

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКАЯ ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЕТА» ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ»

**Кафедра генетики и разведения сельскохозяйственных
животных им. О.А. Ивановой**

ГЕНЕТИКА

Методические указания по выполнению контрольной работы
для студентов заочной формы получения высшего образования
по специальности «Зоотехния»
(«Производство продукции животного
происхождения»)

Витебск
ВГАВМ
2024

УДК 636.082

ББК 45.3

Г34

Рекомендовано к изданию методической комиссией биотехнологического факультета УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины» от 24 марта 2023 г. (протокол № 3)

Авторы:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. В. Вишневец*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *В. Ф. Соболева*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Т. В. Видасова*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *О. А. Яцына*

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Т. В. Петрукович*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *С. Л. Карпеня*

Г34 **Генетика** : методические указания по выполнению контрольной работы для студентов заочной формы получения высшего образования по специальности «Зоотехния» («Производство продукции животного происхождения») / А. В. Вишневец [и др.]. – Витебск : ВГАВМ, 2024. – 48 с.

Методические указания составлены в соответствии с учебной программой по дисциплине «Генетика» для высших с.-х. учебных заведений по специальности 1-74 03 01 «Зоотехния» (6-05-0811-02 «Производство продукции животного происхождения»).

УДК 636.082

ББК 45.3

© УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Раздел 1. Общие методические рекомендации по изучению дисциплины	5
Раздел 2. Методические рекомендации по изучению конкретных тем дисциплины и вопросы для самоподготовки	6
2.1. Введение в генетику	6
2.2. Цитологические основы наследственности	8
2.3. Закономерности наследования признаков при половом размножении	10
2.4. Хромосомная теория наследственности	17
2.5. Генетика пола	19
2.6. Молекулярные основы наследственности	22
2.7. Генетика микроорганизмов	26
2.8. Мутационная изменчивость организмов	27
2.9. Генетические основы индивидуального развития	32
2.10. Наследственный полиморфизм белков, ферментов и группы крови	33
2.11. Генетические процессы в популяциях	36
2.12. Генетика аномалий и болезней, повышение наследственной устойчивости животных к болезням	40
2.13. Генетика поведения и ее селекционное значение	44
Вопросы для контроля знаний	45
Список рекомендуемой литературы	46
Приложение	47

ВВЕДЕНИЕ

Генетика – наука о наследственности и изменчивости живых организмов. Одним из важнейших факторов ускорения научно-технического прогресса в животноводстве является широкое внедрение в производство современных достижений в области генетики. Генетика является теоретической и практической основой таких дисциплин, как разведение сельскохозяйственных животных, племенное дело, частная зоотехния. Поэтому глубокое изучение курса «Генетика» необходимо при подготовке высококвалифицированных зооинженеров. Только при хорошем усвоении основ наследственности и изменчивости зооинженер может правильно применять свои знания в практической деятельности.

Цель изучения курса: дать студенту теоретические знания о цитологических и молекулярных основах наследственности, о закономерностях наследования хозяйственно полезных признаков, научить решать теоретические и практические вопросы, связанные с селекцией организмов в животноводстве, развить навыки по систематизации и обработке числовых данных, полученных при изучении биологических объектов.

Задачи учебной дисциплины:

- дать теоретические знания о цитологических и молекулярных основах наследственности, о механизмах наследственности;
- познакомить студентов с методами оценки животных по генотипу и фенотипу, с основами гибридологического анализа;
- изучить генетические особенности селекции в свиноводстве, овцеводстве, коневодстве, пушном звероводстве, кролиководстве и рыбоводстве для повышения их продуктивности;
- обеспечить приобретение студентами практических навыков применения в животноводстве биотехнологических способов селекции и репродукции животных и повышения их продуктивности;
- изучить наследственные болезни и аномалии развития животных, освоить методы их профилактики.

Студент должен знать:

- основные методы, используемые при изучении наследственности и изменчивости, значение наследственности и изменчивости в эволюции;
- цитологические и молекулярные основы наследственности, закономерности наследования признаков при половом размножении;
- хромосомную теорию наследственности, сцепленное с полом наследование признаков;
- генетические основы индивидуального развития;
- иммуногенетический и биохимический полиморфизм белков, методы профилактики наследственных болезней и аномалий;
- о генетических процессах в популяции, теории, объясняющие явление гетерозиса и инбредной депрессии, характер наследования хозяйственно полезных признаков.

Студент должен уметь:

- определять характер наследования признаков при моно- и дигибридном скрещивании, при взаимодействии неаллельных генов и решать задачи по этим разделам;
- производить моделирование синтеза ДНК, РНК и белка;
- использовать на практике данные по иммуногенетике и биохимическому полиморфизму для генетической экспертизы происхождения животных;
- использовать формулу Харди-Вайнберга для установления процессов, происходящих в популяции, определять степень инбридинга животных;
- использовать математический анализ при решении вопросов селекции и разведения животных и повышения их продуктивности в животноводстве.

***РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ***

В учебно-методическом пособии изложены основные требования по изучению дисциплины «Генетика»: общие методические рекомендации, методические советы по изучению отдельных тем, вопросы для самопроверки и контрольной работы для студентов заочной формы обучения сельскохозяйственных вузов по специальности «Зоотехния» («Производство продукции животного происхождения»). Изучение данного предмета на заочном отделении предполагает самостоятельную работу в межсессионный период. Эта работа включает теоретическое освоение предмета в пределах учебной программы.

Основные пути усвоения материала:

- изучение учебных пособий и дополнительной литературы;
- подготовка к выполнению контрольной работы;
- прослушивание лекционного курса по дисциплине;
- выполнение лабораторных заданий.

Для изучения дисциплины «Генетика» рекомендуется использовать источники литературы, указанные на странице 46.

