

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. И. Юсов

**ОБЩАЯ ГЕНЕТИКА, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО
(РАЗДЕЛ «ОБЩАЯ ГЕНЕТИКА»)**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки
35.03.04 Агрономия

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2025

Рецензент

кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономии и агроэкологии
Института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «КГТУ»
Е. А. Барановская

Юсов, А. И.

Общая генетика, селекция и семеноводство. Раздел «Общая генетика»: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студентов, обучающихся в бакалавриате по напр. подгот. 35.03.04 Агрономия / А. И. Юсов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. – 59 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Общая генетика, селекция и семеноводство» (Раздел «Общая генетика») представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, методические рекомендации по выполнению контрольной работы для направления подготовки 35.03.04 Агрономия, форма обучения очная, заочная.

Табл. 3, список лит. – 5 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой агрономии и агроэкологии 20 марта 2025 г., протокол № 8

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией Института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 31 марта 2025 г., протокол № 3

УДК 575

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2025 г.
© Юсов А. И., 2025 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ТЕКУЩЕЙ АТТЕСТАЦИИ.....	50
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	52
4. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА....	57
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	58

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Общая генетика, селекция и семеноводство» (Раздел «Общая генетика») является формирование систематизированных знаний, умений и навыков в области общей генетики, являющихся основой для решения профессиональных задач агрономии.

Генетика – наука, изучающая законы наследственности и изменчивости живых организмов, играет важную роль в понимании механизмов передачи признаков от поколения к поколению, а также в разработке методов улучшения сельскохозяйственных культур.

Генетика прошла долгий путь становления как научной дисциплины. Ее история начинается с работ австрийского монаха Грегора Менделя, который в середине XIX в. заложил основы современной генетики своими экспериментами по гибридизации гороха. Его исследования показали, что признаки передаются от родителей потомству согласно определенным законам, известным сегодня как законы Менделя.

На рубеже XIX–XX вв. произошло возрождение интереса к идеям Менделя, что привело к началу новой эры в развитии генетики. Работы Т. Ханта Моргана по мутациям дрозофилы позволили установить связь между хромосомами и наследственностью, а открытие структуры ДНК Джеймсом Уотсоном и Фрэнсисом Криком в 1953 г. стало важнейшим событием в истории биологии.

Современные достижения молекулярной биологии, секвенирование генома и методы геномной инженерии существенно расширили возможности генетиков и сделали возможным целенаправленное изменение генетического материала растений и животных.

Сегодня генетика продолжает активно развиваться благодаря внедрению новых технологий и подходов. Одной из наиболее перспективных областей является геномная селекция, позволяющая использовать данные полного генома растения для прогнозирования характеристик будущих поколений. Это значительно ускоряет процесс селекции и повышает ее эффективность.

Другим важным направлением является использование CRISPR/Cas9 технологии редактирования генома, которая позволяет вносить точные изменения в ДНК растений, улучшая их устойчивость к болезням, повышая урожайность и адаптируя к различным условиям окружающей среды.

Кроме того, развитие биоинформатики и вычислительных методов анализа больших массивов данных открывает новые горизонты для изучения сложных взаимодействий между генами и их влияния на фенотипические характеристики растений.

Таким образом, изучение общей генетики является необходимым условием для успешной работы в области агрономии. Оно дает студентам понимание фундаментальных принципов наследственности и изменчивости, а также знакомит с современными методами и технологиями, применяемыми в практической селекционной работе.

Дисциплина «Общая генетика, селекция и семеноводство» (Раздел «Общая генетика») относится к профессиональному модулю основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия.

В результате обучения (владения, умения и знания, соотнесенных с компетенциями/индикаторами достижения компетенции) обучающийся должен:

Знать: хромосомную и молекулярную теории наследственности; гибридизацию, гетерозис, инбридинг; основы генетического анализа при планировании генетических экспериментов; методы гибридизации.

Уметь: решать генетические задачи; проводить опыты, согласно утвержденной методике; использовать современные методы исследований в генетике в профессиональной деятельности.

Владеть: методами отбора и гибридизации.

Для успешного освоения дисциплины «Общая генетика, селекция и семеноводство» (Раздел «Общая генетика») студент должен активно работать на лекционных и лабораторных занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для успешного освоения дисциплины «Общая генетика, селекция и семеноводство» (Раздел «Общая генетика») в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень ключевых вопросов для подготовки к лабораторным занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены тестовые и практические задания. Тестирование и решение практических задач обучающимися проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перед проведением тестирования преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после проведения тестирования проводит анализ его работы. Перечень примерных тестовых и практических заданий представлен в фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Промежуточная аттестация проводится в виде зачета, к которому допускаются студенты, освоившие темы курса и имеющие положительные оценки.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Общая генетика, селекция и семеноводство» (Раздел «Общая генетика»), студент должен научиться работать на лекциях, лабораторных занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции, с прочитанным и усвоенным ранее материалом, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Тематический план лекционных занятий (ЛЗ) представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Объем (трудоемкость освоения) и структура

Номер темы	Содержание лекционного занятия	Количество часов, форма обучения	
		очная	заочная
1	Введение в дисциплину	1	-
2	Общее строение клеток растений. Непрямое деление клетки – митоз	1	-
3	Деление клетки. Мейоз	1	-
4	Наследование признаков в моногибридных и дигибридных скрещивания при независимом действии генов	1	1
5	Наследование признаков при взаимодействии генов	1	1
6	Хромосомное определение пола	1	-
7	Наследование при сцеплении генов	1	-
8	Строение нуклеиновых кислот	1	-
9	Основы генной инженерии растений	1	-
10	Нехромосомная наследственность	1	-
11	Модификационная и мутационная изменчивость	1	-
12	Полиплоидия и другие изменения числа хромосом	1	1
13	Отдаленная гибридизация	1	-
14	Инбридинг и гетерозис	1	1
15	Генетика онтогенеза	1	-
16	Генетика популяций	1	-
Итого		16	4

Тема 1. Введение в дисциплину

Ключевые вопросы темы

Генетика как наука. Наследственность. Изменчивость. Методы исследований в генетике.

Содержание темы занятия

Генетика – одна из важнейших наук биологии, изучающая наследственность и изменчивость живых организмов. Она охватывает широкий спектр вопросов: от молекулярной структуры ДНК до популяционных процессов и эволюции видов. Студенты, изучающие эту дисциплину, должны глубоко понимать основные принципы генетики, типы наследования, механизмы изменчивости и современные методы исследований.

Генетика как наука, история развития генетики. Генетика как самостоятельная научная дисциплина начала формироваться во второй половине XIX в. благодаря трудам австрийского монаха Грегора Менделя. Его эксперименты с горохом заложили основы классической генетики, описав законы наследования признаков (законы Менделя). Однако широкое признание эти открытия получили лишь спустя несколько десятилетий после смерти ученого.

К началу XX в. были открыты хромосомы и установлена связь между ними и наследственностью. Затем последовали важные открытия в области молекулярной биологии, такие как расшифровка структуры ДНК Джеймсом Уотсоном и Фрэнсисом Криком в 1953 г. Это стало основой для современной молекулярной генетики, которая позволяет исследовать механизмы передачи наследственной информации на уровне молекул.

Современная генетика делится на несколько основных направлений:

Классическая генетика занимается изучением законов наследственности и изменчивости на основе наблюдаемых фенотипических признаков.

Молекулярная генетика исследует процессы передачи наследственной информации на уровне молекул ДНК и РНК.

Популяционная генетика изучает распределение и динамику генетической вариации внутри популяций и между ними.

Медицинская генетика сосредоточена на изучении наследственных заболеваний и их лечении.

Эволюционная генетика рассматривает изменения генетического материала в процессе эволюции.

Генетика имеет большое значение для различных областей человеческой деятельности:

Медицина: понимание механизмов наследственных болезней помогает разрабатывать методы диагностики и лечения.

Сельское хозяйство: селекция растений и животных для улучшения продуктивности и устойчивости к болезням.

Биотехнология: создание генно-модифицированных организмов для производства лекарств, пищевых продуктов и промышленных материалов.

Экология: изучение влияния окружающей среды на генетические изменения в популяциях.

Таким образом, генетика служит фундаментальной наукой, способствующей прогрессу человечества в различных сферах жизни.

Наследственность. Наследственность – это способность организма передавать свои признаки потомству через поколения. Основу наследственности составляют гены, расположенные в хромосомах ядра клетки и митохондриях. Каждый ген кодирует определенную последовательность аминокислот, образующих белки, которые определяют структуру и функции клеток.

Грегор Мендель сформулировал три основных закона наследственности:

Закон единообразия гибридов первого поколения: при скрещивании двух гомозиготных особей с разными аллелями одного гена все потомки будут иметь одинаковый генотип и фенотип.

Закон расщепления: при скрещивании гибридов второго поколения наблюдается расщепление признаков в соотношении 3:1 (для доминантных и рецессивных признаков).

Закон независимого комбинирования: каждый ген передается независимо от других генов, что обеспечивает разнообразие комбинаций признаков у потомства.

Эти законы являются базовыми принципами классической генетики и остаются актуальными и сегодня.

Существует несколько типов наследования признаков:

Аутосомное доминирование: признак проявляется даже при наличии одной копии доминантного аллеля.

Аутосомное рецессивное наследование: признак проявляется только при наличии двух копий рецессивного аллеля.

Х-сцепленное наследование: признаки, контролируемые генами на Х-хромосоме, чаще проявляются у мужчин, так как у них отсутствует вторая Х-хромосома.

Y-сцепленное наследование: признаки, контролируемые генами на Y-хромосоме, передаются только от отца к сыну.

Понимание типов наследования важно для прогнозирования вероятности проявления тех или иных признаков у потомства.

На молекулярном уровне наследственная информация хранится в виде последовательности нуклеотидов в ДНК. Процесс репликации ДНК обеспечивает точную передачу этой информации от родительской клетки дочерним клеткам. Мутации в ДНК могут привести к изменениям в структуре белков и, соответственно, к изменению фенотипа организма.

Изменчивость. Изменчивость – это свойство живых организмов различаться по своим признакам. Она обусловлена взаимодействием генетических факторов и условий внешней среды. Существует два основных типа изменчивости: наследственная и ненаследственная.

Наследственная изменчивость связана с изменениями в генетическом материале (ДНК), которые передаются от родителей к потомству. Основные источники наследственной изменчивости включают:

Мутации: случайные изменения в последовательности нуклеотидов ДНК, которые могут приводить к появлению новых аллелей.

Комбинативная изменчивость: возникает вследствие рекомбинации генов при половом размножении, обеспечивая новые комбинации аллелей.

Полиплоидия: увеличение числа наборов хромосом, ведущее к увеличению генетического разнообразия.

Ненаследственная изменчивость не связана с изменениями в ДНК и не передается потомству. Она вызвана воздействием внешних факторов на развитие организма. В качестве примеров можно привести следующие:

Модификационная изменчивость: изменения в фенотипе, вызванные условиями среды (например, питание, температура, стресс).

Фенокопии: внешние факторы вызывают изменения, имитирующие эффекты мутаций.

Понимание изменчивости важно для оценки адаптивной способности популяции к меняющимся условиям среды и для разработки стратегий селекции.

Методы исследований в генетике. Для изучения наследственности и изменчивости используются различные методы исследования, которые можно разделить на классические и современные.

Классические методы:

Скрещивание: метод, используемый Грегором Менделем для изучения закономерностей наследования признаков. Включает моногибридное и дигибридное скрещивания.

Анализ родословных: используется для определения типа наследования признака в семьях, особенно в медицинской генетике.

Цитогенетический анализ: исследование хромосом под микроскопом для выявления аномалий (например, синдром Дауна).

Современные методы:

Молекулярно-биологические методы: включают ПЦР (полимеразную цепную реакцию), секвенирование ДНК, микроматрицы и другие технологии для анализа генетического материала.

Геномика: изучение полного генома организма, включая идентификацию генов и их функций.

Протеомика: исследование всего набора белков, производимых клеткой или организмом.

Трансгенные технологии: введение чужеродных генов в геном организма для изучения их функций или получения новых свойств.

Современные методы позволяют проводить более точные и масштабные исследования, открывая новые горизонты в понимании генетических процессов.

Вопросы для самоконтроля

1. Генетика как наука
2. Что такое наследственность?
3. Что такое изменчивость?
4. Какие методы генетики вы знаете?
5. Назовите этапы развития генетики.

Тема 2. Общее строение клеток растений. Непрямое деление клетки – митоз

Ключевые вопросы темы

Общее строение клетки. Значение митоза для растительной клетки. Стадии митоза. Строение хромосом. Основные типы хромосом. Кариотип.

Содержание темы занятия

Общее строение клетки. При изучении этого вопроса студент должен обратить внимание на следующие аспекты:

Общее строение клетки – основные компоненты клетки и их функции.

Классификация органелл – понимание различий между немембранными, одномембранными и двумембранными органеллами.

Функции органелл – как каждая органелла способствует жизнедеятельности клетки.

Структура и функции ядра – роль ядра в контроле клеточной активности и хранении генетического материала.

Хромосомы – их типы, структура и значение в наследственности.

Особенности растительной клетки – наличие хлоропластов, крупных вакуолей и прочной клеточной стенки.

Понимание этих концепций поможет студентам лучше разобраться в сложной структуре и функциях живой клетки.

Клетка – это основная структурная и функциональная единица всех живых организмов. Она состоит из цитоплазмы, заключенной в плазматическую мембрану, и содержит различные органеллы, выполняющие специфические функции. Клетки делятся на два основных типа: прокариотические (без ядра) и эукариотические (с ядром).

Цитоплазма – полужидкая среда внутри клетки, содержащая растворенные вещества и органеллы.

Плазматическая мембрана – окружает клетку и регулирует обмен веществ между клеткой и внешней средой.

Клеточная стенка – у растений она состоит преимущественно из целлюлозы и придает клетке форму и прочность.

Органеллы – это специализированные структуры внутри клетки, каждая из которых выполняет свою функцию.

Органеллы клетки растений. Органеллы клеток подразделяются на три основные категории: немембранные, одномембранные и двумембранные.

Немембранные органеллы и их функции

Рибосомы – синтезируют белки. Они могут находиться свободно в цитоплазме или прикрепляться к эндоплазматической сети.

Микротрубочки и микрофиламенты – участвуют в поддержании формы клетки и внутриклеточном транспорте.

Центриоли – присутствуют только в клетках животных.

Одномембранные органеллы

Эндоплазматическая сеть (ЭПС): гладкая ЭПС участвует в синтезе липидов и углеводов; шероховатая ЭПС связана с рибосомами и участвует в синтезе белков.

