ретроэлементов. Структурная организация LTR-ретротранспозонов на примере ретротранспозона Ty1 дрожжей. Сравнительная характеристика не-LTR ретротранспозонов SINE и LINE.

Геномы и ретротранспозоны. Типы последовательностей в геноме человека. Мобильные элементы и болезни человека. Alu-элементы.

Биологическая роль подвижных элементов в онтогенезе и филогенезе. Использование подвижных элементов.

Генетический контроль мутационного процесса

Проблемы стабильности генетического материала. Основные повреждения ДНК. Эндогенные и экзогенные ДНК-повреждающие факторы. Повреждения ДНК и их основные следствия: возникновение мутаций и гибель клетки. Повреждение ДНК – неотъемлемый аспект жизни в биосфере.

Генетический код и его свойства.

Точковые мутации. Замены оснований: транзиции и трансверсии. Точковые мутации в кодирующих участках на молекулярном уровне: молчащие мутации, миссенс-мутации

нейтральные (неконсервативные) и радикальные (неконсервативные), нонсенс-мутации, мутации со сдвигом рамки считывания (frameshift).

Генетический контроль мутационного процесса. Темпы спонтанного мутирования. Уровень спонтанного мутирования у человека.

Механизмы спонтанного мутагенеза: роль генетических процессов (репликация, репарация, рекомбинация). Гены мутаторы и антимутаторы. Связь мутабельности с функциями аппарата репликации. Мутаторный и антимутаторный эффект ts-мутаций по гену 43 фага T4. Ошибки репликации, приводящие к инсерциям и делециям. Микросателлиты, встречаемость у человека, гетерозиготность по количеству повторов, использование микросателлитов в качестве молекулярных маркеров. Экспансия повторов и наследственные заболевания человека (синдром фрагильной X-хромосомы, болезнь Хантингтона, феномен генетической антиципации).

Понятие о мутагенных индуцибельных путях репарации. Мутагенез, опосредованный через процессы рекомбинации.

Механизмы спонтанного мутагенеза: химическая модификация оснований ДНК (образование транзиций в результате дезаминирования оснований) и их утрата (образование апириமிдиновых и апуриновых сайтов в результате гидролиза гликозидной связи между основанием и дезоксирибозой), окислительные нарушения ДНК.

Механизмы автономной нестабильности генома, роль мобильных генетических элементов. Гипермутабельные гены.

Индукцированный мутагенез. Химические агенты. Механизмы действия аналогов оснований, интеркалирующих агентов, алкилирующих агентов, соединений, реагирующие с ДНК непосредственно или после метаболических превращений. Понятие о мутагенных индуцибельных путях репарации; УФ-мутагенез. Физические агенты: УФ-излучение и ионизирующее излучение.

Мутагенность и канцерогенность. Гены-супрессоры опухолей у человека (ген p53).

Генетический контроль репарационных процессов

Основные ферменты, участвующие в репарации (эндонуклеазы, экзонуклеазы, ДНК-полимеразы, ДНК-лигаза, хеликазы). Репарация ДНК путем прямого восстановления нарушений.

Генетический контроль и механизмы эксцизионной и пострепликативной репарации. Вырезание поврежденных оснований. Вырезание нуклеотидов. Репарация неспаренных оснований. Эксцизионная репарация и гены-мутаторы. Пострепликативная рекомбинационная репарация.

Понятие о мутагенных индуцибельных путях репарации. SOS-репарация у E.coli и её генетический контроль. SOS-репарация и УФ-индуцированный мутагенез.

Роль репарационных систем в поддержании стабильности генетического аппарата в филогенезе и онтогенезе. Нарушения в процессах репарации как причина наследственных молекулярных болезней человека.

Молекулярные механизмы регуляции действия генов

Уровни регуляции экспрессии генов.

Хроматин. Эухроматин и гетерохроматин. Иерархия упаковки ДНК и хроматина в метафазной хромосоме. Структура нуклеосомы – базовой единицы хроматина. Динамичная структура хроматина. Изменение экспрессии генов, ассоциированное с ацетилированием гистонов. Гипотеза «гистонового кода» и её спорный характер. Метилирование ДНК и его роль в регуляции экспрессии генов. Системы метилирования и наследование паттернов метилирования.