РАЗДЕЛ 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОНКРЕТНЫХ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

2.1. ВВЕДЕНИЕ В ГЕНЕТИКУ

Содержание учебного материала

Предмет генетики. История возникновения, развития генетики как предмета. Сущность явлений наследственности и изменчивости. Понятия о наследовании и наследственности. Изменчивость, ее типы: комбинативная, онтогенетическая, мутационная, корреляционная, модификационная и их значение в практике.

Основные этапы развития генетики. Методы генетических исследований. Место генетики среди других биологических наук, ее значение для племенного дела, ветеринарии и медицины.

Методические рекомендации. Основные понятия

Генетика (от греч. *genesis* – происхождение) – наука о наследственности и изменчивости организмов.

Наследственность – это свойство живых организмов обеспечивать материальную и функциональную преемственность между поколениями, а также обуславливать специфический характер индивидуального развития в определенных условиях внешней среды.

Изменчивость – это возникновение различий между организмами по ряду признаков и свойств.

Наследование – это процесс передачи наследственной информации из одного поколения в другое, в результате чего у потомков формируются определенные свойства и признаки, присущие родителям.

Наследуемость – это доля генетической изменчивости в общей фенотипической изменчивости признака в конкретной популяции животных или растений.

Типы изменчивости

Мутационная изменчивость. Мутация – стойкое изменение в структуре ДНК и кариотипе. В результате у потомства появляются новые признаки и свойства, которых не было у предков. Мутации – один из главных факторов эволюции и создания новых пород животных и сортов растений.

Комбинативная изменчивость. Наследственная изменчивость в результате новых сочетаний признаков и свойств при скрещиваниях. Происходит комбинация генов, которые имеются у родителей. Сущность комбинативной изменчивости выражена законом независимого наследования признаков, а причина – кроссинговер.

Коррелятивная изменчивость. На развитие организма влияют наследственные и ненаследственные факторы. Органы развиваются как единое целое, а изменение одного органа ведет к изменению другого. Связи эти бывают положительные, когда с усилением одного признака усиливается и другой, и отрицательные, когда усиление развития одного признака тормозит развитие другого.

Корреляционная изменчивость ограничивает возможности комбинативной изменчивости при создании новых пород.

Модификационная изменчивость возникает под влиянием условий внешней среды, т.е. ненаследственная и проявляется фенотипически. Модификационная изменчивость широко распространена в природе.

Условия среды иногда сглаживают генетические различия между животными. Тогда худшие и лучшие по генотипу особи могут иметь одинаковую продуктивность.

Модификации имеют большое эволюционное значение, так как служат одним из видов приспособления организмов к изменяющимся условиям среды.

Этапы развития генетики:

Первый этап развития генетики с 1900 по 1925 гг. – классический этап генетики. Датой рождения генетики принято считать 1900 г., когда, независимо друг от друга, три ботаника повторили открытие Г. Менделя. Ими были Гуго де Фриз (в Голландии), проводивший опыты с маком и другими растениями, Карл Эрхарт Корренс (в Германии), изучавший расщепление признаков у кукурузы, и Эрхарт фон Чермак (в Австрии), анализировавший наследование признаков у гороха.

Второй этап с 1926 по 1953 гг. – работы по искусственному мутагенезу, доказано сложное строение гена, заложены основы популяционной, эволюционной, биохимической генетики.

Третий этап с 1953 по 1972 гг. – этап молекулярной генетики.

Четвертый этап с 1969 г. – до настоящего времени – этап генетической инженерии.

Методы генетических исследований

Цитологический – изучает раздел генетики, изучающий явления наследственности на клеточном уровне. Объектом исследования служат клетки растений и животных как в организме, так и вне его, а также вирусы и бактерии.

Гибридологический – включает систему скрещиваний заранее подготовленных родителей, различающихся по одному, двум или трем альтернативным признакам, наследование которых изучается. Гибридологический анализ, дополненный после работ Г. Менделя рядом специфических методов и приемов исследования наследственности, вошел в качестве основного метода генетики.

Генеалогический – заключается в использовании родословных для изучения закономерностей наследования признаков, в том числе наследственных болезней.

Близнецовый – изучение влияния определенных факторов внешней среды и их взаимодействия с генотипом особи, а также для выявления относительной роли генотипической и модификационной изменчивости в общей изменчивости признака.

Мутационный – позволяет установить характер влияния мутагенных факторов на генетический аппарат клетки, ДНК, хромосомы, на изменение признаков или свойств.

Популяционно-статистический – при изучении явлений наследственности в популяциях. Дает возможность определить частоту доминантных и рецессивных аллелей, определяющий тот или иной признак, частоту доминантных и рецессивных гомозигот и гетерозигот, динамику генетической структуры популяций под влиянием мутаций, отбора.

Феногенетический (онтогенетический) – позволяет установить степень влияния генов и условий среды на развитие изучаемых признаков и свойств в онтогенезе.

Биометрический – ряд математических приемов, позволяющих определить степень достоверности полученных данных, установить вероятность различий между показателями опытных и контрольных групп животных.

Биохимический – включает серологические методы, иммуноэлектрофорези др., которые используют для изучения групп крови, белков и ферментов сыворотки крови, тканей с целью определения места и характера мутаций.

Вопросы для самоподготовки:

1. Предмет генетики. Понятие наследственности и изменчивости.
2. Что такое наследственность и изменчивость?
3. Какие методы применяются в генетике?
4. Основные этапы развития генетики.
5. Роль генетики в животноводстве и ветеринарной медицине.