Аппарат Гольджи – упаковывает и сортирует белки перед их транспортировкой к различным частям клетки или наружу.

Лизосомы – содержат ферменты, разрушающие ненужные или поврежденные молекулы.

Вакуоли – накапливают воду, питательные вещества и отходы. Особенно крупные вакуоли присутствуют в растительных клетках.

Пероксисомы – разлагают перекись водорода и участвуют в метаболизме жиров.

Двумембранные органеллы.

Митохондрии – генерируют энергию в виде АТФ через процесс окислительного фосфорилирования.

Хлоропласты – специфичны для растительных клеток и отвечают за фотосинтез.

Ядро – контролирует всю деятельность клетки и содержит генетический материал (ДНК).

Ядро – это центральная структура клетки, окруженная двойной мембраной. Оно содержит нуклеоплазму, ядрышко и хроматин, который во время деления клетки конденсируется в хромосомы.

Хромосомы – это плотные структуры ДНК, упакованные вместе с белками-гистонами. Они содержат гены, отвечающие за наследственность и развитие организма. Хромосомы классифицируются следующим образом:

Аутосомы – пара неполовых хромосом, одинаковая у обоих полов.

Половые хромосомы – определяют пол организма. У человека это X и Y хромосомы.

Структура хромосом.

Каждая хромосома состоит из двух сестринских хроматид, соединенных центромерой. Центромера делит хромосому на два плеча: короткое (p) и длинное (q). Концы хромосом называются теломерами, они защищают ДНК от деградации.

Понимание механизмов деления клеток и особенностей хромосом позволит студентам эффективно применять полученные знания при изучении селекции растений.

Клетка является основной структурной единицей всех живых организмов, включая растения. Процесс деления клеток играет ключевую роль в росте, развитии и регенерации тканей растений. Митоз – это один из основных способов деления эукариотической клетки, который обеспечивает равномерное распределение генетического материала между дочерними клетками. Понимание структуры клеток растений и процесса митоза имеет важное значение для изучения селекции растений, поскольку эти знания помогают лучше понимать механизмы наследственности и изменчивости.

Значение митоза для растительной клетки. При изучении этого вопроса студенту необходимо подробно рассмотреть значение митоза для растительной клетки. Митоз важен для растительных клеток по нескольким причинам.

Обеспечение роста: митоз позволяет растению увеличивать количество клеток, что способствует росту органов и всего организма в целом.

Замена поврежденных клеток: митоз обеспечивает замену старых или поврежденных клеток новыми, способствуя регенерации тканей.

Формирование новых органов: митоз участвует в процессе формирования новых органов (например, листьев, корней), обеспечивая их развитие и функционирование.

Сохранение генетической стабильности: во время митоза каждая дочерняя клетка получает идентичный набор хромосом, что гарантирует сохранение генетической информации от поколения к поколению.

Стадии митоза. Студенту важно уметь различать и описывать каждую стадию митоза. Процесс митоза делится на четыре основные стадии: профазу, метафазу, анафазу и телофазу. Рассмотрим каждую из них подробнее.

Профаза характеризуется началом конденсации хромосом и формированием митотического веретена. На этой стадии происходят следующие процессы: хромосомы начинают уплотняться и становятся видимыми под микроскопом; центриоли (если они присутствуют) перемещаются к противоположным полюсам клетки. Начинает формироваться митотическое веретено, состоящее из микротрубочек, которое будет играть важную роль в дальнейшем разделении хромосом.

Метафаза занимает значительную часть периода митоза и отличается относительно стабильным состоянием. Все это время хромосомы удерживаются в экваториальной плоскости веретена за счет сбалансированных сил натяжения кинетохорных микротрубочек, совершая колебательные движения с незначительной амплитудой в плоскости метафазной пластинки. К окончанию метафазы наблюдается четкое обособление сестринских хроматид, соединение между которыми сохраняется лишь в центромерных участках. Плечи хроматид располагаются параллельно друг другу, и становится отчетливо заметной разделяющая их щель.

Анафаза начинается после завершения метафазы и характеризуется расхождением сестринских хроматид к противоположным полюсам клетки. Основные явления анафазы включают: разделение центромеров, соединяющих сестринские хроматиды и перемещение каждой хроматиды к своему полюсу благодаря сокращению микротрубочек веретена деления. Эта стадия критична для правильного распределения генетического материала между будущими дочерними клетками.

Телофазой завершается процесс митоза и начинается восстановление структуры интерфазной клетки. Во время телофазы происходит формирование ядерной оболочки вокруг каждого набора хромосом; деконденсация хромосом и восстановление структуры ядра, и образование новой клеточной стенки (в случае растительных клеток). Завершение телофазы приводит к образованию двух дочерних клеток, идентичных материнской клетке.

Строение хромосом. Строение хромосом – одна из ключевых тем, которую студент должен изучить детально. Хромосомы состоят из ДНК, упакованной вместе с белками-гистонами. Они имеют характерную Х-образную форму, образованную двумя сестринскими хроматидами, соединенными центромерой.

Центромера определяет точку прикрепления микротрубочек во время митоза и контролирует разделение хроматид.

Основные типы хромосом. Студент должен уметь классифицировать различные типы хромосом и понимать их функции. Понимание строения и функций разных типов хромосом помогает глубже понять механизмы наследования признаков.

Существует несколько типов хромосом, отличающихся по форме и функциям:

Аутосомы: обычные хромосомы, присутствующие в двойном количестве у обоих полов.

Половые хромосомы: определяют пол организма (X и Y у млекопитающих).

Гомо- и гетерохроматин: гетерохроматин компактнее гомохроматина и содержит менее активные гены.

Кариотип. Понятие кариотипа также должно быть изучено студентами на глубоком уровне. Кариотип – это полный набор хромосом организма, представленный в виде упорядоченной схемы. Он включает в себя количество, размер, форму и особенности расположения хромосом. Кариотип уникален для каждого вида и служит важным инструментом в генетике и селекции.

Различия в кариотипах между видами являются основой для понимания эволюции и видообразования. Специфичность кариотипа обусловлена особенностями генетического материала каждого вида. У растений и животных кариотипы различаются по количеству, размеру и структуре хромосом. Эти различия влияют на морфологические, физиологические и репродуктивные характеристики видов, определяя их уникальные свойства и приспособленность к окружающей среде.

Вопросы для самоконтроля

1. Значение митоза для растительной клетки.
2. Назовите стадии митоза.
3. Чем характеризуется профазы?
5. Что происходит на стадии анафазы?
6. Когда завершается телофазы?
7. Строение хромосом.
8. Назовите основные типы хромосом.
9. Что такое кариотип?
10. В чем заключается специфичность кариотипа у различных видов растений и животных?

Тема 3. Деление клетки. Мейоз

Ключевые вопросы темы

Типы деления клеток. Фазы митоза. Мейоз. Отличия митоза от мейоза. Фазы мейоза I. Фазы мейоза II. Биологическое значение мейоза.

Содержание темы занятия

Для успешного освоения курса «Основы генетики» студентам важно понимать процессы клеточного деления, особенно митоз и мейоз. Эти знания помогут лучше разобраться в основах наследственности и variability организмов, что является ключевым аспектом селекции. В данной теме будут рассмотрены основные этапы митоза и мейоза, их отличия и биологическое значение.

Типы деления клеток. При изучении этой темы студенту необходимо подробно рассмотреть типы деления клеток. Существуют два основных типа деления:

Митоз – процесс, при котором одна материнская клетка делится на две дочерние клетки, идентичные друг другу и исходной клетке. Митоз обеспечивает рост организма, регенерацию тканей и поддержание постоянства числа хромосом в клетках тела.

Мейоз – особый тип деления, который происходит во время образования половых клеток (гамет). В результате мейоза количество хромосом уменьшается вдвое, чтобы при слиянии гамет образовывался полноценный диплоидный организм.

Суть процесса митоза. Студенту также важно понимать, что митоз – это основной способ размножения соматических клеток многоклеточных организмов. Этот процесс включает несколько фаз, каждая из которых имеет свое назначение:

Интерфаза: период подготовки клетки к делению, когда происходит репликация ДНК и синтез белков.

Профаза: спирализация хромосом, разрушение ядерной оболочки и формирование веретена деления.

Метафаза: выстраивание хромосом вдоль экваториальной плоскости клетки.

Анафаза: разделение сестринских хроматид и перемещение их к противоположным полюсам клетки.

Телофаза: формирование новых ядер и цитокинез – физическое разделение цитоплазмы.

Таким образом, митоз обеспечивает точное распределение генетической информации между дочерними клетками.

Фазы митоза. Подробное изучение фаз митоза позволяет глубже понять механизмы клеточной биологии. Студент должен уметь описать каждую фазу:

Профаза: конденсация хромосом, исчезновение ядрышек, разрушение ядерной мембраны.

Метафаза: расположение хромосом на метафазной пластинке.

Анафаза: расхождение хроматид к полюсам клетки.

Телофаза: деконденсация хромосом, образование новых ядер, начало цитокинеза.

Мейоз. Мейоз – это процесс, который лежит в основе полового размножения. Он состоит из двух последовательных делений, каждое из которых сопровождается уменьшением количества хромосом наполовину.

Основные особенности мейоза: происходит в репродуктивных органах; включает кроссинговер, обмен участками гомологичных хромосом; обеспечивает разнообразие генетического материала потомков.

Отличия митоза от мейоза. Для понимания различий между митозом и мейозом студенту нужно обратить внимание на следующие аспекты:

Цель деления: митоз служит для роста и восстановления тканей, тогда как мейоз необходим для формирования гамет.

Количество делений: митоз – одно деление, мейоз – два деления.

Изменение числа хромосом: митоз сохраняет диплоидность, мейоз уменьшает число хромосом до гаплоидного состояния.

Генетическая вариация: митоз создает идентичные клетки, мейоз увеличивает генетическое разнообразие.

Фазы мейоза I. Мейоз I начинается после интерфазы и включает четыре основные стадии:

Профаза I: самая длинная стадия, включающая пять подпериодов (лептотену, зиготену, пахитену, диплотену и диакинез).

Лептотена: конденсация хромосом.

Зиготена: синапсис гомологичных хромосом.

Пахитена: кроссинговер.

Диплотена: ослабление синаптического комплекса.

Диакинез: максимальное укорочение хромосом.

Метафаза I: выравнивание бивалентов на экваторе клетки.

Анафаза I: разделение гомологичных хромосом и движение их к полюсам клетки.

Телофаза I: формирование двух дочерних клеток с гаплоидным набором хромосом.

Фазы мейоза II. После короткого периода покоя (интеркинеза), мейоз II проходит через аналогичные стадии, что и митоз:

Профаза II: подготовка к делению, спирализация хромосом.

Метафаза II: хромосомы располагаются на экваториальной плоскости.

Анафаза II: разделяются сестринские хроматиды.

Телофаза II: формируются четыре гаплоидные гаметы.

Биологическое значение мейоза. Биологическое значение мейоза заключается в следующем:

Поддержание постоянного набора хромосом: благодаря мейозу сохраняется стабильность генетического материала видов.

Создание генетического разнообразия: кроссинговер и случайное сочетание хромосом обеспечивают высокую вариативность гамет.

Эволюционные преимущества: генетическая вариабельность способствует адаптации популяций к изменениям окружающей среды.

Изучение процессов митоза и мейоза помогает студентам понять основы генетики, что важно для понимания методов селекции растений.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите типы деления клеток.

2. В чем суть процесса митоза?

3. Назовите фазы митоза.
4. Что такое мейоз?
5. Чем митоз отличается от мейоза?
6. Назовите фазы мейоза I.
7. Назовите фазы мейоза II.
8. В чем состоит биологическое значение мейоза?

Тема 4. Наследование признаков в моногибридных и дигибридных скрещиваниях при независимом действии генов

Ключевые вопросы темы

Гибридологический анализ. Моногибридное скрещивание. Дигибридное скрещивание. Генотип и фенотип особи. Теоретическое и фактическое расщепление гибридов второго поколения.

Содержание темы занятия

Гибридологический анализ. При изучении этой темы студенту необходимо подробно рассмотреть методы гибридологического анализа, который является основным инструментом исследования закономерностей наследственности.

Гибридологический анализ – это метод изучения наследственных свойств организмов путем получения гибридов (потомства от родителей с различными признаками) и последующего наблюдения за особенностями их потомков. Этот метод позволяет установить закономерности передачи признаков от поколения к поколению и выявить характер взаимодействия генов.

Для успешного проведения гибридологического анализа необходимо соблюдение следующих условий.

Использование чистых линий родительских особей (гомозиготность).

Контроль над условиями среды, чтобы исключить влияние внешних факторов на результаты эксперимента.

Тщательное наблюдение и регистрация результатов всех поколений.

Статистическая обработка полученных данных для выявления закономерностей.

Для понимания основ генетической передачи признаков важно изучить принципы моногибридного и дигибридного скрещиваний, а также закономерности независимого комбинирования генов.

Моногибридное скрещивание. При изучении данной темы студенту необходимо подробно рассмотреть следующие аспекты:

Законы Менделя: закон единообразия гибридов первого поколения (F_1), закон расщепления во втором поколении (F_2) и закон чистоты гамет.

Пример с использованием семени гороха:

Гомозиготная доминантная особь (RR) $\times$ гомозиготная рецессивная особь (rr) $\rightarrow$ все гибриды F_1 будут гетерозиготными (Rr) и проявят доминантный признак.

Скрещивание между гибридами F_1 даст расщепление в соотношении 3:1 (доминантный : рецессивный фенотип) в поколении F_2 .

Применение закона расщепления в селекционной работе: знание соотношения расщепления помогает прогнозировать результаты скрещиваний и ускорять процесс отбора нужных признаков.

Дигибридное скрещивание. Для глубокого изучения этой темы студенты должны сосредоточиться на следующих моментах.

Принцип независимого комбинирования генов: каждый ген передается отдельно от другого, что ведет к разнообразию сочетаний признаков у потомства.

Квадрат Пеннета – инструмент для предсказания возможных комбинаций генотипов и фенотипов при скрещивании двух особей с известными генотипами.

Пример с двумя признаками: рассмотрим два признака – цвет семян (желтый Y/y) и форма семян (гладкая S/s):

Родители: YYSS (желтые гладкие семена) × yyss (зеленые морщинистые семена)

Все гибриды F₁ будут YySs и проявят оба доминантных признака.

Гибриды F₁ при скрещивании дадут разнообразные комбинации в F₂, включая рецессивные фенотипы.

Расщепление в F₂: соотношение будет 9:3:3:1 (домин./рецесс.), где 9/16 имеют оба доминантных признака, 3/16 – один доминантный и один рецессивный, 3/16 – другой доминантный и рецессивный, 1/16 – оба рецессивных.