Регуляция на уровне транскрипции. ДНК как транскрипционная матрица. Понятие о транскрипционной единице.

Принципы регуляции действия генов у прокариот. РНК-полимераза прокариот и структура промоторов. Структура и функционирование rho-независимых терминаторов

транскрипции. Принципы негативного и позитивного контроля; регуляторные белки, индукторы, корепрессоры и ингибиторы.

Схема строения и функционирования прокариотического гена, кодирующие и некодирующие гены. Некодирующая РНК у прокариот.

Оперонные системы регуляции (теория Жакоба и Моно). Принципы негативного и позитивного контроля на примере лактозного оперона *E.coli*. Генетический анализ лактозного оперона. Фенотип гаплоидных и частично диплоидных гетерозигот с мутацией в гене *lacI*. Фенотип гаплоидных и частично диплоидных гетерозигот с мутацией O^c в операторе. Полярные мутации у прокариот и их связь с оперонной организацией генов и особенностью транскрипции и трансляции.

Принципы регуляции действия генов у эукариот. РНК-полимеразы и особенности инициации транскрипции у эукариот. Особенности организации регуляторной части генов, структура промотора РНК-полимеразы II. Структура транскрипционного комплекса у человека.

Схема строения и функционирования эукариотического гена, кодирующие и некодирующие гены. Связь между сложностью организмов, размером геномов, размеров генов и межгенных участков.

Посттранскрипционный процессинг РНК. Альтернативный сплайсинг и его роль.

Регуляторные РНК.

Регуляторные РНК у бактерий, которые функционируют посредством спаривания с мРНК (антисмысловые РНК), – посттранскрипционный уровень регуляции. Использование антисмысловых РНК в функциональном анализе у про- и эукариот.

Некодирующие РНК у эукариот. РНК-интерференция и РНК-сайленсинг. Малые регуляторные РНК (siRNA и miRNA) у эукариот, их сходства и различия. РНК-интерференция как один из механизмов регуляции действия генов у эукариот с помощью малых РНК. Открытие РНК-интерференции, её основные свойства, механизм. Источники двуцепочечной РНК и биологическая роль РНК-интерференции. РНК-интерференция как инструмент функциональной геномики. Образование и основная функция miRNA. Связь между генетическим контролем и механизмами функционирования miРНК и siРНК. Механизм действия малых РНК и характер спаривания мРНК-мишенью. Основные активности малых регуляторных РНК: пост-транскрипционное разрезание мРНК-мишени, трансляционная репрессия мРНК, транскрипционный сайленсинг. Гены miРНК и их локализация. Биологическая роль miРНК и их использование в диагностике.

Многообразие механизмов посттрансляционной регуляции генного действия: роль пептидаз, шаперонов и ковалентной модификации белков у про- и эукариотических организмов.

Сравнительный анализ особенностей регуляции генов у бактерий и эукариот.

Основы генетической инженерии

Суть технологии. Теоретические основы генетической инженерии. Почему необходимо изучать генетическую инженерию. Задачи и методология генетической инженерии. Схема типичного эксперимента.

Системы рестрикции и модификации ДНК. Характеристика рестриктаз II типа. Общие принципы конструирования рекомбинантных молекул.

Методы выделения и синтеза генов. Рестрикционные фрагменты. Полимеразная цепная реакция (ПЦР). Синтез кДНК.

Понятие о векторах. Основные и дополнительные свойства векторов. Векторы на основе плазмид и ДНК фагов. Клонирование в генетической инженерии. Отбор рекомбинантных молекул на примере клонирования с инсерционной инактивацией.

Методы введения рекомбинантных молекул в клетки различных организмов. Трансформация *E.coli* плазмидной ДНК.

Основы генетической инженерии растений. Ti-плазмиды *Agrobacterium tumefaciens*: структурно-функциональная организация и использование для трансформации клеток растений. Технология получения трансгенных растений.