2.2. ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Содержание учебного материала

Клетка – структурная и функциональная единица живого. Современная клеточная теория. Строение клетки и функции ядра. Морфологическое строение и химический состав хромосом. Четыре правила хромосом. Понятие кариотипа, гаплоидного и диплоидного набора хромосом, аутосом, гетерохромосомы. Особенности кариотипов основных видов сельскохозяйственных животных. Органоиды цитоплазмы и их функции: рибосомы, митохондрии, комплекс Гольджи, лизосомы, клеточный центр, эндоплазматическая сеть. Ядро и его строение. Роль ядра и органоидов цитоплазмы в сохранении и реализации наследственной информации. Деление клеток. Митотический цикл. Митоз. Периоды интерфазы и их значение в жизнедеятельности клетки. Значение митоза для поддержания в соматических клетках диплоидного набора хромосом. Мейоз. Первое мейотическое деление (редукционное). Второе мейотическое деление (эквационное). Стадии образования половых клеток. Сперматогенез и оогенез, их особенности. Оплодотворение. Избирательность оплодотворения.

Методические рекомендации. Основные понятия

Клетка – элементарная биологическая система, способная к самообновлению, самовоспроизведению и развитию.

Клетки подразделяются на растительные и животные, половые и соматические, прокариотические и эукариотические.

Основные функции ядра:

1. Хранение и передача генетической информации.
2. Регуляция всех процессов жизнедеятельности клетки.

Правила хромосом:

1. Правило постоянства – соматические клетки организма каждого вида имеют строго определенное количество хромосом (человек – 46).

2. Правило парности – каждая хромосома в диплоидном наборе имеет гомологичную, схожую по размерам, расположению центромеры и содержанию генов.

3. Правило индивидуальности – каждая пара хромосом отличается от другой пары размерами, расположением центромеры и содержанием генов.

4. Правило непрерывности – в процессе удвоения генетического материала новая молекула ДНК синтезируется на основе информации старой молекулы ДНК.

Совокупность хромосом соматической клетки, характеризующая организм данного вида, называется **кариотипом**. Хромосомы подразделяются на аутосомы (одинаковые у обоих полов) и гетерохромосомы, или половые хромосомы (разные у мужских и женских особей). Например, кариотип человека содержит 22 пары аутосом и 2 половые хромосомы (XX – у женщин и XY – у мужчин).

Число хромосом у сельскохозяйственных животных: корова – 60, лошадь – 64, свинья – 38, овца – 54, собака – 78, кролик – 44.

Клеточный цикл – это период жизнедеятельности клетки с момента ее появления до гибели или образования дочерних клеток.

Митотический цикл включает интерфазу и собственно митоз.

Интерфаза подразделяется на три периода: пресинтетический – G_1 , синтетический – S , постсинтетический – G_2 .

Митоз – это сложное упорядоченное деление соматических клеток, в результате которого из одной материнской образуются две дочерние клетки с диплоидным набором хромосом. Главная причина начала митоза – изменение ядерно-плазменного соотношения с $1/69$ до $1/89$.

Непрерывный процесс митоза подразделяется на 4 стадии: профазу, метафазу, анафазу и телофазу.

Мейоз – это деление соматических клеток половых желез, в результате которого образуются половые клетки (гаметы).

Мейоз протекает в два этапа: редукционное деление и эквационное. Каждое деление подразделяется на 4 фазы: профазу, метафазу, анафазу, телофазу.

Значение мейоза:

1. Поддержание постоянства числа хромосом.
2. Рекомбинация генетического материала, обусловленная кроссинговером и случайным расхождением гомологичных хромосом и хроматид к полюсам деления.

Патология мейоза: две стадии деления и поведение хромосом находятся под генетическим контролем. Известны мутации, нарушающие нерасхождение хромосом, которые приводят к потере хромосом.

Гаметогенез – процесс образования гамет мужских и женских половых клеток.

Яйцеклетки образуются в женских гонадах – яичниках. Сперматозоиды образуются в мужских гонадах – семенниках.

Из одной зародышевой половой клетки в сперматогенезе образуется четыре сперматозоида, тогда как в оогенезе – только одна яйцеклетка.

Оплодотворение – это процесс слияния мужской и женской половых клеток.

Вопросы для самоподготовки:

1. Строение клетки. Понятие об органоидах и включениях.

2. Химический состав, строение и биологическая роль ядра.
3. Химический состав и морфология хромосом.
4. Понятие кариотипа. Закономерности хромосомных наборов в соматических и половых клетках. Примеры кариотипов основных видов сельскохозяйственных животных.
5. Митотический цикл. Биологическая сущность процессов, происходящих в интерфазе, профазе, метафазе, анафазе, телофазе.
6. Мейоз. Особенности профазы и метафазы редукционного деления.
7. Гаметогенез. Стадии гаметогенеза. Отличия овогенеза от сперматогенеза.

2.3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ ПРИ ПОЛОВОМ РАЗМНОЖЕНИИ

Содержание учебного материала

Работы Г. Менделя по скрещиванию растений и их роль в возникновении генетики как науки. Генетическая символика. Понятия – ген, аллель, доминантность, рецессивность, гомозиготность, гетерозиготность. Сущность метода гибридологического анализа, разработанного Менделем. Понятие о генотипе и фенотипе. Аллели, серии аллелей и аллеломорфные признаки. Моногибридное скрещивание. Закон единообразия гибридов первого поколения. Закон расщепления. Влияние на расщепление по фенотипу характера доминирования признака. Типы доминирования: полное, неполное, кодоминирование, промежуточное, сверхдоминирование. Возвратное и анализирующее скрещивание. Значение анализирующего скрещивания для определения генотипа особи. Летальные гены и их наследование. Дигибридное скрещивание. Расщепление по генотипу и фенотипу во втором поколении дигибридного скрещивания. Закон независимого наследования признаков. Полигибридное скрещивание. Взаимодействие неаллельных генов: новообразование, комплементарность, эпистаз, полимерия. Расщепление по фенотипу во втором поколении при разных типах неаллельного взаимодействия генов. Экспрессивность и пенетрантность. Гены-модификаторы. Плейотропия.