Понимание принципа независимого комбинирования позволяет эффективно управлять селекционными процессами, создавая сорта с нужными комбинациями признаков.

Изучение принципов моногибридного и дигибридного скрещиваний является основой для селекционной работы. Понимание законов Менделя и особенностей независимого действия генов позволяет прогнозировать результаты скрещиваний и целенаправленно улучшать качества культурных растений.

Генотип и фенотип особи. Генотип – это совокупность всех генов организма, определяющая его наследственную информацию. Фенотип – это внешнее проявление генотипа, включающее физические характеристики, биохимические реакции и поведение организма. Важно понимать, что фенотип зависит от типа внутрилокусных взаимодействий аллелей гена.

Внутрилокусные взаимодействия аллелей включают:

Полное доминирование – один аллель полностью подавляет действие другого.

Неполное доминирование – проявляется промежуточный признак между двумя гомозиготными состояниями.

Кодоминантность – оба аллеля проявляются одновременно.

Теоретическое и фактическое расщепление гибридов второго поколения. При изучении этого вопроса студенты сталкиваются с важнейшими аспектами наследования признаков, включая закономерности расщепления гибридов.

Теория предполагает, что при моногибридном скрещивании гибридов первого поколения F₁ между собой во втором поколении F₂ происходит рас-

щепление фенотипов согласно законам Менделя. Для доминантного аллеля А и рецессивного а, соотношение фенотипов должно быть 3:1 (доминантный : рецессивный), а генотипов – 1АА : 2Аа : 1аа.

Фактическое же расщепление гибридов второго поколения может отличаться от теоретически ожидаемого соотношения из-за различных факторов, таких как: ошибки выборки; мутации; генетическая неоднородность исходных форм; неаллельные взаимодействия генов; эффект среды.

Для анализа соответствия фактического расщепления теоретическому используется хи-квадрат тест. Этот метод позволяет определить вероятность случайного отклонения наблюдаемого результата от ожидаемого.

Сущность хи-квадрат теста заключается в проверке гипотез о соответствии наблюдаемых данных ожидаемым значениям. Этот статистический метод позволяет оценить, насколько реальное распределение признаков в популяции соответствует теоретически предсказанному распределению, основанному на законах Менделя или других генетических моделях.

Основные этапы проведения хи-квадрат теста

Формулировка нулевой гипотезы: предполагается, что наблюдаемое распределение признаков соответствует ожидаемому.

Сбор данных: наблюдаемые частоты различных фенотипов или генотипов в исследуемой популяции.

Расчет ожидаемых частот: на основе теоретической модели (например, менделевских законов) вычисляются ожидаемые частоты для каждого класса признаков.

Хи-квадрат тест широко применяется в генетике и селекции растений для:

- Проверки менделевских закономерностей: проводится оценка соответствия наблюдаемого расщепления гибридов теоретическим ожиданиям;
- Анализа генетической структуры популяций: производится определение степени генетического разнообразия и генетической изменчивости;
- Оценки эффективности селекционных программ: производится анализ результатов скрещиваний и селекции на соответствие ожидаемым результатам.

Хи-квадрат тест является инструментом для подтверждения или опровержения гипотез в генетике и селекции растений, позволяя принимать обоснованные решения на основе статистически достоверных данных.

Изучение соответствия фактического и теоретического расщепления гибридов второго поколения играет важную роль в понимании механизмов наследования признаков и разработке эффективных стратегий селекции растений. Студентам необходимо детально разобраться в принципах менделевской генетики, уметь проводить статистические тесты и интерпретировать полученные результаты.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое гибридологический анализ?
2. Перечислите условия проведения гибридологического анализа.
3. Что такое генотип и фенотип особи?
4. Перечислите типы внутрилокусных взаимодействий аллелей гена.

5. Сформулируйте три закона Менделя.
6. В каких числовых отношениях происходит расщепление по генотипу и фенотипу в моногибридных скрещиваниях?
7. В каких числовых отношениях происходит расщепление по генотипу и фенотипу в дигибридных скрещиваниях?
8. Как определить соответствие фактически полученного расщепления гибридов теоретически ожидаемому расщеплению гибридов?
9. Приведите формулу для определения χ^2 факт.
10. Как найти число степеней свободы для дигибридного скрещивания?
11. Какой уровень значимости используется в сельскохозяйственных опытах?
12. Назовите формулу расщепления F_2 по фенотипу в дигибридных скрещиваниях при условии полного доминирования одного и неполного доминирования другого гена.
13. Назовите условия, при которых в дигибридных скрещиваниях происходит расщепление F_2 по фенотипу в отношении 1:2:1:2:4:2:1:2:1.
14. Приведите примеры наследования признаков в дигибридных скрещиваниях при разных ситуациях независимого действия генов.

Тема 5. Наследование признаков при взаимодействии генов

Ключевые вопросы темы

Взаимодействие генов. Комплементарное действие генов. Эпистатическое действие генов. Полимерное действие генов. Трансгрессия.

Содержание темы занятия

При изучении данной темы студенту важно понимать, какие существуют типы взаимодействий генов, как они влияют на проявление признаков и как эти процессы используются в практике селекционной работы.

Взаимодействие генов. Взаимодействие генов – это процесс, когда один или несколько генов оказывают влияние на экспрессию другого гена или группы генов. Такое взаимодействие может происходить как внутри одной хромосомы (цис-взаимодействия), так и между различными хромосомами (транс-взаимодействия). Примеры взаимодействий включают: комплементарность, эпистаз, полимерию. Эти явления играют ключевую роль в определении конечного фенотипа организма и часто приводят к непрогнозируемым результатам при скрещивании.

Неаллельные гены находятся в разных локусах хромосом и контролируют различные признаки. В зависимости от характера их влияния друг на друга выделяют несколько типов взаимодействий:

- комплементарное – два или более гена работают вместе для проявления признака;
- эпистатическое – один ген подавляет действие другого;
- полимерное – несколько генов совместно определяют степень выраженности количественного признака.

Каждый тип имеет свои особенности и примеры, которые будут рассмотрены далее.

Комплементарное действие генов. Комплементарное действие генов – это явление, когда для проявления определенного признака необходимы продукты двух или более неаллельных генов. Эти гены действуют синергически, дополняя друг друга.

Пример: у человека цвет глаз определяется двумя парами генов. Если оба гена присутствуют в доминантной форме, проявляется коричневый цвет глаз. Однако если хотя бы один из генов находится в рецессивной форме, глаза будут голубыми.

При изучении этой темы студенту необходимо подробно рассмотреть, как разные комбинации генов могут приводить к различным фенотипическим проявлениям.

Рассмотрим пример дигибридного скрещивания, где оба родителя являются гетерозиготными по двум признакам ($AaBb \times AaBb$).

Первый признак (А) контролирует форму плода (доминантный аллель А – круглая форма, рецессивный а – овальная). Второй признак (В) контролирует окраску плода (доминантный В – красная, рецессивный b – желтая). В результате такого скрещивания возможны следующие комбинации: AA BB – круглые красные плоды, aa bb – овальные желтые плоды, Aa Bb – кругло-красные или овально-желтые плоды в зависимости от сочетания аллелей.

Таким образом, комплементарное действие генов определяет разнообразие фенотипов в потомстве.

Эпистатическое действие генов. Эпистатическое действие генов – это явление, при котором один ген (эпистатический) подавляет экспрессию другого гена (гипостатического). В результате гипостатический ген не проявляет своего эффекта даже в присутствии соответствующего аллеля.

Пример: у мышей ген, определяющий черный окрас шерсти, может быть подавлен другим геном, который блокирует синтез пигмента. В таком случае мыши будут белыми независимо от наличия черного гена.

Студенту важно понимать, что эпистаз играет важную роль в селекции, так как позволяет управлять проявлением определенных признаков путем подбора соответствующих пар генов.

Существуют два основных вида эпистаза:

Доминирующий эпистаз – доминантный аллель одного гена подавляет действие другого гена.

Рецессивный эпистаз – рецессивный аллель одного гена подавляет действие другого гена.

Оба типа эпистаза имеют практическое значение в селекции, позволяя контролировать проявление нежелательных признаков.

Полимерное действие генов. Полимерное действие генов – это ситуация, когда несколько неаллельных генов (полигенов) совместно определяют степень выраженности количественного признака. Чем больше доминантных аллелей присутствует, тем сильнее проявляется признак.

Пример: высота растения может определяться несколькими полигенами. Растение с большим количеством доминантных аллелей будет высоким, тогда как растение с преобладанием рецессивных аллелей – низким.

Изучение полимерии особенно актуально для селекционеров, так как оно помогает понять механизмы формирования количественных признаков и использовать эту информацию для улучшения сельскохозяйственных культур.

Существует два основных вида полимерии:

Аддитивная полимерия – каждый дополнительный доминантный аллель увеличивает выраженность признака на одинаковую величину.

Кумулятивная полимерия – эффект каждого дополнительного доминантного аллеля уменьшается по мере увеличения их числа.

Понимание этих видов полимерии важно для прогнозирования результатов селекционных работ.

Трансгрессия. Трансгрессия – это явление, при котором некоторые особи в популяции превышают родительские значения по какому-либо признаку. Трансгрессия часто наблюдается при скрещивании особей с противоположными значениями признака (например, высокого и низкого растения).

Этот феномен связан с полимерией генов и может использоваться в селекции для получения улучшенных сортов растений.

Рассмотрим пример дигибридного скрещивания, где оба родителя гетерозиготны по двум признакам ($AaBb \times AaBb$). Признак А контролирует высоту растения (доминантный А – высокое, рецессивный а – низкое). Признак В также влияет на высоту (доминантный В – высокое, рецессивный b – низкое).

Возможные комбинации: AA BB – самые высокие растения, aa bb – самые низкие растения, Aa Bb – промежуточная высота в зависимости от количества доминантных аллелей.

Таким образом, полимерное действие генов обеспечивает широкий спектр вариаций высоты растений в потомстве.

Понимание механизмов комплементарности, эпистаза и полимерии позволяет разрабатывать эффективные стратегии улучшения сортов растений и повышения их продуктивности.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое взаимодействия генов?
2. Назовите типы взаимодействия неаллельных генов.
3. Что такое комплементарное действие генов?
4. Перечислите формулы расщепления гибридов F_2 по фенотипу в дигибридных скрещиваниях при комплементарном действии генов.
5. При каких условиях происходит расщепление F_2 по фенотипу в отношении 9:3:4?
6. При каких условиях происходит расщепление F_2 по фенотипу в отношении 9:6:1?
7. Назовите формулу расщепления гибридов F_2 по фенотипу в дигибридных скрещиваниях при условии отсутствия собственного фенотипического проявления у обоих комплементарных генов.

8. Приведите примеры наследования признаков в дигибридных скрещиваниях при разных ситуациях комплементарного действия генов.
9. Что такое эпистатическое действие генов?
10. Какие виды эпистаза вы знаете?
11. Перечислите формулы расщепления гибридов в F_2 по фенотипу в дигибридных скрещиваниях при эпистатическом действии генов.
12. При каких условиях происходит расщепление F_2 по фенотипу в отношении 13:3?
13. Назовите формулу расщепления F_2 по фенотипу в дигибридных скрещиваниях в случае неполного доминирования гена-ингибитора.
14. При каких условиях происходит расщепление F_2 по фенотипу в отношении 12:3:1?
15. Чем отличаются два случая эпистаза при одинаковом расщеплении F_2 по фенотипу в отношении 13:3?
16. Приведите примеры наследования признаков в дигибридных скрещиваниях при разных ситуациях эпистатического действия генов.
17. Что такое полимерное действие генов?
18. Какие виды полимерии генов вы знаете?
19. Перечислите формулы расщепления гибридов F_2 по фенотипу в дигибридных скрещиваниях при полимерном скрещивании генов.
20. При каких условиях происходит расщепление F_2 по фенотипу в отношении 1:4:6:4:1?
21. Назовите формулу расщепления F_2 по фенотипу в дигибридных скрещиваниях при некумулятивной полимерии.
22. Что такое трансгрессии?
23. Приведите примеры наследования признаков в дигибридных скрещиваниях при разных ситуациях полимерного действия генов.

Тема 6. Хромосомное определение пола

Ключевые вопросы темы

Определение пола у млекопитающих и птиц. Голандрический тип наследования. Частично сцепленное с полом наследование. Ограниченное полом наследование. Зависимое от пола наследование.

Содержание темы занятия

Целью этой темы является изучение механизмов определения пола у различных организмов, включая млекопитающих и птиц, а также понимание типов наследования признаков, связанных с половыми хромосомами. Основные вопросы для углубленного изучения студентом следующие.

Определение пола у млекопитающих и птиц. У млекопитающих (включая человека) пол определяется системой XY: самцы имеют набор XY, а самки – XX.

У птиц используется система ZW: самцы имеют набор ZZ, а самки – ZW.

Студенту необходимо подробно рассмотреть различия между этими системами и механизмы, обеспечивающие развитие организма по мужскому или женскому типу.

Голандрический тип наследования. Голандрические признаки передаются через Y-хромосому и проявляются только у особей мужского пола. Примеры включают такие признаки, как гипертрихоз ушной раковины (избыточный рост волос на ушах), которые встречаются исключительно у мужчин. Важно понимать, что эти признаки не могут передаваться от матери к сыну, поскольку Y-хромосома передается только от отца к сыну.

Сцепленное с полом наследование. Признаки, контролируемые генами, расположенными на X- или Y-хромосомах, называются сцепленными с полом.

Наиболее известный пример – гемофилия, связанная с мутацией гена фактора свертываемости крови, расположенного на X-хромосоме.

Особое внимание стоит уделить особенностям передачи таких признаков в зависимости от пола родителей и потомства.

Частично сцепленное с полом наследование. Это случаи, когда гены, контролирующие определенный признак, находятся на обоих половых хромосомах, но различаются по функциям. Например, цвет оперения у некоторых видов птиц может определяться генами, находящимися как на Z-, так и на W-хромосомах.

Для понимания этого типа наследования важно рассмотреть взаимодействие генов, расположенных на разных половых хромосомах.

Ограниченное полом наследование. Некоторые признаки могут проявляться только у одного пола, даже если гены, отвечающие за них, присутствуют у обоих полов. Пример – грудная железа у мужчин: хотя гены, регулирующие ее развитие, есть и у мужчин, она не развивается из-за отсутствия необходимых гормонов.

Этот механизм требует глубокого анализа гормональной регуляции развития органов и тканей.