Основы генетической инженерии животных. Векторы клонирования для животных. Введение генов в зародышевые и соматические клетки животных. Методические подходы получения трансгенных животных. Трансгенные животные как биореакторы.

Проблемы генотерапии. Стратегия генной терапии. Заместительная и корректирующая генная терапия. Использование генотерапии для лечения моногенных болезней человека.

ДНК-вакцинация. Преимущества перед традиционными вакцинами.

Значение генетической инженерии для решения задач биотехнологии, сельского хозяйства, медицины и различных отраслей народного хозяйства. Использование методов генетической инженерии для изучения фундаментальных проблем генетики и других биологических наук. Социальные аспекты генетической инженерии. Этические проблемы получения и использования трансгенных животных. Генетически модифицированные продукты питания – проблема ГМО.

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине

7.1. Критерии оценивания

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине				
Генетическая инженерия				
Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	2	3	4	5
Знания (виды оценочных средств: устные и письменные опросы и контрольные работы)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения (виды оценочных средств: контрольные работы)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Владения (виды оценочных средств: доклады)	Отсутствие владений	В целом успешное, но не систематическое владение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение (допускает	Успешное и систематическое владение

			неточности непринципиального характера)	
--	--	--	---	--

**7.2. Типовые контрольные задания для проведения текущей аттестации.
Образцы вопросов устного опроса и домашних заданий, контрольных работ и докладов:**

1. Нуклеиновые кислоты как материальные основы наследственности.
2. ДНК и РНК: строение и функции.
3. Методы генетики (молекулярно-генетический, цитогенетический, биохимический, гибридологический, популяционно-генетический, генно-инженерный, биоинформатический и др.).
4. Особенности гибридологического метода. Закономерности наследования в моногибридном и дигибридном скрещиваниях.
5. Множественный аллелизм. Типы взаимодействия аллелей.
6. Взаимодействие генов. Комплементарность, эпистаз, полимерия (кумулятивная и некумулятивная). Биохимические основы взаимодействия генов.
7. Генетическая детерминация пола. Половые хромосомы, гомо- и гетерогаметный пол; типы хромосомного определения пола. Генное определение пола. Особенности детерминации пола у млекопитающих и человека. Балансовая теория определения пола.
8. Сцепленное наследование и кроссинговер. Группы сцепления.
9. Теория гена. Функциональный и рекомбинационный критерии аллелизма. Современное определение гена.
10. Изменчивость и мутационный процесс. Механизмы возникновения спонтанных мутаций. Механизмы индуцированного мутагенеза.
11. Структурная организация генома эукариот. Структурная функциональная и эволюционная геномика.
12. Генетика популяций. Понятие о виде и популяции. Частоты фенотипов, генотипов, генов и аллелей. Закон Харди-Вайнберга, возможности его применения.
13. Генетика человека. Особенности человека как объекта генетических исследований. Особенности генома человека. Проблемы генетики человека и медицинской генетики. Врожденные и наследственные болезни, их распространение в человеческих популяциях. Хромосомные и генные болезни. Наследственные синдромы.
14. Моногенные и полигенные заболевания человека. Митохондриальные болезни человека. Диагностика заболеваний генетическими методами. Генетическая паспортизация. Медико-генетическое консультирование.
15. Генотерапия. Область применения. Стратегии генотерапии: *in vivo* и *ex vivo*.
16. Регуляция экспрессии генов у эукариот.
17. Репликационная вилка. Понятие о репликоне. Особенности организации и репликации хромосом про- и эукариот. Структура ориджина репликации у *E.coli*. Инициация репликации и расплетание двойной спирали ДНК.
18. Основные принципы репликации: матричный процесс, комплементарный, полуконсервативный, однонаправленный (направления роста и полярности цепей ДНК), полунепрерывный - отстающая и лидирующая цепи, необходимость в праймерах.
19. Схема событий в вилке репликации. Полигенный контроль процесса репликации. Представление о функциях основных белков, принимающих участие в репликации ДНК.