Методические рекомендации. Основные понятия

Альтернативными в генетике называют признаки, которые имеют несколько качественных состояний. Например, цвет семян гороха (желтый и зеленый).

Гены, определяющие развитие альтернативных признаков, называются аллельными. Они располагаются в одинаковых локусах гомологичных (парных) хромосом.

Гены, располагающиеся в разных локусах гомологичных хромосом или в разных хромосомах и определяющие развитие разных признаков, называются *неаллельными*.

Альтернативный признак и соответствующий ему ген, проявляющийся и в гомозиготном, и в гетерозиготном состоянии, называют доминантным, а проявляющийся только в гомозиготном состоянии и «подавленный» в гетерозиготном называют рецессивным. Аллельные гены принято обозначать одинаковыми

буквами латинского алфавита: доминантный – заглавной буквой (А), а рецессивный – прописной (а).

Генотип – это совокупность генов, полученных организмом от родителей.

Гомозиготным по данному признаку называется организм, у которого в обеих гомологичных хромосомах находятся одинаковые аллельные гены (два доминантных –АА или два рецессивных –аа). Он образует один тип гамет и не дает расщепления при скрещивании с таким же по генотипу организмом.

Гетерозиготным по данному признаку называется организм, у которого в обеих гомологичных хромосомах находятся разные гены одной аллельной пары (Аа). Он образует два типа гамет и дает расщепление при скрещивании с таким же по генотипу организмом.

Фенотип – это совокупность всех свойств и признаков организма, которые развиваются на основе генотипа в определенных условиях среды.

Отдельный признак называется феном (цвет глаз, форма носа, объем желудка, количество эритроцитов и др.).

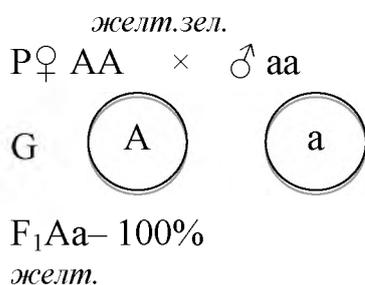
Основные закономерности наследования были изучены Г. Менделем. Они присущи всем живым организмам.

Гаметы (половые клетки) содержат гаплоидный набор хромосом и образуются в половых железах (яйцеклетки – в яичниках, сперматозоиды – в семенниках) в процессе мейоза.

Скрещивание, при котором организмы анализируются по одному альтернативному (качественному) признаку, называется **моногибридным**.

Первый закон Менделя (закон единообразия гибридов первого поколения) – при скрещивании гомозиготных особей, анализируемых по одному альтернативному (качественному) признаку, наблюдается единообразие гибридов первого поколения по фенотипу и генотипу.

Ген	Признак	Генотип
А	желтые семена	АА или Аа
а	зеленые семена	аа

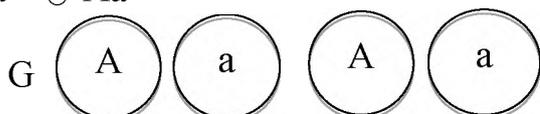


Для этого закона нет условий, ограничивающих его действие (всегда при скрещивании гомозигот потомство единообразно).

Второй закон Менделя (закон расщепления) – при скрещивании гетерозиготных организмов, анализируемых по одному альтернативному (качественному) признаку, во втором поколении наблюдается расщепление в соотношении 3 : 1 по фенотипу и 1 : 2 : 1 по генотипу.

желт.желт.

P ♀ Aa × ♂ Aa



F₂ AA; Aa; Aa; aa

желт.желт.желт.зел.

Существуют следующие типы доминирования:

Полное доминирование – доминантный ген полностью подавляет действие рецессивного гена, поэтому гетерозиготы и гомозиготы идентичны по фенотипу: AA=Aa (цвет семян гороха).

Неполное доминирование – доминантный ген не полностью подавляет действие рецессивного гена, поэтому гетерозиготы и гомозиготы отличаются по фенотипу: AA>Aa (цветки ночной красавицы).

Промежуточное доминирование – потомство в первом поколении сохраняет единообразие, но оно полностью непохоже ни на одного из родителей, как это было при полном доминировании, а обладает признаком промежуточного характера, как, например, при наследовании красной и белой окраски цветков у ночной красавицы.

Ген	Признак	Генотип
A	красные цветы	AA или Aa
a	белые цветы	aa

крас. бел.

P ♀ AA × ♂ aa

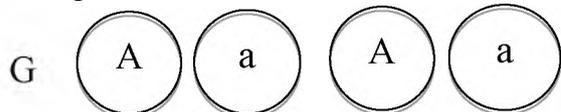


F₁Aa– 100%

розовые

роз.роз.

P ♀ Aa × ♂ Aa



F₂ AA; Aa; Aa; aa

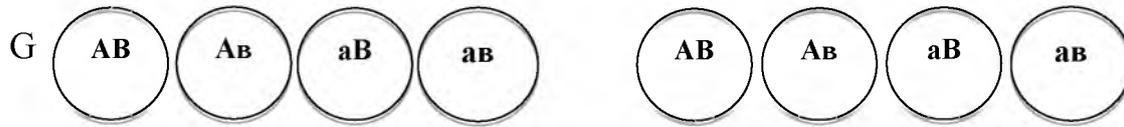
крас.роз.роз.бел.

В этом случае гетерозиготные растения имеют розовые цветки, а в F₂ наблюдается расщепление в соотношении 1AA (красные цветки): 2 Aa (розовые цветки): 1aa (белые цветки), т.е. расщепление по фенотипу и генотипу одинаково.