Зависимое от пола наследование. Признаки, проявление которых зависит от пола особи, несмотря на наличие одинаковых генов у обоих полов. Классическим примером является облысение у мужчин, которое обусловлено взаимодействием генов и уровня тестостерона.

Здесь важно разобраться в сложных взаимодействиях между генетической информацией и физиологическими процессами, определяющими фенотипическое выражение признака.

Примеры наследования признаков, детерминируемых генами, локализованными в половых хромосомах.

Наследование цвета глаз у дрозофилы (*Drosophila melanogaster*): красный цвет глаз обусловлен доминантным аллелем гена, находящегося на X-хромосоме.

Синдром Тернера у людей (XO): отсутствие второй X-хромосомы ведет к нарушению нормального полового развития.

Анализ конкретных примеров поможет студентам лучше понять принципы работы генетических систем и их влияние на формирование фенотипа.

Таким образом, изучение темы «Хромосомное определение пола» требует от студента глубокого понимания различий между системами определения пола у разных групп животных, а также особенностей наследования признаков, связанных с половыми хромосомами.

Вопросы для самоконтроля

1. Как определяется пол у млекопитающих и птиц?
2. Что такое голандрический тип наследования?
3. Какие признаки называют гологеническими?
4. Что такое сцепленное с полом наследование?
5. Что такое частично сцепленное с полом наследование?
6. Что такое ограниченное полом наследование?
7. Что такое зависимое от пола наследование?
8. Приведите примеры наследования признаков, детерминируемых генами, локализованными в половых хромосомах.

Тема 7. Наследование при сцеплении генов

Ключевые вопросы темы

Сцепленное наследование. Закон сцепленного наследования Т. Моргана. Число фенотипических классов при полном сцеплении генов. Закон линейного расположения генов в хромосоме Т. Моргана.

Содержание темы занятия

Сцепленное наследование. Сцепленное наследование было открыто Томасом Хантом Морганом в начале XX в. В своих экспериментах на плодовых мушках *Drosophila melanogaster* Морган обнаружил, что некоторые гены передаются вместе от поколения к поколению, что противоречит законам Менделя о независимом комбинировании признаков. Это явление получило название сцепления генов.

Виды сцепления генов. Существует два основных вида сцепления генов:

- Полное сцепление: гены расположены настолько близко друг к другу на одной хромосоме, что практически не подвергаются кроссинговеру во время мейоза. Следовательно, они передаются совместно из поколения в поколение.

- Неполное сцепление: гены находятся на некотором расстоянии друг от друга на одной хромосоме, что позволяет происходить кроссинговеру между ними. В результате этого образуются новые комбинации аллелей, и гены могут передаваться независимо.

Закон сцепленного наследования Т. Моргана. Закон сцепленного наследования гласит: «Гены, расположенные на одной хромосоме, имеют тенденцию наследоваться вместе, если расстояние между ними достаточно велико для предотвращения регулярного кроссинговера».

При изучении этой темы студенту необходимо подробно рассмотреть механизмы кроссинговера и влияние расстояния между генами на вероятность их совместного наследования.

Число фенотипических классов при полном сцеплении генов. При полном сцеплении генов в потомстве второго поколения (F_2) и беккроссе (F_a) наблюдается следующее количество фенотипических классов:

F_2 : два фенотипических класса – родительские типы;

F_a : один фенотипический класс – один из родительских типов.

Это связано с отсутствием кроссинговера между генами, что ведет к сохранению исходных комбинаций аллелей.

Закон линейного расположения генов в хромосоме Т. Моргана. Томас Морган также сформулировал закон линейного расположения генов в хромосоме: «Гены располагаются в линейной последовательности вдоль хромосомы, и частота кроссинговера между двумя генами пропорциональна физическому расстоянию между ними». Этот закон подчеркивает важность понимания структуры хромосом и роли кроссинговера в процессе наследственности.

Число фенотипических классов при неполном сцеплении генов. При неполном сцеплении генов в потомстве второго поколения (F_2) и беккроссе (F_a) наблюдается большее разнообразие фенотипических классов:

F_2 : три фенотипических класса – два родительских типа и один рекомбинантный тип;

F_a : два фенотипических класса – один родительский тип и один рекомбинантный тип.

Появление рекомбинантных типов обусловлено кроссинговером между генами, который приводит к новым комбинациям аллелей.

В качестве примеров сцепленного наследования можно привести следующие.

У человека: сцепленные с полом признаки, такие как цветовая слепота и гемофилия, которые связаны с X-хромосомой.

У растений: у кукурузы сцеплены гены, отвечающие за окраску семян и форму листьев.

У животных: у мышей сцеплены гены, определяющие окрас шерсти и длину хвоста.

Эти примеры иллюстрируют, как сцепление генов влияет на передачу признаков и может использоваться в селекционных программах для предсказания результатов скрещиваний.

Изучение сцепленного наследования играет ключевую роль в понимании механизмов передачи генетической информации и имеет важное практическое значение в селекции растений. Студенты должны хорошо разбираться в законах Моргана, механизмах кроссинговера и уметь применять эти знания для анализа и прогнозирования результатов гибридизации.

Вопросы для самоконтроля

1. Кто и когда открыл сцепленное наследование?
2. Какие виды сцепления генов вы знаете?
3. Сформулируйте закон сцепленного наследования Т. Моргана.
4. Назовите число фенотипических классов в F_2 и F_a при полном сцеплении генов.

5. Сформулируйте закон линейного расположения генов в хромосоме Т. Моргана.

6. Назовите число фенотипических классов в F_2 и F_a при неполном сцеплении генов.

7. Приведите примеры сцепленного наследования.

Тема 8. Строение нуклеиновых кислот

Ключевые вопросы темы

Строение ДНК. Строение РНК. Генетический код. Передача наследственной информации. Ген и его видовая специфичность. Функция кодонов-терминаторов.

Содержание темы занятия

Нуклеиновые кислоты – это биополимеры, играющие ключевую роль в хранении, передаче и реализации генетической информации во всех живых организмах. Изучение строения нуклеиновых кислот является основой понимания процессов жизнедеятельности клетки, в частности селекции растений. Для успешного освоения данной темы студентам необходимо глубоко разбираться в основных аспектах строения и функционирования молекул ДНК и РНК.

Строение ДНК. Молекула ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) – это полимерная молекула, состоящая из двух цепей, образующих двойную спираль. Она служит основным хранилищем генетической информации в клетках большинства организмов, включая растения.

Основными компонентами ДНК являются:

- Дезоксирибоза – пятиуглеродный сахар;
- Фосфатная группа;
- Азотистые основания: аденин (А), тимин (Т), гуанин (G) и цитозин (С).

Структура двойной спирали: две цепи нуклеотидов соединены водородными связями между азотистыми основаниями согласно принципу комплементарности: А-Т и G-С. Молекулы дезоксирибозы и фосфатов образуют каркас каждой цепи, создавая характерную структуру «лестницы».

При изучении этой темы студенту необходимо подробно рассмотреть вопросы о структуре двойной спирали, принципах комплементарности и роли отдельных компонентов молекулы ДНК.

Строение РНК. РНК (рибонуклеиновая кислота) также играет важную роль в процессах передачи и реализации генетической информации. Однако ее структура отличается от структуры ДНК.

Основные отличия:

- Вместо дезоксирибозы в РНК используется рибоза;
- Азотистое основание тимин (Т) заменено на урацил (U).

РНК обычно существует в виде одной цепи, хотя возможны вторичные структуры.

Студенту важно понимать эти структурные различия, чтобы правильно интерпретировать функции различных типов РНК (мРНК, тРНК, рРНК) в процессе синтеза белков.

Генетический код. Генетический код – это система «перевода» последовательности нуклеотидов в последовательность аминокислот в белке. Он состоит из триплетов нуклеотидов, называемых кодонами, каждый из которых соответствует определенной аминокислоте.

К особенностям генетического кода относят:

- Универсальность: одинаков для большинства организмов;
- Триплетность: каждая аминокислота кодируется тремя нуклеотидами.
- Дегенеративность: одна аминокислота может кодироваться несколькими разными кодонами;
- Неперекрываемость: кодоны не перекрывают друг друга;
- Наличие стартового и стоп-кодона.

При изучении этой темы студенту нужно обратить внимание на принципы работы генетического кода и его значение для процесса трансляции.

Передача наследственной информации. Процесс передачи наследственной информации включает два ключевых этапа: транскрипцию и трансляцию.

Транскрипция: синтез мРНК на основе ДНК-матрицы. Фермент РНК-полимераза считывает одну цепь ДНК и синтезирует комплементарную ей цепь РНК. Процесс происходит в ядре клетки.

Трансляция: синтез белка на основе мРНК. Происходит в рибосомах. тРНК доставляет аминокислоты к рибосоме, где они присоединяются к растущей полипептидной цепи в соответствии с кодоном мРНК.

Эти процессы обеспечивают точную передачу генетической информации от поколения к поколению и играют ключевую роль в регуляции клеточных функций.

Ген и его видовая специфичность. Ген – это участок ДНК, содержащий информацию о структуре определенного белка или функциональной РНК. Видовая специфичность гена определяется уникальными последовательностями нуклеотидов, которые определяют уникальные белки и функции организма.

Факторы, влияющие на видовую специфичность:

- различия в последовательностях нуклеотидов;
- регуляторные элементы, определяющие экспрессию генов;
- эпигенетические модификации, такие как метилирование ДНК и модификация гистонов.

Изучение этой темы поможет студентам лучше понять механизмы эволюции и адаптации видов, а также возможности селекции растений.

Функция кодонов-терминаторов. Кодоны-терминаторы, также известные как стоп-кодона, сигнализируют о завершении синтеза белка во время трансляции. Они не соответствуют ни одной аминокислоте и служат сигналом для отделения новой полипептидной цепи от рибосомы.

Функциональное значение:

- обеспечивают точность процесса трансляции;

- предотвращают образование аномальных белков.

Студентам важно понимать механизм действия стоп-кодонов, поскольку нарушения в их функционировании могут привести к серьезным заболеваниям.

Изучение строения нуклеиновых кислот и механизмов передачи генетической информации имеет фундаментальное значение для понимания процессов жизни клеток и разработки новых методов селекции растений.

Вопросы для самоконтроля

1. Что представляет собой молекула ДНК?
2. Какие существуют различия в строении ДНК и РНК?
3. Что такое генетический код?
4. Как осуществляется передача наследственной информации от молекулы ДНК на молекулу белка?
5. Что такое ген, от чего зависит его видовая специфичность?
6. Какова функция кодонов-терминаторов?

Тема 9. Основы генной инженерии растений

Ключевые вопросы темы

Генная инженерия и ее методы. Роль плазмид в генной инженерии растений. Трансформация и ее методы. Выключение гена.

Содержание темы занятия

Генная инженерия и ее методы. Генная инженерия – это область биотехнологии, занимающаяся изменением генетической структуры организмов путем введения новых генов или изменения существующих. Этот процесс позволяет создавать растения с улучшенными характеристиками, такими как устойчивость к болезням, насекомым-вредителям, неблагоприятным условиям окружающей среды, а также повышение урожайности и улучшение качества продукции.

При изучении этой темы студентам необходимо подробно рассмотреть вопрос о различиях между традиционными методами селекции и методами генной инженерии.

Студенты должны понимать принципы работы различных методов трансформации растений, включая агробактериальную трансформацию и биполярную флуоресценцию (BIF).

Важно разобраться в механизме работы CRISPR/Cas9 системы редактирования генома, поскольку она является одним из наиболее перспективных инструментов современной генной инженерии.

Необходимо уделить внимание этическим аспектам использования генной инженерии, особенно в контексте производства продуктов питания.

Суть генной инженерии заключается в целенаправленном изменении генетического материала организма с целью придания ему новых свойств или улучшения уже имеющихся характеристик. Это достигается путем внедрения чужеродных генов, удаления нежелательных генов или модификации суще-

ствующих генов. Генная инженерия позволяет ускорить процессы селекции, повысить эффективность и точность получения желаемых результатов.

Методы генно-инженерных исследований включают:

Клонирование ДНК: процесс выделения, амплификации и вставки фрагментов ДНК в вектор для дальнейшего изучения или манипуляции.

Полимеразная цепная реакция (ПЦР): метод амплификации специфических участков ДНК.

Секвенирование ДНК: определение последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК.

Редактирование генома: использование технологий, таких как CRISPR/Cas9, для внесения изменений в конкретные участки генома.

Трансгенез: введение чужеродных генов в геном организма.

Роль плазмид в генной инженерии растений. Плазмида – это небольшая кольцевая молекула ДНК, способная автономно реплицироваться внутри клетки. Плазмиды часто используются в качестве векторов для переноса генов при генно-инженерных манипуляциях. Они содержат специальные сайты рестрикции, позволяющие встраивать нужный фрагмент ДНК, а также маркеры селекции, помогающие идентифицировать успешно трансформированные клетки.

Трансформация и ее методы. Трансформация – это процесс введения экзогенной ДНК в клетку хозяина. В случае растений это может происходить через агробактериальную трансформацию, электропорацию, микроинъекцию или биобаллистический метод. После успешной трансформации клетка приобретает новые свойства, кодируемые введенными генами.

Основные методы трансформации включают:

Агробактериальная трансформация: использование бактерий *Agrobacterium tumefaciens* для доставки ДНК в растительные клетки.

Электропорация: применение электрического поля для временного увеличения проницаемости клеточных мембран, что позволяет ДНК проникнуть внутрь клетки.

Микроинъекция: прямая инъекция ДНК в ядро клетки с помощью тонкой иглы.

Биобаллистическая трансформация (метод "биологической пушки"): обстрел клеток микрочастицами золота или вольфрама, покрытыми ДНК, чтобы ввести их в клетки.

Выключение гена. Для выключения гена используют несколько подходов:

РНК-интерференция (RNAi): введение малых интерферирующих РНК (siRNA), которые связываются с мРНК целевого гена и предотвращают его транскрипцию.

CRISPR/Cas9 система: редактирование генома, при котором Cas9 фермент разрезает ДНК в определенном месте, что приводит к нарушению функции гена.

Мутагенез: внесение случайных мутаций в ген, что может привести к его инактивации.

Таким образом, изучение основ генной инженерии растений требует глубокого понимания принципов работы различных методов трансформации, механизмов редактирования генома и этических вопросов, связанных с применением этих технологий.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем суть генной инженерии?
2. Какие существуют методы генно-инженерных исследований?
3. Что такое плаزمид?
4. Что такое трансформация?
5. Какие методы применяют для трансформации?
6. Как выключить ген?