20. Генетическая рекомбинация, определение. Типы рекомбинации. Гомологичная рекомбинация. Общая схема кроссинговера в мейозе. Эктопическая рекомбинация. Сайт-специфическая рекомбинация
21. Транспозиция. Схема строения мобильных элементов и их инсерции в ДНК-мишень. Роль мобильных элементов в регуляции генного действия, в хромосомных перестройках, в спонтанном мутагенезе, а также в горизонтальном переносе генов (у бактерий).
22. Мобильные элементы прокариот: структурная организация и механизм транспозиции IS-элементов и составных транспозонов. Структурная организация и механизм транспозиции несоставных (комплексных) транспозонов
23. Мобильные элементы прокариот: и эукариот.
24. Геномы и ретротранспозоны. Типы последовательностей в геноме человека. Мобильные элементы и болезни человека.
25. Основные повреждения ДНК. Эндогенные и экзогенные ДНК-повреждающие факторы. Повреждения ДНК и их основные следствия: возникновение мутаций и гибель клетки.
26. Точковые мутации на молекулярном уровне: молчащие мутации, миссенс-мутации нейтральные (неконсервативные) и радикальные (неконсервативные), нонсенс-мутации, мутации со сдвигом рамки считывания (frameshift).
27. Механизмы спонтанного мутагенеза.
28. Экспансия повторов и наследственные заболевания человека (синдром фрагильной Х-хромосомы, болезнь Хантингтона, феномен генетической антиципации).
29. Мутагенность и канцерогенность. Гены-супрессоры опухолей у человека (ген p53).
30. Эксцизионная репарация поврежденных оснований и нуклеотидов у *E.coli*.
31. Репарация неспаренных оснований у *E.coli*. Гены *dam*, *mutH*, *mutL*, *mutS*, *uvrD* – гены мутаторы.
32. Пострепликативная рекомбинационная репарация у *E.coli*.
33. Роль репарационных систем в поддержании стабильности генетического аппарата в филогенезе и онтогенезе. Нарушения в процессах репарации как причина наследственных молекулярных болезней человека.
34. Особенности микроорганизмов как объекта генетических исследований.
35. Генетические элементы бактериальной клетки: хромосома, плазмиды, профаги, мобильные элементы. Организация генетического аппарата у бактерий (топология бактериальных геномов). Общее представление о плаزمидах и их разнообразии. Строгий и ослабленный контроль репликации. Виды плазмид.
36. Процессы передачи генетической информации у бактерий: конъюгация. Образование и свойства Hfr-штаммов. Схема переноса хромосомных генов при конъюгации. Рекомбинация после Hfr-конъюгации. Методы генетического картирования при конъюгации
37. Фаги вирулентные и умеренные, размножение фагов, литический и лизогенный циклы. Профаг, лизогенные клетки. Лизогенная (фаговая) конверсия – пример горизонтального переноса генов.
38. Процессы передачи генетической информации у бактерий: трансформация. Компетентность, стадии трансформации. Генетическая рекомбинация при трансформации.
39. Уровни регуляции экспрессии генов: особенности у про- и эукариотических организмов. Многообразие механизмов посттрансляционной регуляции генного действия: роль пептидаз, шаперонов и ковалентной модификации белков у про- и эукариотических организмов.
40. Принципы регуляции действия генов на уровне транскрипции у прокариот: позитивная и негативная регуляция; регуляторные белки, индукторы, корепрессоры и ингибиторы.