Сверхдоминирование – в гетерозиготном состоянии доминантный ген проявляет себя сильнее, чем в гомозиготном: AA<Aa (жизнеспособность мух дрозофил).

жел., глад.жел., глад.

P ♀ AaBa × ♂ AaBa



♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB желтые, гладкие	AABb желтые, гладкие	AaBB желтые, гладкие	AaBb желтые, гладкие
Ab	AABb желтые, гладкие	AAbb желтые, морщинистые	AaBb желтые, гладкие	Aabb желтые, морщинистые
aB	AaBB желтые, гладкие	AaBb желтые, гладкие	aaBB зеленые, гладкие	aaBb зеленые, гладкие
ab	AaBb желтые, гладкие	Aabb желтые, морщинистые	aaBb зеленые, гладкие	aabb зеленые, морщинистые

Соотношение по фенотипам во втором поколении:

9 (A-B-) – желтые, гладкие семена;

3 (aaB-) – зеленые, гладкие семена;

3 (A-вв) – желтые, морщинистые семена;

1 (aавв) – зеленые, морщинистые семена.

Типы взаимодействия неаллельных генов

Новообразование – это такой тип взаимодействия неаллельных генов, при котором образуется новая форма признака.

Комплементарное взаимодействие генов – состоит в том, что один доминантный ген дополняет действие другого доминантного гена, обуславливая развитие нового признака.

Эпистаз – тип взаимодействия неаллельных генов, когда аллель одной из пар (эпистатический) подавляет проявление аллеля другой пары (гипостатический). Может быть как доминантный, так и рецессивный.

Полимерия – тип взаимодействия неаллельных генов, когда на один и тот же признак действуют несколько разных, но сходно действующих неаллельных генов, каждый из которых усиливает развитие признака. Степень проявления признака зависит от количества доминантных генов в генотипе. Гены, действие которых суммируется, называются аддитивными или кумулятивными. Полимерные гены обозначаются одинаковыми буквами, а аллели одного локуса имеют одинаковый нижний индекс.

Гены, которые усиливают или ослабляют четкость фенотипических проявлений других неаллельных генов, называют **генами-модификаторами**.

Плейотропия – явление, при котором один ген обуславливает несколько признаков (множественное действие гена).

Пенетрантность – это доля особей, у которых проявляется ожидаемый генотип.

Экспрессивность в генетике — степень фенотипической выраженности признака, определяемого геном.

Экспрессивность и пенетрантность зависят от генов-модификаторов и условий развития особей.

Примеры решения типовых задач

Задача 1. У человека карий цвет глаз доминирует над голубым. Голубоглазый мужчина женился на кареглазой женщине, у отца которой глаза были голубые, а у матери – карие. От этого брака родился один ребенок, глаза которого оказались карими. Каковы генотипы всех упомянутых здесь лиц?

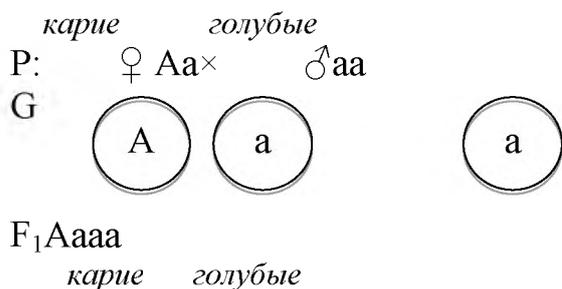
Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Ген	Признак	Генотип
A	карий цвет глаз	AA или Aa
a	голубой цвет глаз	aa

Голубоглазый мужчина гомозиготен (генотип aa), так как голубой цвет глаз – рецессивный признак. Кареглазая женщина может быть как гомо- (генотип AA), так и гетерозиготной (генотип Aa), ибо карий цвет глаз доминирует. Но от своего голубоглазого (и, следовательно, гомозиготного) отца она могла получить только рецессивный ген, поэтому женщина гетерозиготна (генотип Aa). Ее кареглазый ребенок тоже не может быть гомозиготным, так как его отец имеет голубые глаза.

Генетическая запись брака:

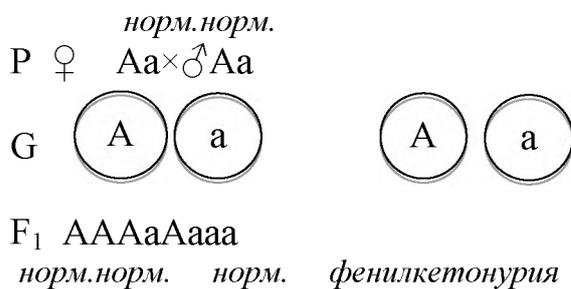
Таким образом, генотип мужчины – aa, женщины – Aa, генотип их ребенка – Aa.



Задача 2. Фенилкетонурия (нарушение обмена фенилаланина, в результате которого развивается слабоумие) наследуется как аутосомно-рецессивный признак. Какими будут дети в семье, где родители гетерозиготны по этому признаку? Какова вероятность рождения детей, больных фенилкетонурией?

Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Ген	Признак	Генотип
A	норма	A-
a	фенилкетонурия	aa



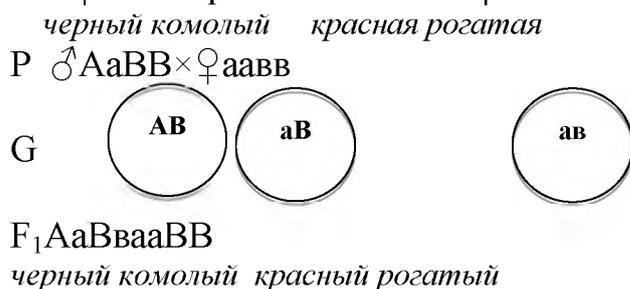
Задача 3. Черный комолый бык скрещивается с красными рогатыми коровами. Получено 27 черных комолых телят и 25 красных комолых. Определите генотипы родителей и потомства, если известно, что черная масть и комолость являются доминантными признаками.