Тема 10. Нехромосомная наследственность

Ключевые вопросы темы

Формы проявления мужской стерильности у растений. Цитоплазматическая мужская стерильность и ее отличия от генетически обусловленной мужской стерильности. Наследование генетически обусловленной мужской стерильности у растений. Наследование цитоплазматической мужской стерильности у растений. Генотип закрепителя стерильности и восстановителя фертильности у растений.

Содержание темы занятия

При изучении основ генетики особое внимание уделяется вопросам наследственности, связанной не только с хромосомной ДНК, но и с внехромосомными элементами. Одной из ключевых форм такой наследственности является цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС) – явление, которое играет важную роль в селекции растений, особенно в программах гибридизации. Для понимания процессов, связанных с ЦМС, студентам важно изучить особенности наследования признаков, которые контролируются факторами, находящимися в цитоплазме клетки.

Формы проявления мужской стерильности у растений. Мужская стерильность у растений проявляется в неспособности растения производить жизнеспособную пыльцу. Это состояние может возникать вследствие различных факторов, включая генетические нарушения, изменения в цитоплазме клеток или внешние воздействия. Основные формы мужской стерильности включают:

Генетически обусловленная мужская стерильность (ГМС): стерильность возникает из-за мутаций в ядерных генах, которые регулируют развитие мужских репродуктивных органов.

Цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС): связана с изменениями в митохондриях или хлоропластах, находящихся в цитоплазме клеток.

Физиологическая мужская стерильность: вызвана внешними условиями, такими как температура, свет или питание.

Цитоплазматическая мужская стерильность и ее отличия от ГМС. Цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС) – это форма мужской сте-

рильности, которая обусловлена наличием специфичных генов в митохондриях или хлоропластах растительной клетки. Эти гены влияют на способность растения производить функциональную пыльцу, что делает растение стерильным в отношении опыления. Однако ЦМС не влияет на женскую фертильность растения, позволяя ему нормально завязывать плоды после опыления пыльцой другого растения.

При изучении этой темы студенту необходимо подробно рассмотреть молекулярные механизмы, лежащие в основе ЦМС, чтобы понимать, как эти процессы могут использоваться в селекционных программах.

Принципиальные отличия ЦМС от ГМС заключается в следующем:

Локализация генов:

ЦМС: гены, вызывающие стерильность, находятся в митохондриях или хлоропластах (органеллах цитоплазмы).

ГМС: гены, отвечающие за стерильность, расположены в ядерной ДНК.

Тип наследования:

ЦМС: наследование идет через материнский организм, поскольку митохондрии и хлоропласты передаются потомству преимущественно через яйцеклетку.

ГМС: наследование осуществляется согласно законам Менделя, где признаки распределяются независимо от пола родителей.

Устойчивость к внешним условиям:

ЦМС: менее подвержена влиянию внешних условий, так как гены митохондрий относительно стабильны.

ГМС: может быть чувствительна к изменениям окружающей среды, так как ядерные гены подвержены воздействию различных факторов.

Эти различия делают ЦМС важным инструментом в селекции растений, так как она позволяет контролировать оплодотворение и получать высокоурожайные гибриды.

Наследование ГМС у растений. Генная мужская стерильность (ГМС) наследуется в соответствии с законами Менделя. Гены, определяющие этот признак, располагаются в ядре клетки и передаются по обычным правилам генетического наследования. К основным аспектам наследования ГМС:

Моногенное наследование: часто один или несколько генов отвечают за проявление мужской стерильности.

Рецессивное наследование: обычно мужские стерильные линии имеют рецессивные аллели, которые проявляются только в гомозиготном состоянии.

Скращивание: при скращивании стерильного растения с фертильным, если стерильный родитель несет рецессивный аллель, потомство будет гетерозиготным и проявит фертильность.

Для лучшего понимания этого процесса студенту рекомендуется рассмотреть конкретные примеры скращиваний и проанализировать результаты расщепления поколений.

Наследование цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) у растений

Цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС) передается через цитоплазму яйцеклетки, поэтому наследование этого признака идет исключительно по женской линии. Основные моменты, которые нужно учитывать при изучении этого вопроса:

Материнское наследование: ЦМС передается от матери к потомству, так как митохондрии и хлоропласты наследуются через яйцеклетку.

Стабильность признака: ЦМС сохраняется в поколениях, пока растение не подвергается воздействию восстанавливающих факторов.

Влияние на гибриды: ЦМС используется в создании гибридных сортов, так как позволяет контролировать процесс опыления и получения семян.

Студентам важно разобраться в механизмах передачи ЦМС и ее роли в селекционных процессах.

Генотип закрепителя стерильности и восстановителя фертильности у растений. Закрепители стерильности и восстановители фертильности играют ключевую роль в поддержании и восстановлении мужской фертильности у растений. Их генотипы определяют, сможет ли растение вернуть себе способность к производству пыльцы.

Закрепитель стерильности (*Maintainer*): растение, которое при скрещивании с ЦМС-линией поддерживает стерильность в следующем поколении. Его генотип обозначается как *ms* (стерильная линия), а в митохондриях присутствуют гены ЦМС (*cms*).

Восстановитель фертильности (*Restorer*): растение, способное восстановить фертильность у стерильной линии при скрещивании. Оно имеет генотип *Ms* (фертильная линия) и содержит гены восстановления (*Rf*) в своем ядерном геноме.

Понимание этих генотипов помогает в разработке стратегий селекции и производства гибридных семян.

Изучение нехромосомной наследственности, особенно ЦМС, имеет большое значение для понимания процессов в области селекции растений. Понимание механизмов наследования ЦМС и ГМС позволит эффективно использовать эти явления в практике селекции для повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите формы проявления мужской стерильности у растений.
2. Что такое цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС)?
3. Чем принципиально отличается цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС) от генной мужской стерильности (ГМС)?
4. Как наследуется генная мужская стерильность (ГМС) у растений?
5. Как наследуется цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС) у растений?
6. Назовите генотип закрепителя стерильности и восстановителя фертильности у растений.

Тема 11. Модификационная и мутационная изменчивость

Ключевые вопросы темы

Комбинационная изменчивость. Мутационная изменчивость. Модификационная изменчивость. Хромосомные мутации. Закон гомологических рядов.

Содержание темы занятия

При изучении курса «Основы генетики» студенты должны освоить ключевые понятия, касающиеся комбинационной, модификационной и мутационной изменчивости. Эти знания необходимы для понимания механизмов наследственности и изменчивости, что является основой в понимании основ генетики и ее применения в селекции растений.

Комбинационная изменчивость. Комбинационная изменчивость – это тип изменчивости, возникающий вследствие различных сочетаний аллелей (вариантов одного гена), полученных от родителей в процессе полового размножения. Этот вид изменчивости связан с рекомбинацией генов во время мейоза и кроссинговера, а также случайной комбинацией гамет при оплодотворении. При изучении этой темы студенту необходимо подробно рассмотреть следующие аспекты:

- механизмы мейоза и кроссинговера;
- роль комбинативной изменчивости в создании генетической variabilityности;
- значение комбинативной изменчивости для эволюции и селекционных процессов.

Мутационная изменчивость. Мутационная изменчивость – это изменения в генетическом материале организма, возникающие спонтанно или под воздействием внешних факторов (мутагенов). Мутации могут происходить на уровне отдельных нуклеотидов (точковые мутации), целых генов (генные мутации) или даже хромосом (хромосомные мутации). Студенту важно изучить:

- типы мутаций: точечные, генные, хромосомные;
- причины возникновения мутаций: физические, химические, биологические факторы;
- последствия мутаций: полезные, нейтральные, вредные эффекты.

Модификационная изменчивость. Модификационная изменчивость – это ненаследуемые изменения фенотипа, вызванные внешними условиями среды. Они не связаны с изменениями в генетическом коде и не передаются потомству. Студентам следует обратить внимание на:

- примеры модификационной изменчивости: реакция растений на свет, температуру, влажность;
- отличие модификационной изменчивости от мутационной и комбинативной;
- практическое значение модификационной изменчивости в агрономии и селекции.

Хромосомные мутации. Хромосомные мутации включают структурные изменения хромосом, такие как делеции, дупликации, инверсии и транслокации. Они влияют на большое количество генов одновременно и часто приводят к значительным изменениям в организме. Необходимо детально разобрать:

- классификацию хромосомных мутаций;
- механизмы образования хромосомных аномалий;
- влияние хромосомных мутаций на жизнеспособность и плодовитость организмов;

- закон гомологических рядов в наследственной изменчивости.

Закон гомологических рядов был сформулирован Н. И. Вавиловым и гласит, что родственные виды и роды имеют сходные ряды наследственной изменчивости. Это означает, что у близких видов наблюдаются параллельные серии мутаций, приводящие к схожим фенотипическим изменениям.

При изучении данного закона студентам рекомендуется сосредоточиться на следующих моментах:

- исторический контекст открытия закона;
- примеры проявления закона у культурных растений;
- применение закона в селекционной практике.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое комбинационная изменчивость?
2. Что такое мутационная изменчивость?
3. Что такое модификационная изменчивость?
4. Назовите хромосомные мутации.
5. Сформулируйте закон гомологических рядов в наследственной изменчивости.

Тема 12. Полиплоидия и другие изменения числа хромосом

Ключевые вопросы темы

Полиплоидия. Виды полиплоидов. Конъюгация хромосом у полиплоидов. Расщепление гибридов. Неполное доминирование.

Содержание темы занятия

Полиплоидия – одно из ключевых явлений в генетике, которое играет важную роль в эволюции и селекции растений. Изучение этой темы является неотъемлемой частью подготовки специалистов в области селекции растений. В данной теме следует рассмотреть основные аспекты полиплоидии, ее типы, причины возникновения и последствия, а также особенности наследования признаков у полиплоидных организмов.

Полиплоидия. При изучении этого вопроса студенту необходимо детально разобраться в понятиях полиплоидии, гаплоидности и диплоидности.

Полиплоидия – это состояние организма, при котором число наборов хромосом (геномов) больше двух. У диплоидных организмов (например, большинства высших растений и животных) клетки содержат два набора хромосом – один от матери, другой от отца. Полиплоидные организмы имеют три или более наборов хромосом. Примеры:

Гаплоиды: гаметы (спермии и яйцеклетки), имеющие один набор хромосом (n).

Диплоиды: соматические клетки большинства эукариот, содержащие два набора хромосом ($2n$).

Триплоиды: организмы с тремя наборами хромосом ($3n$).

Тетраплоиды: четыре набора хромосом ($4n$).

Для студента важно понимать, что полиплоидия встречается преимущественно среди растений, тогда как у животных она редка и часто связана с бесплодием.

Виды полиплоидов. При изучении видов полиплоидов студенту нужно сосредоточиться на различиях между автополиплоидией и аллополиплоидией.

Автополиплоиды образуются путем удвоения хромосом одного вида. Например, если растение изначально было диплоидом ($2n$), оно может стать тетраплоидом ($4n$).

Примеры автополиплоидов:

- Тетраплоидная пшеница (*Triticum durum*) с набором хромосом $4n = 28$.

Особенности автополиплоидов:

- Наборы хромосом одинаковы.
- Повышенная жизнеспособность благодаря большей генетической вариабельности.

- Часто встречаются у культурных растений.

Аллополиплоиды возникают в результате слияния гаплоидных наборов разных видов. Это явление особенно распространено у растений, где аллополиплоиды играют ключевую роль в эволюционных процессах.

Пример аллополиплоида:

- Пшенично-ржаной гибрид (*Triticale*), который содержит наборы хромосом пшеницы и ржи.

Особенности аллополиплоидов:

- Включают разные наборы хромосом от различных видов.
- Могут обладать новыми свойствами, сочетая признаки родительских форм.

- Устойчивость к неблагоприятным условиям среды.

Различие между автополиплоидами и аллополиплоидами заключается в происхождении хромосомных наборов.

Конъюгация хромосом у полиплоидов. Конъюгация – процесс спаривания гомологичных хромосом во время мейоза. Нарушение конъюгации у полиплоидов связано с наличием нескольких копий одних и тех же хромосом, что усложняет правильное распределение хромосом в процессе деления клеток.

Причины нарушения конъюгации:

- Наличие трех или более гомологов одной хромосомы затрудняет правильную ориентацию хромосом во время мейоза.

- Увеличение количества гомологов повышает вероятность образования мультивалентов (сложных структур из нескольких хромосом).

Последствия нарушений конъюгации:

- Анеуплоидия (нарушение баланса хромосом): некоторые гаметы могут получить неправильное количество хромосом.

- Стерильность: неправильное расхождение хромосом ведет к образованию нежизнеспособных гамет.

- Генетическая нестабильность: повышается риск мутаций и других изменений в геноме.

Студент должен понимать, что эти процессы влияют на репродуктивную способность полиплоидных организмов и могут приводить к появлению новых сортов растений.

Расщепление гибридов. Рассмотрим, как происходит расщепление гибридов F_2 по генотипу и фенотипу в моногибридном скрещивании у тетраплоидов при полном доминировании генов. Для понимания этого вопроса студенту необходимо хорошо разбираться в основах генетики, законах Менделя и особенностях наследования признаков у полиплоидных организмов.

Приведем пример моногибридного скрещивания у тетраплоидов, когда один признак контролируется двумя парами аллелей ($AAVV \times aabb$):

Скрещивание тетраплоидов

F_1 поколение. Все особи будут иметь генотип $AaVb$ (смешанный гетерозиготный генотип). Генотипически все особи будут проявлять доминантные признаки (если A и V доминантны).

F_2 поколение. При расщеплении гибридов F_2 будет наблюдаться разнообразие генотипов и фенотипов. Расщепление по генотипу можно представить следующим образом:

$AA\ VV : AaVV : aaVV : AAVb : AaVb : aaVb : Aabb : aabb$.

Если оба гена проявляют полное доминирование, то фенотипическое расщепление будет выглядеть так:

- Доминантный фенотип (все комбинации с хотя бы одним доминантным аллелем): 15/16.

- Рецессивный фенотип (только $aabb$): 1/16.

Таким образом, соотношение фенотипических классов в F_2 поколении будет примерно 15:1 в пользу доминантного признака.

Важно помнить, что у полиплоидов расщепление генов сложнее, чем у диплоидов, из-за большего числа аллелей каждого гена.

Неполное доминирование. Рассмотрим на примере, какой вид имеет соотношение фенотипических классов F_2 в моногибридном скрещивании при неполном доминировании гена. Неполное доминирование означает, что гетерозиготные особи проявляют промежуточный фенотип между доминантным и рецессивным признаками.

Пример. Допустим, у нас есть два аллеля – A и a , где A частично доминирует над a . Скрещиваем $AAAA \times aaaa$:

F_1 поколение:

- Все особи будут иметь генотип $AaAa$.