41. Схема строения и функционирования прокариотического гена, кодирующие и некодирующие полипептиды гены.
42. Оперонные системы регуляции на примере лактозного оперона *E.coli*.
43. Принципы негативного и позитивного контроля на примере лактозного оперона *E.coli*.
44. Особенности регуляции на транскрипционном уровне у эукариот. РНК-полимеразы и особенности инициации транскрипции у эукариот. Особенности организации регуляторной части генов, структура промотора РНК-полимеразы II.
45. Общее представление о структуре транскрипционного комплекса у человека и регуляторных последовательностях.
46. Схема строения и функционирования эукариотического гена, кодирующие и некодирующие гены. Процессинг (посттранскрипционная модификация) РНК. Альтернативный сплайсинг и его роль.
47. Регуляторные РНК у бактерий: трансляционные репрессоры (антисмысловые РНК). Использование антисмысловых РНК в функциональном анализе генов у про- и эукариот.
48. Малые регуляторные РНК (siРНК и miРНК) у эукариот, их сходства и различия. Механизм действия малых РНК в зависимости от характера спаривания с РНК-мишенью.
49. РНК-интерференция, её основные свойства, механизм. Источники двуцепочечной РНК и биологическая роль РНК-интерференции. РНК-интерференция как инструмент функциональной геномики.
50. РНК-сайленсинг. Образование и основная функция miРНК. Гены miРНК. Биологическая роль miРНК.
51. Генетическая инженерия. Суть технологии. Теоретические основы генетической инженерии. Задачи геномной инженерии. Почему необходимо изучать генетическую инженерию. Схема типичного эксперимента по молекулярному клонированию ДНК.
52. Системы рестрикции и модификации ДНК. Характеристика рестриктаз II типа. Приведите структуру любого шестичленного палиндрома и липких концов фрагментов, при условии, что рестриктаза режет эту последовательность между 1-м и 2-м нуклеотидами. Общие принципы конструирования рекомбинантных молекул с использованием рестриктаз.
53. Понятие о векторах. Основные и дополнительные свойства векторов. Клонирование в генетической инженерии. Отбор рекомбинантных молекул на примере клонирования в плазмидном векторе с инсерционной инактивацией.
54. Амплификация фрагментов ДНК с использованием полимеразной цепной реакции.
55. Основы генетической инженерии растений. Ti-плазмиды *Agrobacterium tumefaciens*: структурно-функциональная организация и использование для трансформации клеток растений. Технология получения трансгенных растений.
56. Основы генетической инженерии животных. Получение трансгенных животных с помощью введения рекомбинантной ДНК в один из пронуклеусов оплодотворенной яйцеклетки.

7.3. Типовые вопросы для проведения промежуточной аттестации:

1. Генетика как наука. Предмет, проблемы, задачи, методы генетики. Основные этапы развития генетики.
2. Цитологические основы наследственности. Митоз и мейоз: генетические схемы поведения хромосом.
3. Гибридологический метод. Закономерности наследования, открытые при его применении.
4. Закон чистоты гамет. Суть и доказательства.
5. Закономерности наследования, открытые Г. Менделем, их суть и значение.

6. Моногибридное скрещивание. Анализ характера наследования признака. Цитологические основы закона расщепления в моногибридном скрещивании.
7. Множественный аллелизм: наследование и типы взаимодействия аллелей.
8. Анализ дигибридного скрещивания. Закон независимого наследования. Суть и цитологические основы.
9. Взаимодействие генов: типы взаимодействий и их биохимические основы.
10. Комплементарное взаимодействие генов. Генетический анализ и биохимические основы. Примеры комплементарного взаимодействия генов.
11. Эпистатическое и полимерное взаимодействие генов. Генетический анализ и биохимические основы. Примеры эпистатического и полимерного взаимодействий генов.
12. Сцепленное наследование и кроссинговер.
13. Генетические эффекты множественных кроссинговеров. Интерференция при кроссинговере.
14. Генетическое определение пола.
15. Закономерности наследования признаков, сцепленных с полом.
16. Хромосомная теория наследственности: основные положения, доказательства, следствия.
17. Основные принципы картирования хромосом эукариот. Цитологические, генетические и физические карты.
18. Закон Харди-Вайнберга и его значение для изучения генетических процессов в популяциях.
19. Факторы, влияющие на генетические процессы в популяциях. Понятие о генофонде.
20. Мутационная и модификационная изменчивость.
21. Мутации и их классификация.
22. Геномные мутации. Полиплоидия.
23. Модификационная изменчивость. Норма реакции. Пенетрантность и экспрессивность.
24. Тесты на аллелизм (комплементацию).
25. Нехромосомная наследственность, ее критерии, отличие от ядерной наследственности.
26. Геном хлоропластов и митохондрий.
27. Методы генетики человека. Наследственные заболевания человека.
28. Моногенные наследственные болезни человека. Медико-генетическое консультирование. Диагностика и возможность лечения наследственных заболеваний.
29. Современные представления о гене.
30. Физиологическая роль ДНК-полимеразы I. Свойства polA-мутанта. Методологическое значение эксперимента Кэрнса и Де Лючия по выделению и изучению polA-мутанта.
31. Репликационная вилка. Понятие о репликоне. Особенности организации и репликации хромосом про- и эукариот. Структура ориджина репликации у E.coli. Инициация репликации и расплетание двойной спирали ДНК.
32. Основные принципы репликации: матричный процесс, комплементарный, полуконсервативный, однонаправленный (направления роста и полярности цепей ДНК), полунепрерывный - отстающая и лидирующая цепи, необходимость в праймерах.
33. Схема событий в вилке репликации. Полигенный контроль процесса репликации. Представление о функциях основных белков, принимающих участие в репликации ДНК.