Известно, что расщепление в потомстве наблюдается по признаку, по которому один или оба родителя гетерозиготны. Следовательно, по признаку черной масти бык гетерозиготен, коровы, имеющие рецессивную красную масть, гомозиготны.

По второму признаку (комолость-рогатость) расщепления в потомстве нет – следовательно, родители гомозиготны.

Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Ген	Признак	Генотип
A	черная масть	AA или Aa
a	красная масть	aa
B	комолость	BB или Bb
b	рогатость	bb



Вопросы для самоподготовки:

1. Особенности гибридологического метода Г. Менделя.
2. Дать определения терминам: генотип, фенотип, доминантность, рецессивность, аллель, моно- и дигибридное скрещивание, гомозиготность и гетерозиготность.
3. Закон единообразия гибридов первого поколения.
4. Закон расщепления гибридов второго поколения.
5. Правило чистоты гамет и анализирующее скрещивание.
6. Летальные гены и их наследование.

7. Понятие о дигибридном и полигибридном скрещивании.
8. Закон независимого наследования признаков.
9. Типы взаимодействия неаллельных генов (привести один пример расщепления во втором поколении).

2.4. ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Содержание учебного материала

Сцепленное наследование признаков и его объяснение. Группы сцепления. Генетический анализ полного и неполного сцепления. Кроссинговер как механизм рекомбинации в группах сцепления и его роль в проявлении комбинативной изменчивости. Одинарный и двойной перекрест. Процент перекреста как единица расстояния между генами и его проявление. Линейное расположение генов в хромосоме. Принципы построения генетических карт хромосом. Значение сцепления и кроссинговера в эволюции. Основные положения хромосомной теории наследственности.

Методические рекомендации. Основные понятия

Сцепленные гены – это гены, располагающиеся в одной хромосоме и наследующиеся вместе. Гены одной пары образуют группу сцепления. Число групп сцеплений соответствует гаплоидному набору хромосом.

Сущность сцепленного наследования признаков была обоснована в 1911-1912 гг. Т. Морганом и его сотрудниками. Объектом исследования была мухадрозифила.

Сцепление генов, расположенных в одной хромосоме, может быть полным и неполным (рисунок 1).

При скрещивании гомозиготных особей с серым телом и короткими крыльями с особями с черным телом и нормальными крыльями получено единообразие гибридов первого поколения, особи которого имели доминантные признаки.

Для выяснения генотипа гибридов I поколения проведено анализирующее скрещивание (рецессивная гомозиготная самка и дигетерозиготный самец).

Ген	Признак
В	серое тело
b	черное тело
Vg	длинные крылья
vg	короткие крылья

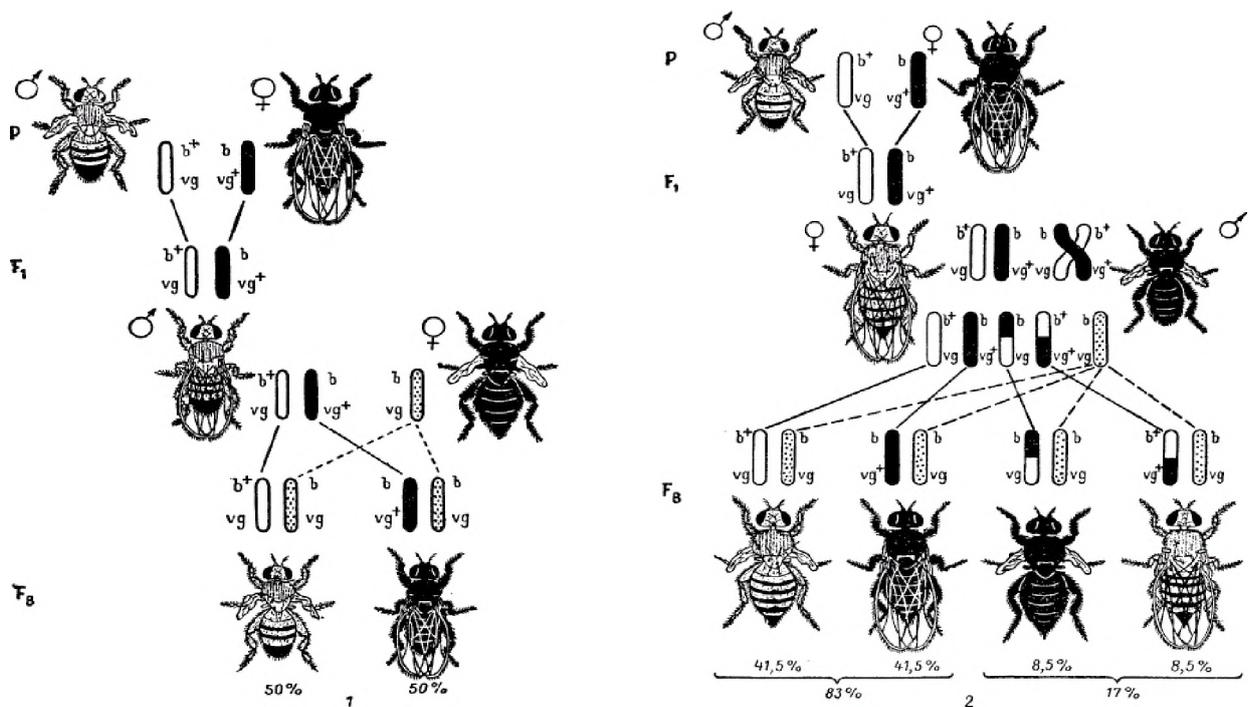


Рисунок 1 – Генетический анализ полного (1) и неполного (2) сцеплений (по А.В. Бакаю)

При свободном комбинировании генов, согласно третьему закону Менделя, в поколении должны были появиться мухи четырех разных фенотипов поровну (по 25 %), а получены особи двух фенотипов по 50 % с признаками родителей. Морган пришел к выводу, что гены, детерминирующие цвет тела и длину крыльев, локализованы в одной хромосоме и передаются вместе, т. е. сцепленно.