- Промежуточный фенотип.

F_2 поколение. Расщепление по генотипу будет аналогично случаю полного доминирования, но фенотипически будет проявляться иначе.

Соотношение фенотипических классов:

- Особи с доминантным фенотипом ($AAAA, AAAa, AAaa, Aaaa$): 9/16.

- Гетерозиготы с промежуточным фенотипом (AaAa): 6/16.
- Особи с рецессивным фенотипом (aaaa): 1/16.

Таким образом, соотношение фенотипических классов в F₂ поколении при неполном доминировании будет 9:6:1.

Изучение полиплоидии и других изменений числа хромосом является важной частью курса «Основы генетики». Студенты должны глубоко понимать механизмы полиплоидизации, различия между автополиплоидами и аллополиплоидами, а также особенности наследования признаков у полиплоидных организмов. Эти знания необходимы понимания процессов эволюции и адаптации растений к различным условиям окружающей среды.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое полиплоидия?
2. Какие виды полиплоидов существуют?
3. Почему происходит и к чему приводит нарушение конъюгации хромосом у полиплоидов?
4. Как происходит расщепление гибридов F₂ по генотипу и фенотипу в моногибридном скрещивании у тетраплоидов при полном доминировании генов?
5. Какой вид имеет соотношение фенотипических классов F₂ в моногибридном скрещивании при неполном доминировании гена?

Тема 13. Отдаленная гибридизация

Ключевые вопросы темы

Гибридизация и отдаленная гибридизация. Нескрещиваемость разных видов. Стерильность отдаленных гибридов. Синтез видов. Ресинтез видов.

Содержание темы занятия

Отдаленная гибридизация – это процесс скрещивания организмов, принадлежащих к разным видам или родам, что позволяет селекционерам получать новые сорта растений с уникальными характеристиками. Изучение этой темы является важной для селекции растений, так как она открывает возможности для создания новых сортов, устойчивых к неблагоприятным условиям среды и обладающих улучшенными хозяйственно-ценными признаками.

При изучении этой темы студенту необходимо детально разобраться в понятиях гибридизации и отдаленной гибридизации.

Гибридизация – это процесс скрещивания организмов, принадлежащих к одному или разным видам, с целью получения гибридов. Отдаленная гибридизация – это скрещивание организмов, принадлежащих к разным видам или родам, которые обычно не скрещиваются в природе.

Примеры:

- Скрещивание пшеницы (*Triticum*) и ржи (*Secale*) для получения тритикале.
- Скрещивание картофеля (*Solanum tuberosum*) и диких видов картофеля для улучшения устойчивости к болезням.

Для студента важно понимать, что отдаленная гибридизация позволяет селекционерам комбинировать генетический материал разных видов, что может привести к созданию новых сортов с уникальными свойствами.

Нескрещиваемость разных видов. При изучении методов преодоления нескрещиваемости студенту необходимо подробно рассмотреть следующие подходы:

1. Использование вспомогательных методов скрещивания

- Искусственное опыление: использование пыльцы одного вида для опыления цветков другого вида.

- Культура тканей и клеток: выращивание гибридных эмбрионов в искусственных условиях.

2. Генетическая инженерия

- Введение генов устойчивости: введение генов, обеспечивающих устойчивость к неблагоприятным условиям среды.

- Генетическая модификация: изменение генома одного из видов для повышения совместимости.

3. Использование промежуточных форм

- Скрещивание с близкими видами: использование видов, которые находятся на промежуточной стадии эволюции между двумя отдаленными видами.

Различие между методами преодоления нескрещиваемости заключается в их эффективности и применимости в конкретных случаях.

Стерильность отдаленных гибридов. При изучении методов преодоления стерильности гибридов студенту необходимо подробно рассмотреть следующие подходы:

1. Полиплоидизация

- Индукция полиплоидии: использование химических веществ или физических факторов для увеличения числа хромосом в клетках гибридов.

- Амфидиплоидия: создание гибридов с удвоенным набором хромосом от каждого родителя.

2. Генная инженерия

- Введение генов фертильности: введение генов, обеспечивающих фертильность гибридов.

- Модификация генома: изменение генома гибридов для повышения их фертильности.

3. Использование вспомогательных методов

- Культура тканей и клеток: выращивание гибридных эмбрионов в искусственных условиях.

- Искусственное оплодотворение: использование вспомогательных методов оплодотворения.

Различие между методами преодоления стерильности заключается в их эффективности и применимости в конкретных случаях.

Синтез видов. При изучении понятия синтеза видов студенту необходимо подробно рассмотреть следующие аспекты.

Синтез видов – это процесс создания новых видов путем скрещивания представителей разных видов или родов. Этот процесс позволяет селекционе-

рам создавать новые сорта растений с уникальными характеристиками, которые не встречаются в природе.

Примеры:

- Синтез тритикале путем скрещивания пшеницы и ржи.
- Синтез новых сортов картофеля путем скрещивания культурных и диких видов картофеля.

Синтез видов позволяет создавать новые сорта растений, которые обладают уникальными свойствами и могут быть использованы в сельском хозяйстве.

Ресинтез видов. При изучении понятия ресинтеза видов студенту необходимо подробно рассмотреть следующие аспекты.

Ресинтез видов – это процесс восстановления утраченных или измененных признаков у гибридов путем повторного скрещивания с исходными видами. Этот процесс позволяет селекционерам восстанавливать утраченные свойства и улучшать характеристики гибридов.

Примеры:

- Ресинтез тритикале путем повторного скрещивания с пшеницей и рожью.
- Ресинтез новых сортов картофеля путем повторного скрещивания с культурными и дикими видами картофеля.

Ресинтез видов позволяет селекционерам восстанавливать утраченные свойства и улучшать характеристики гибридов, что является важным инструментом в селекционной работе.

Изучение темы отдаленной гибридизации является важной частью курса «Основы генетики». Студенты должны глубоко понимать механизмы гибридизации, методы преодоления нескрещиваемости и стерильности гибридов, а также понятия синтеза и ресинтеза видов.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое отдаленная гибридизация?
2. Как преодолеть нескрещиваемость разных видов?
3. Как преодолеть стерильность отдаленных гибридов?
4. Что такое синтез видов?
5. Что такое ресинтез видов?

Тема 14. Инбридинг и гетерозис

Ключевые вопросы темы

Инбридинг и его генетические основы. Инбредная депрессия. Коэффициент инбридинга. Гетерозис. Генетические основы гетерозиса. Проявление гетерозиса в селекции растений.

Содержание темы занятия

При изучении основ генетики особое внимание уделяется таким важным понятиям, как инбридинг (внутрисортное скрещивание) и гетерозис (гибридная сила). Эти процессы играют ключевую роль в формировании генетической

структуры популяций и выведении новых сортов сельскохозяйственных культур.

Вопросы, которые студент должен рассмотреть углубленно:

- Реакция различных культур на инбридинг: следует изучить особенности реакции разных видов растений на близкородственное скрещивание, чтобы понимать различия между самоопылителями и перекрестниками.

- Хозяйственное значение инбридинга: важно понять, каким образом инбридинг используется в практике селекционной работы для улучшения культурных растений.

- Роль инбридинга в эволюции: необходимо исследовать влияние инбридинга на эволюционный процесс, включая механизмы естественного отбора и адаптации.

- Причины снижения эффекта гетерозиса у гибридов второго поколения: необходимо детально разобраться в причинах уменьшения гетерозиготности во втором поколении гибридов.

Инбридинг и его генетические основы. Инбридинг, также известный как близкородственное скрещивание, представляет собой процесс размножения организмов, имеющих общих предков. В контексте растений, инбридинг включает в себя самоопыление или скрещивание между родственными растениями. Этот процесс приводит к ряду генетических изменений, которые влияют на структуру популяции и ее характеристики.

Основное генетическое последствие инбридинга – увеличение частоты гомозиготных генотипов и уменьшение гетерозиготных. В условиях свободного скрещивания различные аллели генов распределяются случайным образом среди потомков, создавая высокую степень гетерозиготности. Однако при инбридинге вероятность того, что два идентичных аллеля будут унаследованы от общего предка, возрастает. Это приводит к повышению уровня гомозиготности в популяции. Различные культуры реагируют на инбридинг по-разному:

- Самоопыляемые растения (например, пшеница, рис): часто устойчивы к инбридингу благодаря своей природе.

- Перекрестники (например, кукуруза, подсолнечник): подвержены инбредной депрессии, так как они привыкли к высокому уровню гетерозиготности.

Рассмотрим пример. Допустим, растение имеет пару аллелей Aa для определенного гена. Если оба родителя являются гетерозиготными (Aa), существует 25%-ный шанс, что потомство будет гомозиготным по доминантному аллелю (AA), 50%-ный шанс получить гетерозиготные особи (Aa) и 25%-ный шанс получить гомозиготы по рецессивному аллелю (aa). При инбридинге этот баланс нарушается: увеличивается вероятность наследования двух идентичных аллелей от общего предка, что ведет к большему количеству гомозиготных особей.

Повышение гомозиготности уменьшает генетическое разнообразие популяции. Это может привести к снижению адаптивной способности растений к изменениям окружающей среды, заболеваниям и вредителям. В естественных условиях такой процесс может способствовать выживанию наиболее приспособ-

собленных особей, однако в искусственных условиях селекции это зачастую нежелательно, так как снижает устойчивость к стрессовым условиям.

Увеличение гомозиготности может также приводить к явлению, известному как **инбредная депрессия**. Это ухудшение ряда фенотипических характеристик, таких как рост, плодовитость, выживаемость и другие важные показатели. Причина кроется в том, что многие вредные рецессивные аллели, которые ранее были скрытыми в гетерозиготном состоянии, становятся выраженными в гомозиготном виде.

Несмотря на потенциальные негативные последствия, инбридинг также может иметь положительные стороны. Например, он позволяет закрепить желаемые черты в популяции, делая ее более однородной. Это важно в селекционных программах, где цель состоит в создании стабильных и предсказуемых сортов растений.

Коэффициент инбридинга – это статистический показатель, который используется в генетике для оценки степени родства между двумя особями. Этот коэффициент важен в селекции животных и растений, особенно когда речь идет о предотвращении инбредной депрессии – снижения жизнеспособности потомства вследствие близкородственного скрещивания. Для вычисления коэффициента инбридинга чаще всего используют формулу Райта.

Высокий коэффициент инбридинга может привести к негативным последствиям, таким как снижение фертильности, уменьшение роста и развития, увеличение частоты наследственных заболеваний. Поэтому в племенной работе важно отслеживать этот параметр и стремиться минимизировать инбридинг, чтобы поддерживать генетическое разнообразие популяции.

Таким образом, генетическая сущность инбридинга у растений заключается в изменении соотношения гомозиготных и гетерозиготных особей, что влияет на генетическое разнообразие и адаптивность популяции.

Гетерозис – это явление, которое проявляется у гибридов первого поколения (F_1), когда их показатели продуктивности, жизнеспособности, устойчивости к неблагоприятным условиям среды превосходят аналогичные характеристики родительских форм. Гетерозис может проявляться в виде увеличения размера растения, ускоренного роста, повышенной устойчивости к болезням и другим стрессорам, а также улучшенных качественных характеристик урожая. Это явление широко используется в селекции растений для повышения урожайности, улучшения качества продукции и увеличения устойчивости к стрессовым факторам.

Однако генетические механизмы, лежащие в основе гетерозиса, остаются предметом активных исследований и дискуссий среди ученых.

Генетические основы гетерозиса. Существует несколько гипотез, объясняющих генетическую природу гетерозиса. Основные из них включают:

Гипотеза доминирования. Согласно этой гипотезе, гетерозис возникает благодаря взаимодействию доминантных аллелей разных генов. У гибридов F_1 каждый локус представлен двумя различными аллелями, один из которых является доминантным. Если оба родителя имеют различные рецессивные аллели, которые негативно влияют на проявление признака, то у гибрида эти негатив-

ные эффекты будут компенсированы доминантными аллелями. Таким образом, гибрид будет обладать более высокими показателями по данному признаку.

Гипотеза сверхдоминирования. Эта гипотеза предполагает, что гетерозис обусловлен взаимодействием между аллелями одного и того же гена. У гибридов F_1 наличие двух различных аллелей может привести к синергическому эффекту, который превосходит действие каждого аллеля отдельно. То есть сочетание двух аллелей обеспечивает лучшее функционирование гена, чем каждая из них в отдельности.

Эпистатическая гипотеза. Эпистаз – это взаимодействие между разными генами, где один ген влияет на экспрессию другого. Согласно эпистатической гипотезе, гетерозис возникает вследствие взаимодействия нескольких генов, расположенных в разных локусах. Эти взаимодействия могут приводить к улучшению функциональной активности генома в целом, что и вызывает наблюдаемый эффект гетерозиса.

Проявление гетерозиса в селекции растений. Одним из классических примеров использования гетерозиса в растениеводстве является создание гибридных сортов кукурузы. Гибридизация между различными линиями кукурузы позволяет получать высокоурожайные сорта с улучшенными характеристиками. Например, такие гибриды обладают большей устойчивостью к засухе, болезням и вредителям, а также демонстрируют повышенную производительность.

Другой пример – использование гетерозиса в селекции томатов. Создание гибридов между различными сортами томатов позволило получить растения с высокой урожайностью, ранним созреванием плодов и устойчивостью к различным заболеваниям.

Таким образом, можно заключить, что гетерозис играет ключевую роль в современной селекции растений, обеспечивая значительные преимущества в производительности и качестве сельскохозяйственной продукции. Понимание генетических механизмов, лежащих в основе этого явления, помогает селекционерам разрабатывать новые стратегии для создания высокопродуктивных и устойчивых гибридов.

Изучение инбридинга и гетерозиса является неотъемлемой частью подготовки специалистов в области селекции растений. Понимание этих процессов помогает эффективно использовать методы генетической модификации для улучшения сельскохозяйственных культур и повышения их продуктивности.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «инбридинг».
2. Какова реакция различных культур на инбридинг?
3. Каково хозяйственное значение инбридинга?
4. Какова роль инбридинга в эволюции?
5. В чем заключается генетическая сущность инбридинга?
6. Что такое инбредная депрессия?
7. Что такое коэффициент инбридинга, как он рассчитывается?
8. Что такое гетерозис?
9. Какие факторы обеспечивают гетерозис?

10. Как определяется гетерозис?
11. Какие типы гетерозиса вам известны?
12. Что такое истинный, гипотетический и конкурсный гетерозис?
13. Почему снижается эффект гетерозиса у гибридов второго и последующих поколений?
14. Как создается исходный материал для получения гетерозисных гибридов?
15. Как определяют общую и специфическую комбинационную способность?
16. Как используют цитоплазматическую мужскую стерильность в получении гетерозисных гибридов?