34. Генетическая рекомбинация, определение. Типы рекомбинации. Гомологичная рекомбинация. Общая схема кроссинговера в мейозе.
35. Эктопическая рекомбинация как частный случай гомологичной рекомбинации и её биологическое значение. Образование делеций и дупликаций в результате эктопической рекомбинации.
36. Сайт-специфическая рекомбинация: схема интеграции и исключения ДНК фага лямбда. Структура рекомбинационных сайтов attP и attB.
37. Транспозиция. Схема строения мобильных элементов и их инсерции в ДНК-мишень.
38. Роль мобильных элементов в регуляции генного действия, в хромосомных перестройках, в спонтанном мутагенезе, а также в горизонтальном переносе генов (у бактерий).
39. Мобильные элементы прокариот: структурная организация и механизм транспозиции IS-элементов и составных транспозонов.
40. Мобильные элементы прокариот: структурная организация и механизм транспозиции несоставных (комплексных) транспозонов.
41. Мобильные элементы эукариот: ДНК-транспозоны. Структура элементов Ac и Ds у кукурузы и их роль в мозаицизме окраски зерна.
42. Мобильные элементы эукариот: ретротранспозоны (ретроэлементы). Механизм транспозиции ретротранспозонов.
43. Мобильные элементы эукариот: структурная организация LTR-ретротранспозонов на примере ретротранспозона Ty1 дрожжей.
44. Мобильные элементы эукариот: сравнительная характеристика не-LTR ретротранспозонов SINE и LINE.
45. Геномы и ретротранспозоны. Типы последовательностей в геноме человека. Мобильные элементы и болезни человека.
46. Основные повреждения ДНК. Эндогенные и экзогенные ДНК-повреждающие факторы. Повреждения ДНК и их основные следствия: возникновение мутаций и гибель клетки.
47. Генетический код и его свойства.
48. Точковые мутации на молекулярном уровне: молчащие мутации, миссенс-мутации нейтральные (неконсервативные) и радикальные (неконсервативные), нонсенс-мутации, мутации со сдвигом рамки считывания (frameshift).
49. Механизмы спонтанного мутагенеза: связь мутабельности с функциями аппарата репликации. Гены мутаторы и антимутаторы. Мутаторный и антимутаторный эффект *ts*-мутаций по гену 43 фага T4.
50. Экспансия повторов и наследственные заболевания человека (синдром хрупкой X-хромосомы, болезнь Хантингтона, феномен генетической антиципации).
51. Механизмы спонтанного мутагенеза: химическая модификация оснований ДНК (образование транзиций в результате дезаминирования оснований). Почему сайты, содержащие метилцитозин характеризуются повышенной мутабельностью.
52. Механизмы спонтанного мутагенеза: утрата оснований ДНК (образование апириимидиновых и апуриновых сайтов в результате гидролиза гликозидной связи между основанием и дезоксирибозой), окислительные нарушения ДНК.
53. Мутагенность и канцерогенность. Гены-супрессоры опухолей у человека (ген p53).
54. Эксцизионная репарация поврежденных оснований у *E.coli*.
55. Эксцизионная репарация нуклеотидов у *E.coli*. Гены *uvrA-uvrD* – гены мутаторы.
56. Репарация неспаренных оснований у *E.coli*. Гены *dam, mutH, mutL, mutS, uvrD* – гены мутаторы.
57. Пострепликативная рекомбинационная репарация у *E.coli*.
58. Понятие о мутагенных индуцибельных путях репарации. SOS-репарация у *E.coli* и её генетический контроль. SOS-репарация и УФ-индуцированный мутагенез