Объяснить это явление можно следующим: одна из пары гомологичных хромосом содержит 2 гена ($B\ vg$), а другая – ($b\ Vg$). В процессе мейоза хромосома с генами $B\ vg$ попадет в одну гамету, а с генами $b\ Vg$ – в другую. Таким образом, у дигетерозиготного организма образуется не четыре, а только два типа гамет, и потомки будут иметь такое же сочетание признаков, как и родители. В данном случае сцепление будет полным, так как кроссинговер не происходит.

При дальнейшем анализе сцепления генов было обнаружено, что в некоторых случаях оно может нарушаться.

При скрещивании дигетерозиготной самки дрозофилы с рецессивным самцом получено 4 типа потомков: – 41,5 % с серым телом и короткими крыльями, 41,5 % с черным телом и длинными крыльями и по 8,5 % мух с серым телом и длинными крыльями, а также с черным телом и короткими крыльями.

Появление в потомстве гибридных особей говорит о том, что сцепление генов у самки неполное. Это можно объяснить явлением кроссинговера, который заключается в обмене гомологичными участками хроматид гомологичных хромосом в профазе мейоза I.

Кроссинговер – обмен участками гомологичных хромосом в момент конъюгации их в мейозе. Кроссинговер приводит к нарушению групп сцеплений.

Частота кроссинговера выражается отношением числа кроссоверных особей к общему числу особей и характеризует расстояние между генами. Чем

больше расстояние между генами, тем чаще частота перекреста, и наоборот. Единица расстояния между генами названа в честь Моргана – морганидой. Она соответствует 1 % кроссинговера. Процент кроссинговера для определенных двух генов всегда будет постоянным и не превысит 50 %. Кроссинговер может быть одиночным и двойным. *Карта хромосом* – схема расположения генов в хромосоме.

Основные положения хромосомной теории наследственности

Т. Моргана

1. Гены в хромосомах расположены линейно в определенных локусах.
2. Гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются сцепленно и образуют группу сцепления.
3. Число групп сцеплений соответствует гаплоидному набору хромосом.
4. Между гомологичными хромосомами может происходить кроссинговер, в результате в потомстве у гетерозиготных родителей появляются новые признаки.
5. Частота кроссинговера зависит от расстояния между генами.
6. Зная линейное расположение генов и частоту кроссинговера, можно построить карту хромосом.

Вопросы для самоподготовки:

1. История открытия сцепленного наследования генов и признаков.
2. Понятие о группах сцепления генов.
3. Особенности наследования признаков при полном сцеплении генов (схема скрещивания и анализ).
4. Особенности наследования признаков при неполном сцеплении генов (схема скрещивания и анализ).
5. Типы кроссинговера и их характеристика. Биологическое и эволюционное значение кроссинговера.
6. Линейное расположение генов в хромосомах. Карты хромосом и принципы их построения.
7. Основные положения хромосомной теории наследственности.

2.5. ГЕНЕТИКА ПОЛА

Содержание учебного материала

Понятие пола. Хромосомный механизм определения пола. Типы предопределения пола. Гомогаметный и гетерогаметный пол. Балансовая теория определения пола. Бисексуальность организмов и болезни, вызванные нерасхождением половых хромосом. Нарушения в развитии пола: интерсексуальность, фримартинизм, гинандроморфизм, их теоретическое и практическое значение. Партогенез, андрогенез, гиногенез. Наследование признаков, сцепленных с полом. Проблема регуляции пола. Практическое значение сдвига в соотношении полов у сельскохозяйственных животных.

Методические рекомендации. Основные понятия

Основные типы детерминации (определения) пола:

- прогамный – до оплодотворения, половое определение происходит на разных фазах созревания женских гамет – яйцеклеток (коловратки, первичные кольцецы, птицы);
- сингамный – в момент оплодотворения, в результате сочетания женских и мужских гамет в зиготе (млекопитающие, рыбы, двукрылые насекомые, двудомные растения);
- эпигамный – после оплодотворения, под влиянием внешних условий (морской червь, некоторые виды рыб).

Пол – это совокупность морфологических, физиологических, биохимических, поведенческих и других признаков организма, обуславливающих репродукцию (воспроизведение) себе подобных.

Признаки пола делят на две группы: первичные и вторичные. Первичные половые признаки принимают непосредственное участие в процессах воспроизведения (гаметогенез, осеменение, оплодотворение). Это наружные и внутренние половые органы. Они формируются к моменту рождения. Вторичные половые признаки не принимают непосредственного участия в репродукции, но способствуют привлечению особей противоположного пола. Они зависят от первичных половых признаков и развиваются под воздействием половых гормонов (в период полового созревания). К таким признакам относятся особенности развития костно-мышечной системы, волосяного покрова, тембр голоса, поведение и др.