Тема 15. Генетика онтогенеза

Ключевые вопросы темы

Онтогенез. Этапы онтогенеза. Регуляция дифференциальной активности генов. Геномные данные.

Содержание темы занятия

Онтогенез – это процесс индивидуального развития организма от момента зачатия (оплодотворения яйцеклетки) до смерти. Этот процесс включает в себя комплекс физиологических, биохимических и морфологических изменений, происходящих на всех уровнях организации живого существа: молекулярном, клеточном, тканевом, органном и организменном. В ходе онтогенеза происходит реализация наследственной информации, заложенной в генотипе, в фенотипические признаки особи.

При изучении данной темы студентам важно понимать ключевые концепции генетической регуляции процессов развития, включая дифференцировку клеток, гены гомеозиса, эпигенетику и другие механизмы, обеспечивающие разнообразие тканей и органов у многоклеточных организмов.

Онтогенез охватывает все стадии жизни организма, включая эмбриональное развитие, рост, созревание и старение. Важно отметить, что онтогенез является результатом взаимодействия генетической программы организма с окружающей средой.

Студентам необходимо изучить:

- Различие между онтогенезом и филогенезом (историческим развитием вида).
- Роль генетической информации в процессе онтогенеза.
- Влияние внешних факторов на развитие организма.

Этапы онтогенеза. Развитие организма проходит через несколько ключевых этапов:

Эмбриональный период: оплодотворение и образование зиготы; дробление зиготы и формирование бластулы; гаструляция и образование зародышевых листков; органогенез и дальнейшее развитие органов и систем.

Постэмбриональный период: рост и развитие организма после рождения; половое созревание; взросление и размножение; старение и смерть.

Студенты должны уделить внимание:

- Механизмам регуляции развития на каждом этапе.
- Важности временных окон для активации определенных генов.
- Примерам нарушений развития, вызванных мутациями или внешними факторами.

Регуляция дифференциальной активности генов. Дифференциальная активность генов обеспечивает специализацию клеток и тканей в процессе онтогенеза. Регуляция осуществляется на нескольких уровнях:

Молекулярный уровень:

- Транскрипционные факторы и регуляторные элементы ДНК.
- Эпигенетическая модификация хроматина (метилование ДНК, ацетилирование гистонов).

Клеточный уровень:

- Сигнальные пути и межклеточные взаимодействия.
- Апоптоз (программированная гибель клеток).

Организменный уровень:

- Гормоны и другие сигнальные молекулы.
- Взаимодействие различных систем организма.

Особенное внимание студенты должны обратить на:

- Молекулярные механизмы регуляции экспрессии генов.
- Роль эпигенетики в развитии и дифференцировке клеток.
- Примерные сигнальные каскады, управляющие развитием.

Геномные данные. Каждый организм обладает уникальным набором генов, который определяет его развитие и функционирование. Геном включает все клеточные данные, необходимые организму для роста и функционирования. Геномные данные содержат такую информацию, как последовательность молекул в генах организма. Различают:

- Дивергенцию: в процессе онтогенеза клетки специализируются, приобретая различные функции и формы, несмотря на одинаковый набор генов.
- Реверсивность: некоторые процессы онтогенеза обратимы, особенно на ранних стадиях развития, когда клетки еще не полностью специализированы.

Три основных постулата генетики онтогенеза:

- ядро каждой клетки содержит полный геном, сформированный в оплодотворенной яйцеклетке, т. е. ДНК всех дифференцированных клеток идентична;
- неиспользованные гены в дифференцированных клетках не разрушаются и не мутируют, они сохраняют способность к функционированию;
- в каждой клетке экспрессируется лишь малая часть генома, при этом синтезированная фракция РНК специфична для клеток данного типа.

Важно понимать как эти принципы влияют на разнообразие форм и функций в организме.

Изучение генетики онтогенеза позволяет глубже понять процессы, лежащие в основе формирования сложных многоклеточных организмов. Это

знание имеет важное значение для селекции растений, поскольку помогает лучше контролировать и направлять развитие культурных сортов.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое онтогенез?
2. Назовите этапы онтогенеза.
3. На каких уровнях регулируется дифференциальная активность генов?
4. Назовите три основных постулата генетики онтогенеза.

Тема 16. Генетика популяций

Ключевые вопросы темы

Популяция. Панмиктическая популяция. Модельная популяция. Закон Харди – Вайнберга.

Содержание темы занятия

Генетика популяций – это раздел генетики, который изучает распределение генетической вариации внутри популяций и между ними. Она занимается исследованием процессов, влияющих на изменение частоты аллелей (вариантов гена) и генотипов во времени и пространстве. Это направление имеет важное значение для понимания эволюции, адаптации организмов к окружающей среде и развития методов селекции растений.

При изучении этой темы студенту необходимо рассмотреть понятие популяции как основной единицы анализа в генетике популяций.

В генетике популяций **популяция** – это группа особей одного вида, которая обитает в одном месте и в одно время и способна к более или менее свободной панмиксии (свободному скрещиванию).

Типы популяций:

Панмиктическая популяция – это идеализированная модель популяции, в которой все особи имеют равные шансы на скрещивание. В реальной природе такие популяции встречаются редко.

Изоляты – это популяции, которые отделены от других популяций географическими или экологическими барьерами, что ограничивает или полностью исключает обмен генами между ними.

Метапопуляции – это системы из нескольких локальных популяций, которые связаны между собой миграцией особей. Метапопуляции могут поддерживать генетическое разнообразие даже при вымирании отдельных локальных популяций.

Виды популяций:

Природные популяции – это популяции, которые существуют в дикой природе без вмешательства человека.

Синтетические популяции – это популяции, созданные человеком для научных или практических целей, например в селекции растений или животных.

Особенности популяций:

Генетическое разнообразие – это ключевой параметр популяций, который определяет их способность адаптироваться к изменениям окружающей среды.

Эффективный размер популяции – это количество особей, которые реально участвуют в размножении и передаче генов следующему поколению.

Дрейф генов – это случайные изменения частот аллелей в популяции, которые могут привести к фиксации или утрате определенных генов.

Естественный отбор – это процесс, в ходе которого наиболее приспособленные особи выживают и передают свои гены следующему поколению.

Миграция – это перемещение особей между популяциями, которое может привести к обмену генами и изменению генетического состава популяций.

Эти характеристики и процессы играют важную роль в эволюции и поддержании генетического разнообразия в популяциях.

Студенту важно понимать различия между изоляциями популяций, их структурой и размером.

Изоляция популяций, структура популяции и ее размер – важные аспекты биологии, касающиеся организации живых организмов. Рассмотрим каждое понятие подробнее.

Изоляция популяций – это процесс разделения популяций одного вида географически или экологически таким образом, чтобы предотвращалось свободное скрещивание между ними. Это происходит, когда физические барьеры (например, горы, реки, океаны) или экологические факторы (разница в среде обитания, поведении) препятствуют контакту особей разных популяций.

Основные типы изоляции:

- Географическая изоляция: разделяет популяции физически (горы, водоемы).

- Экологическая изоляция: разные условия среды обитания (различия в пище, климате).

- Этологическая изоляция: различия в поведении (спаривание в разное время года, ритуалы ухаживания).

- Генетическая изоляция: накопление генетических различий препятствует успешному спариванию даже при физическом контакте.

Изоляция играет ключевую роль в эволюции, способствуя дивергенции и видообразованию.

Структура популяции описывает состав и организацию группы особей внутри популяции. Она включает такие параметры, как:

- Возрастная структура: распределение особей по возрастным группам.

- Половая структура: соотношение самцов и самок.

- Генетическая структура: разнообразие генетического материала среди членов популяции.

- Пространственная структура: распределение особей в пространстве (агрегация, равномерное распределение).

Различие в структуре популяций влияет на их устойчивость к внешним воздействиям, скорость роста и адаптационные возможности.

Размер популяции определяется количеством особей, входящих в нее. Этот параметр важен для понимания динамики популяции, поскольку он влияет на:

- Вероятность вымирания: небольшие популяции подвержены большему риску исчезновения из-за случайных событий.

- Поток генов: крупные популяции поддерживают большее генетическое разнообразие.

- Конкуренция за ресурсы: увеличение численности ведет к усилению конкуренции за пищу, территорию и другие ресурсы.

Размер популяции зависит от множества факторов, включая рождаемость, смертность, миграцию и доступность ресурсов.

Эти три аспекта тесно связаны друг с другом.

Изоляция популяций способствует изменению структуры и размера популяций через ограничение потока генов и влияние внешних условий.

Структура популяции определяет, насколько эффективно она может адаптироваться к изменениям окружающей среды и поддерживать свою численность.

Размер популяции влияет на ее способность противостоять угрозам вымирания и сохранять генетическое разнообразие.

Таким образом, понимание всех трех аспектов важно для анализа динамики и эволюции популяций.

Студент должен изучить влияние мутаций, миграции, дрейфа генов и естественного отбора на изменения частот аллелей и генотипов в популяции. Необходимо разобраться, как эти процессы взаимодействуют и влияют на эволюционные изменения.

При изучении влияния отбора на структуру аутогамных и аллогамных популяций студенту нужно понять, как отбор влияет на частоту гомозиготных и гетерозиготных особей в зависимости от типа размножения: аутогамные популяции характеризуются самоопылением, тогда как аллогамные – перекрестным опылением.

Студентам важно разобраться в различиях между отбором на рецессивные и доминантные признаки. Отбор против рецессивных признаков приводит к снижению их частоты быстрее, чем отбор против доминантных признаков. Это связано с тем, что рецессивные аллели чаще скрыты в гетерозиготах и проявляются только в гомозиготном состоянии.

Особенности генетических систем в популяциях видов самоопылителей и перекрестников заключаются в том, что самоопылители имеют тенденцию к формированию чистых линий, тогда как перекрестники поддерживают высокую степень генетического разнообразия. Студенты должны понимать механизмы поддержания и потери генетической variability в различных системах размножения.

Панмиктическая популяция. Панмиксия означает свободное скрещивание всех особей в популяции. Студент должен узнать, какие условия необходимы для существования панмиктической популяции и как она отличается от изолированных и субпопуляционных структур.

Панмиктическая популяция – это такая группа особей одного вида, внутри которой происходит свободное скрещивание между всеми особями. В такой популяции отсутствует разделение на отдельные группы (например, по территориальному признаку), и каждая особь имеет равную вероятность спаривания с любой другой особью противоположного пола.

Основные характеристики панмиктической популяции:

- Отсутствие географической изоляции: все особи находятся в пределах одной территории и имеют возможность свободно перемещаться и взаимодействовать друг с другом.

- Равная вероятность спаривания: любая особь может спариваться с любой другой, независимо от их расположения в пространстве.

- Генетическое разнообразие: панмиктические популяции характеризуются высоким уровнем генетического разнообразия, поскольку обмен генами происходит между большим числом особей.

- Естественный отбор: в условиях панмиксии естественный отбор действует равномерно на всю популяцию, способствуя распространению наиболее приспособленных генотипов.

- Мутации и дрейф генов: мутации и случайный дрейф генов также влияют на генетический состав популяции, однако их влияние меньше, чем в малых изолятах.

Примеры панмиктических популяций: водные организмы, обитающие в больших водоемах (озера, моря); мигрирующие виды животных, такие как птицы или рыбы, которые образуют большие скопления во время миграций; насекомые с высокой мобильностью, способные преодолевать значительные расстояния.

Панмиктические популяции встречаются реже, чем частично изолированные, так как большинство видов все же испытывают некоторую степень пространственной сегрегации.

Модельная популяция используется для изучения теоретических аспектов генетики популяций. Студентам следует ознакомиться с основными моделями, такими как бесконечная популяция и популяция с ограниченным числом особей, чтобы понять, как теоретические модели применяются в исследованиях.

Закон Харди - Вайнберга. Закон Харди – Вайнберга описывает равновесное состояние генетической структуры популяции при отсутствии факторов, вызывающих изменения частот аллелей. Для соблюдения условий действия закона Харди – Вайнберга необходима большая численность популяции, отсутствие мутаций, миграции, дрейфа генов и отбора. Эти условия редко встречаются в природе, однако понимание их важности позволяет оценивать отклонения от равновесия и выявлять причины изменений в генетическом составе популяций. Студентов необходимо научить применять этот закон для оценки состояния популяций и выявления отклонений от равновесия.

Изучение генетики популяций играет ключевую роль в понимании процессов эволюции и селекции. Студенты должны овладеть основами теории и

уметь применять полученные знания на практике, особенно в области селекции растений.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «популяция».
2. Назовите основные факторы динамики генетического состава популяции.
3. Какое влияние оказывает отбор на структуру аутогамных и аллогамных популяций?
4. Чем отличается отбор на рецессивный признак от отбора на доминантный признак в аллогамных популяциях?
5. Каковы особенности генетических систем в популяциях видов самоопылителей и перекрестников?
6. Что такое панмиктическая популяция?
7. Каковы особенности генетической структуры модельной популяции?
8. Как формулируется закон Харди – Вайнберга?
9. Каковы условия действия закона Харди – Вайнберга?

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ТЕКУЩЕЙ АТТЕСТАЦИИ

Особенность курса заключается не только в его теоретической, но и практической направленности. Методическая модель преподавания дисциплины основана на проведении еженедельного контроля текущей успеваемости обучающегося.

К текущей аттестации относится защита лабораторной работы.

Всего запланировано 6 текущих аттестаций при изучении дисциплины.

При подготовке к текущей аттестации рекомендуется повторить лекционный материал по соответствующей тематике лабораторной работы.

К защите следует представлять лабораторные работы, оформленные в полном соответствии с заданиями. Выполнять задания следует придерживаясь алгоритма решения, представленного в учебно-методическом пособии к лабораторным работам.

Оценка «Зачтено» является экспертной и зависит от уровня освоения студентом практического материала, наличия и сущности ошибок, допущенных студентом при ответе на вопросы (таблица 2).

Таблица 2 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«не зачтено»	«зачтено»		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимых для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Для успешного прохождения текущей аттестации студенту следует ответить на один-два вопроса, представленных в конце каждой лабораторной

работы. В случае если студент не смог дать полный и верный ответ, преподаватель может задать дополнительные вопросы.

Для прохождения текущей аттестации студент должен показать набор знаний, необходимых для системного взгляда на изучаемый объект и в состоянии решить поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Согласно учебному плану дисциплины «Общая генетика, селекция и семеноводство» (Раздел «Общая генетика») направления подготовки 35.03.04 Агрономия, студенты заочной формы обучения закрепляют изучаемый материал самостоятельно в виде выполнения контрольной работы.