- (почему в штаммах *E.coli*, дефектных по генам *recA*, *umuC*, *umuD* или *dinB*, УФ-индуцированный мутагенез отсутствует?).
59. Роль репарационных систем в поддержании стабильности генетического аппарата в филогенезе и онтогенезе. Нарушения в процессах репарации как причина наследственных молекулярных болезней человека.
 60. Особенности микроорганизмов как объекта генетических исследований. Основные термины: штамм, дикий тип, клон, клонирование как метод генетического анализа в культуре микроорганизмов. Признаки микробных культур, прототрофы, ауксотрофы. Методы, применяемые в генетическом анализе у бактерий и бактериофагов: клональный анализ, метод селективных сред, метод отпечатков и др.
 61. Генетические элементы бактериальной клетки: хромосома, плазмиды, профаги, мобильные элементы. Организация генетического аппарата у бактерий (топология бактериальных геномов). Общее представление о плаزمидах и их разнообразии. Строгий и ослабленный контроль репликации. Плазмиды конъюгативные и неконъюгативные. Мобилизация неконъюгативных плазмид. Плазмиды с узким и широким кругом хозяев.
 62. Процессы передачи генетической информации у бактерий: конъюгация. Структура F-фактора. Перенос конъюгативных плазмид на примере F-фактора у *E.coli*. Схема интеграции F-фактора в хромосому. Образование F'(прим)-факторов, сексдукция, меродиплоиды. Роль конъюгации в горизонтальном переносе генов у бактерий.
 63. Процессы передачи генетической информации у бактерий: конъюгация. Образование и свойства Hfr-штаммов. Схема переноса хромосомных генов при конъюгации. Рекомбинация после Hfr-конъюгации.
 64. Процессы передачи генетической информации у бактерий: конъюгация. Методы генетического картирования при конъюгации (для семинарских занятий). Кольцевая карта хромосомы *E.coli*.
 65. Фаги вирулентные и умеренные, размножение фагов, литический и лизогенный циклы. Профаг, лизогенные клетки. Лизогенная (фаговая) конверсия – пример горизонтального переноса генов.
 66. Процессы передачи генетической информации у бактерий: механизмы общей (на примере фага P1 у *E.coli*) и специфической трансдукции, опосредованной фагом λ .
 67. Процессы передачи генетической информации у бактерий: трансформация. Компетентность, стадии трансформации. Генетическая рекомбинация при трансформации.
 68. Уровни регуляции экспрессии генов: особенности у про- и эукариотических организмов. Многообразие механизмов посттрансляционной регуляции генного действия: роль пептидаз, шаперонов и ковалентной модификации белков у про- и эукариотических организмов.
 69. ДНК как транскрипционная матрица. Понятие о транскрипционной единице. РНК-полимераза прокариот и структура промоторов. Структура и функционирование rho-независимых терминаторов транскрипции.
 70. Принципы регуляции действия генов на уровне транскрипции у прокариот: позитивная и негативная регуляция; регуляторные белки, индукторы, корепрессоры и ингибиторы.
 71. Схема строения и функционирования прокариотического гена, кодирующие и некодирующие полипептиды гены.
 72. Оперонные системы регуляции на примере лактозного оперона *E.coli*.
 73. Принципы негативного и позитивного контроля на примере лактозного оперона *E.coli*.
 74. Генетический анализ лактозного оперона. Мутации в гене-регуляторе и операторе, использование для анализа мерозигот.

75. Полярные мутации у прокариот и их связь с оперонной организацией генов и особенностью транскрипции и трансляции.
76. Особенности регуляции на транскрипционном уровне у эукариот. РНК-полимеразы и особенности инициации транскрипции у эукариот. Особенности организации регуляторной части генов, структура промотора РНК-полимеразы II.
77. Общее представление о структуре транскрипционного комплекса у человека и регуляторных последовательностях.
78. Связь между сложностью организмов, размером геномов, размерами генов и межгенных участков. Размер транскрибируемых и белок-кодирующих участков у про- и эукариот.
79. Схема строения и функционирования эукариотического гена, кодирующие и некодирующие гены. Процессинг (посттранскрипционная модификация) РНК. Альтернативный сплайсинг и его роль.
80. Регуляторные РНК у бактерий: трансляционные репрессоры (антисмысловые РНК). Использование антисмысловых РНК в функциональном анализе генов у про- и эукариот.
81. Малые регуляторные РНК (siРНК и miРНК) у эукариот, их сходства и различия. Механизм действия малых РНК в зависимости от характера спаривания с РНК-мишенью.
82. РНК-интерференция, её основные свойства, механизм. Источники двуцепочечной РНК и биологическая роль РНК-интерференции. РНК-интерференция как инструмент функциональной геномики.
83. РНК-сайленсинг. Образование и основная функция miРНК. Гены miРНК. Биологическая роль miРНК.
84. Связь между генетическим контролем и механизмами функционирования miРНК и siРНК. Механизм действия малых РНК и характер спаривания mРНК-мишенью.
85. Генетическая инженерия. Суть технологии. Теоретические основы генетической инженерии. Задачи генной инженерии. Почему необходимо изучать генетическую инженерию. Схема типичного эксперимента по молекулярному клонированию ДНК.
86. Системы рестрикции и модификации ДНК. Характеристика рестриктаз II типа. Приведите структуру любого шестичленного палиндрома и липких концов фрагментов, при условии, что рестриктаза режет эту последовательность между 1-м и 2-м нуклеотидами. Общие принципы конструирования рекомбинантных молекул с использованием рестриктаз.
87. Понятие о векторах. Основные и дополнительные свойства векторов. Клонирование в генетической инженерии. Отбор рекомбинантных молекул на примере клонирования в плазмидном векторе с инсерционной инактивацией.
88. Амплификация фрагментов ДНК с использованием полимеразной цепной реакции.
89. Основы генетической инженерии растений. Ti-плазмиды *Agrobacterium tumefaciens*: структурно-функциональная организация и использование для трансформации клеток растений. Технология получения трансгенных растений.
90. Основы генетической инженерии животных. Получение трансгенных животных с помощью введения рекомбинантной ДНК в один из пронуклеусов оплодотворенной яйцеклетки.

8. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной и дополнительной литературы:

Основная:

1. Инге-Вечтомов С.Г. Генетика с основами селекции. Санкт-Петербург: Издательство Н-Л, 2015.

2. *Жимулев И.Ф. Общая и молекулярная генетика.* Сибирское университетское издательство, 2007 г.
3. *Клаг У.С., Каммингс М.Р., Спенсер Ш.А., Палладино М. А. Основы генетики.* Техносфера, 2016.
4. *Кребс Дж., Голдштейн Э., Килпатрик С. Гены по Льюису М.:* Лаборатория знаний, 2017.
5. Глазер В.М., Ким А.И., Кузьмин И.В., Нефедова Л.Н., Орлова Н.Н., Пасюкова Е.Г., Романова Н.И. Сборник задач и вопросов по общей и молекулярной генетике. Москва: КДУ Университетская книга, 2018.

Интернет-ресурсы

Зарубежные журналы и библиографические базы данных, доступные через Интернет

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

<https://scholar.google.com/>

<https://elibrary.ru/>

<http://flybase.org/>

Материально-техническое обеспечение

Соответствует требованиям СОС МГУ по направлению подготовки 06.03.01 Биология.

9. Язык преподавания

Русский

10. Преподаватели

Доктор биологических наук, профессор каф. генетики биологического факультета МГУ Зинченко Владислав Владимирович.

Доктор биологических наук, профессор каф. генетики биологического факультета МГУ Ким Александр Иннокентьевич.

11. Авторы программы

Доктор биологических наук, профессор каф. генетики биологического факультета МГУ Зинченко Владислав Владимирович.

Доктор биологических наук, профессор каф. генетики биологического факультета МГУ Ким Александр Иннокентьевич.