Варианты заданий определяются по таблице 3 в зависимости от двух последних цифр студенческого шифра. В таблице по горизонтали Б размещены цифры от 0 до 9, каждая из которых – последняя цифра шифра студента. По вертикали А также размещены цифры от 0 до 9, каждая из которых – предпоследняя цифра шифра студента. Пересечение горизонтальной и вертикальной линий определяет клетку с номерами вариантов контрольной работы.

Контрольная работа состоит из одного теоретического вопроса (выделен нижним подчеркиванием) и трех задач. Перечень вопросов для выполнения контрольной работы представлен ниже.

Таблица 3 – Варианты заданий

Б		Последняя цифра шифра									
А		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предпоследняя цифра шифра	0	<u>1</u> 1 101 201	<u>2</u> 2 102 202	<u>3</u> 3 103 203	<u>4</u> 4 104 204	<u>5</u> 5 105 205	<u>6</u> 6 106 206	<u>7</u> 7 107 207	<u>8</u> 8 108 208	<u>9</u> 9 109 209	<u>10</u> 10 110 210
		<u>11</u> 11 111 211	<u>12</u> 12 112 212	<u>13</u> 13 113 213	<u>14</u> 14 114 214	<u>15</u> 15 115 215	<u>16</u> 16 116 216	<u>17</u> 17 117 217	<u>18</u> 18 118 218	<u>19</u> 19 119 219	<u>20</u> 20 120 220
	<u>2</u>	<u>21</u> 21 121 221	<u>22</u> 22 122 222	<u>23</u> 23 123 223	<u>24</u> 24 124 224	<u>25</u> 25 125 225	<u>26</u> 26 126 226	<u>27</u> 27 127 227	<u>28</u> 28 128 228	<u>29</u> 29 129 229	<u>30</u> 30 130 300
		<u>31</u> 31 131 301	<u>32</u> 32 132 302	<u>33</u> 33 133 301	<u>34</u> 34 134 300	<u>35</u> 35 135 299	<u>36</u> 36 136 298	<u>37</u> 37 137 297	<u>38</u> 38 138 296	<u>39</u> 39 139 295	<u>40</u> 40 140 294
	4	<u>41</u> 41 141 293	<u>42</u> 42 142 292	<u>43</u> 43 143 291	<u>44</u> 44 144 290	<u>45</u> 45 145 289	<u>46</u> 46 146 288	<u>47</u> 47 147 287	<u>48</u> 48 148 286	<u>49</u> 49 149 285	<u>50</u> 50 150 284

Б		Последняя цифра шифра									
А		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	5	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
		151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
		283	282	281	280	279	278	277	276	275	274
	6	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
		161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
		273	272	271	270	269	268	267	266	265	264
	7	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>15</u>	<u>16</u>	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>
		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
		171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
		263	262	261	260	259	258	257	256	255	254
	8	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
		181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
		253	252	251	250	249	248	247	246	245	244
	9	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>
		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
		191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
		243	242	241	240	239	238	237	236	235	234

При выполнении практического задания (задачи, см. раздел 4 настоящего методического пособия, основная литература, ист. [3]) соблюдается следующая последовательность: номер задачи; условие задачи; дано; найти; решение; ответ.

Ответы на рассматриваемые вопросы должны излагаться по существу, быть четкими, полными, ясными и содержать элементы анализа.

При ответе на вопросы студент должен использовать не только учебную литературу, но и статьи, публикуемые в периодической печати, указывая в работе источники информации. Текстовая часть работы может быть иллюстрирована рисунками, схемами, таблицами. В конце приводится список использованных источников.

Литература для выполнения контрольной работы представлена в разделе 4 настоящего методического пособия.

Структура контрольной работы включает в себя: титульный лист, содержание, текстовую часть (каждый вопрос начинать с нового листа), список используемой литературы.

В текстовой части не допускается сокращение слов. Объем выполненной работы не должен превышать 15 листов А4.

Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к контрольным работам.

Стиль и язык изложения материала контрольной работы должны быть четкими, ясными и грамотными. Грамматические и синтаксические ошибки недопустимы. Выполненная контрольная работа представляется для регистрации на кафедру, затем поступает на рецензирование преподавателю.

Положительная оценка («зачтено») выставляется в зависимости от полноты раскрытия вопроса и объема предоставленного материала в контрольной работе, а также степени его усвоения, которая выявляется при ее защите (умение использовать при ответе на вопросы научную терминологию, лингвистически и логически правильно отвечать на вопросы по проработанному материалу). Студент, получивший контрольную работу с оценкой «зачтено», знакомится с рецензией и с учетом замечаний преподавателя дорабатывает отдельные вопросы с целью углубления своих знаний.

Контрольная работа с оценкой «не зачтено» возвращается студенту с рецензией, выполняется студентом вновь и сдается вместе с незачтенной работой на проверку преподавателю. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета.

Вопросы для контрольной работы

1 Методы генетики и основы наследственности (рассмотреть основные методы исследования в генетике (гибридологический метод, цитологические методы), а также объяснить различия между наследственностью и изменчивостью).

2 Строение растительной клетки: особенности митоза (описать структуру растительных клеток и процессы непрямого деления – митоз, объяснить значение митотического деления для роста и развития растения).

3 Мейоз и образование половых клеток (проанализировать процесс мейоза и его роль в образовании гаплоидных гамет, пояснить биологическое значение мейоза для сохранения постоянства числа хромосом в поколениях).

4 Моногибридное и дигибридное скрещивание (охарактеризовать законы Менделя на примере моногибридного и дигибридного скрещиваний, объяснить понятие аллелей и доминантности/рецессивности).

5 Наследование признаков при взаимодействии генов (проанализировать различные типы взаимодействия генов (эпистаз, комплементарность), привести примеры наследования признаков при разных типах взаимодействий).

6 Хромосомное определение пола (объяснить механизмы определения пола у растений через систему XY, ZW и половую дифференцировку, сравнить половые системы у животных и растений).

7 Сцепление генов и кроссинговер (разобрать понятия сцепления генов и процесса кроссинговера; объяснить, почему сцепленные гены могут нарушаться в процессе образования гамет).

8 Структура ДНК и РНК (описать химическое строение нуклеиновых кислот, включая двойную спираль ДНК и первичную структуру РНК, рассмотреть функции каждой молекулы в клетке).

9 Генная инженерия: возможности и ограничения (дать характеристику современным достижениям генной инженерии применительно к сельскому хозяйству, оценить перспективы и риски модификации генома растений).

10 Нехромосомная наследственность (проанализировать механизм передачи наследственной информации вне ядра клетки (митохондриальная и хлоропластная ДНК), объяснить отличия от ядерного наследования).

11 Модификации и мутации (определить разницу между модификационной и мутационной изменчивостями, показать значение каждого типа изменчивости для эволюции и селекции).

12 Полиплоидия и ее роль в растениеводстве (раскрыть сущность явления полиплоидии и привести примеры полезных полиплоидов среди культурных растений, объяснить использование полиплоидизации в селекционных программах).

13 Отдаленная гибридизация (описать методы отдаленной гибридизации и ее значимость для получения новых сортов сельскохозяйственных культур с учетом проблем, возникающих при межвидовом скрещивании).

14 Инбридинг и гетерозис (разъяснить понятия инбридинга и гетерозиса, пояснить преимущества и недостатки использования инбредных линий в сельском хозяйстве).

15 Генетика онтогенеза (рассмотреть влияние генетической программы на развитие организма в течение жизненного цикла, привести примеры генетически детерминированных этапов онтогенеза).

16 Основы популяционной генетики (объяснить основные понятия популяционной генетики (генофонд, частота аллелей, генетическая структура популяции); проанализировать факторы, влияющие на динамику генофонда).

17 Законы Менделя и их применение в практике селекции (рассмотреть практическое значение законов Менделя для проведения селекционных работ, указать границы их применимости в реальных условиях).

18 Эволюция представлений о гене (рассмотреть историческое развитие взглядов на природу гена от классической до современной молекулярной биологии, описать вклад различных ученых в эту область знаний).

19 Митохондрии и пластиды: внехромосомное наследование (подробно рассмотреть наследственную передачу митохондрий и пластид, объяснить связь этих органелл с материнской линией наследования).

20 Цитоплазматическая мужская стерильность (проанализировать явление цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) у растений, рассмотреть способы преодоления ЦМС и ее потенциальное использование в селекции).

21 Роль спонтанных мутаций в эволюции (проанализировать механизмы возникновения спонтанных мутаций и их последствия для эволюции организмов, пояснить значение мутационного процесса в создании генетического разнообразия).

22 Искусственное получение мутантов в аграрной практике (рассмотреть возможность индуцирования мутаций различными физическими и химическими факторами, привести примеры успешного использования мутантных форм в аграрной практике).

23 Хромосомные аномалии и их влияние на развитие растений (объяснить основные виды хромосомных нарушений (анеуплоидия, делеции, дупликации) и их воздействие на рост и урожайность растений).

24 Изменение плоидности и его роль в селекции (оценить положительные и отрицательные стороны использования полиплоидных форм в селекционном процессе, привести примеры удачных полиплоидных сортов растений).

25 Гетерозис и его использование в сельскохозяйственном производстве (раскрыть суть эффекта гетерозиса и рассмотреть стратегии повышения урожайности путем гибридизации; объяснить принципы формирования гетерозисных гибридов).

26 Методы маркерной селекции (рассмотреть принципы маркерной селекции и ее преимущества перед традиционными методами, привести примеры использования маркеров в современных селекционных программах).

27 Молекулярные механизмы репарации ДНК (проанализировать причины и основные пути восстановления повреждений ДНК, объяснить важность процессов репарации для поддержания стабильности генома).

28 Основные направления биотехнологии в сельском хозяйстве (провести обзор современных методов биотехнологических подходов в растениеводстве, проанализировать перспективы использования трансгенных растений).

29 Генетическая устойчивость растений к болезням и вредителям (рассмотреть природные механизмы устойчивости растений к возбудителям болезней и насекомым-вредителям, проанализировать генетические подходы к повышению устойчивости сельскохозяйственных культур).

30 Этические аспекты генной инженерии в сельском хозяйстве (рассмотреть этические и социальные проблемы, связанные с использованием генетически модифицированных организмов (ГМО), проанализировать перспективы ГМО-продукции).

4. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Основная литература

1. Инге-Вечтомов, С. Г. Генетика с основами селекции / С. Г. Инге-Вечтомов. – Санкт-Петербург: Изд-во Н-Л, 2015. – 720 с. – ISBN: 978-5-94869-178-7.

2. Кадиев, А. К. Генетика. Руководство к практическим занятиям: учеб. пособие для вузов / А. К. Кадиев. – Изд. 2-е, стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 252 с. – ISBN 978-5-507-50759-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/462710> (дата обращения: 12.03.2025).

3. Карманова, Е. П. Практикум по генетике: учеб. пособие для вузов / Е. П. Карманова, А. Е. Болгов, В. И. Митютько. – Изд. 3-е, стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 228 с. – ISBN 978-5-8114-9773-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/200846> (дата обращения: 12.03.2025).

4. Общая генетика: учеб. пособие для вузов / Е. А. Вертикова, В. В. Пыльнев, М. И. Попченко, Я. Ю. Голиванов; под ред. Е. А. Вертикова. – Изд. 2-е, стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 112 с. – ISBN 978-5-507-50661-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/454442> (дата обращения: 12.03.2025).

Дополнительная литература

1. Лутова, Л. А. Генетика развития растений: учебник для студентов высших учебных заведений / Л. А. Лутова, Т. А. Ежова, И. Е. Додуева, М. А. Осипова; ред. С. Г. Инге-Вечтомов. – Санкт-Петербург: Изд-во Н-Л, 2010. – 432 с. – ISBN: 978-5-94869-104-6.

2. Общая генетика: учебное пособие / сост.: М. В. Ульянова [и др.]. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – Кемерово: КеМГУ, 2019. – 78 с. – ISBN 978-5-8353-2374-6. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/134334> (дата обращения: 12.03.2025).

3. Общая генетика: учеб. пособие / сост. П. З. Козаев. – Владикавказ: Горский ГАУ, 2021. – 280 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/258701> (дата обращения: 12.03.2025).

4. Основы общей и молекулярной генетики: учеб.-методич. пособие / В. Г. Зенкина, О. А. Солодкова, Г. Г. Божко, Л. А. Масленникова. – Владивосток: ТГМУ, 2017. – 147 с. – ISBN 978-5-98301-108-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/309701> (дата обращения: 12.03.2025).

5. Сборник задач по общей и медицинской генетике: учеб. пособие / А. Г. Семенов, Н. Н. Плотникова, Е. С. Андреева [и др.]. – Томск: СибГМУ, 2020. – 178 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/276245> (дата обращения: 12.03.2025).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инге-Вечтомов, С. Г. Генетика с основами селекции / С. Г. Инге-Вечтомов. – Санкт-Петербург: Изд-во Н-Л, 2015. – 720 с. – ISBN: 978-5-94869-178-7.
2. Кадиев, А. К. Генетика. Руководство к практическим занятиям: учеб. пособие для вузов / А. К. Кадиев. – Изд. 2-е, стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 252 с. – ISBN 978-5-507-50759-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/462710> (дата обращения: 12.03.2025).
3. Карманова, Е. П. Практикум по генетике: учеб. пособие для вузов / Е. П. Карманова, А. Е. Болгов, В. И. Митюлько. – Изд. 3-е, стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 228 с. – ISBN 978-5-8114-9773-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/200846> (дата обращения: 12.03.2025).
4. Лутова, Л. А. Генетика развития растений: учебник для студентов высших учебных заведений / Л. А. Лутова, Т. А. Ежова, И. Е. Додуева, М. А. Осипова; ред. С. Г. Инге-Вечтомов. – Санкт-Петербург: Изд-во Н-Л, 2010. – 432 с. – ISBN: 978-5-94869-104-6.
5. Общая генетика: учеб. пособие для вузов / Е. А. Вертикова, В. В. Пыльнев, М. И. Попченко, Я. Ю. Голиванов; под ред. Е. А. Вертикова. – Изд. 2-е, стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 112 с. – ISBN 978-5-507-50661-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/454442> (дата обращения: 12.03.2025).

Локальный электронный методический материал

Александр Иванович Юсов

ОБЩАЯ ГЕНЕТИКА, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО
(РАЗДЕЛ «ОБЩАЯ ГЕНЕТИКА»)

Редактор М. А. Дмитриева

Уч.-изд. л. 2,7. Печ. л. 3,7.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1