Соматические признаки особей, обусловленные полом, подразделяются на три группы: ограниченные полом, контролируемые полом и сцепленные с полом. Развитие признаков, ограниченных полом, обусловлено генами, расположенными в аутосомах особей обоих полов, которые проявляются только у особей одного пола (ген подагры есть и у мужчин, и у женщин, но проявляет свое действие только у мужчин). Развитие признаков, контролируемых полом, обусловлено генами, расположенными также в аутосомах особей обоих полов, но экспрессивность и пенетрантность их различна у лиц разного пола (развитие волосяного покрова и облысение у человека). Признаки, развитие которых обусловлено генами, расположенными в негомологичных участках половых хромосом, называются сцепленными с половыми хромосомами (гоносомное наследование). Признаки, развитие которых детерминируют гены, расположенные в негомологичном участке X-хромосомы, называются сцепленными с X-хромосомой (с полом). Таких признаков для человека описано около 200 (нормальное цветовое зрение и дальтонизм, нормальное свертывание крови и гемофилия и др.).

Голландрические признаки детерминируются генами, расположенными в негомологичном участке Y-хромосомы (проявляются у мужчин). Таких генов описано 6 (ген одной из форм ихтиоза, оволосения наружного слухового прохода и ушных раковин, средних фаланг пальцев рук и др.).

Аномалии сочетания половых хромосом. При нарушении течения митоза могут образовываться особи – гинандроморфы. Содержание половых хромосом в разных клетках таких особей может быть разное (мозаичность). У чело-

века могут быть разные случаи мозаицизма: XX/XXX, XY/XXY, X0/XXX, X0/XXY и др.

При нормальном течении мейоза у женского организма образуется один тип яйцеклеток, содержащих X-хромосому. Однако при нарушении расхождения половых хромосом могут образовываться еще два типа – с двумя половыми хромосомами (XX) и не содержащие половых хромосом (0). У мужского организма в норме образуется два типа сперматозоидов, содержащих X- и Y-хромосому. При нарушении расхождения половых хромосом возможны варианты гамет: сперматозоиды с двумя половыми хромосомами (XY) и без половых хромосом (0).

XXX– синдром трисомии X.

X0– синдром Шерешевского-Тернера.

XXY и **XXXY**– синдром Клайнфельтера.

В практике животноводства имеется необходимость преимущественного получения особей одного или другого пола, что поставило перед генетикой проблему искусственного регулирования пола.

Примеры решения типовых задач

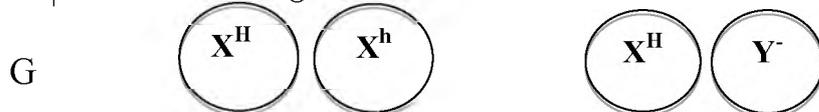
Задача: У собак гемофилия детерминирована сцепленным с полом рецессивным геном *h*. Родители здоровы, в помете из четырех щенков один болен гемофилией. Требуется определить, кто из родителей мог передать ген гемофилии.

Условие задачи записывается по схеме скрещивания с учетом половых хромосом матери и отца (у млекопитающих гомогаметным является женский пол):

Решение:

Ген	Признак	Генотип
X^H	нормальная свертываемость крови	$X^H X^H$, $X^H X^h$, $X^H Y$
X^h	гемофилия	$X^h X^h$, $X^h Y$

нормальный ♀ $X^H X^h$ × нормальный ♂ $X^H Y$



F₁ ♀ $X^H X^H$ ♂ $X^H Y$ ♀ $X^H X^h$ ♂ $X^h Y$

девочка здоровая – девочка болен гемофилией
мальчик здоровый – мальчик болен гемофилией

Ген *h* получен потомком вместе с X-хромосомой от родителей и проявляется либо в гемизиготном (у самца), либо в гомозиготном (у самки) состояниях. Родители здоровы, следовательно, в их генотипе обязательно присутствует хотя бы один ген *H*.

Так как у отца всего одна X-хромосома, он имеет только один ген свертываемости крови, а именно *H*, и не является переносчиком гена гемофилии.

Мать, будучи здоровой и имея в одной X-хромосоме ген H, может быть гетерозиготной носительницей гемофилии.

Больным щенком – гемофиликом у таких родителей мог быть только самец, так как свою единственную X-хромосому с геном гемофилии он получает от матери. Самки, получая X-хромосомы от матери и отца, благодаря отцу всегда будут здоровыми. Однако часть самок может быть носительницами гемофилии.

Вопросы для самоподготовки:

1. Хромосомное определение пола. Типы детерминации пола.
2. Наследование пола. Понятие о первичном соотношении по полу.
3. Нарушения определения пола.
4. Нарушения формирования признаков пола.
5. Проблема искусственного регулирования пола.

2.6. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Содержание учебного материала

Нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК), открытие и их биологическая роль. Структура ДНК по Уотсону и Крику. Нуклеотиды – структурные компоненты нуклеиновых кислот. Комплементарность нуклеотидов. Правило Чаргаффа. Видовая специфичность ДНК. Репликация (удвоение) ДНК. Строение и типы РНК. Роль информационной, транспортной и рибосомной РНК в синтезе белковых молекул. Вторичная структура РНК. Генетический код. Общие свойства генетического кода (триплетный, неперекрывающийся, вырожденный, универсальный). Синтез белка в клетке. Транскрипция. Процессинг и сплайсинг. Трансляция: инициация, элонгация, терминация.

Современное представление о строении и функции гена. Понятие об опероне, структурных и акцепторных генах, ген-оператор и ген-регулятор. Свойства гена: дискретность, постоянство, специфичность. Мобильные гены, транспозоны. Основные механизмы работы генов. Регуляция генной активности у прокариот и эукариот.

Методические рекомендации. Основные понятия

Нуклеиновые кислоты были открыты И.Ф. Мишером в 1868 году, который выделил из ядер клеток особое вещество кислотной природы и назвал его нуклеином, затем этому веществу дали название нуклеиновая кислота. Было обнаружено два типа нуклеиновых кислот, которые назвали в зависимости от углеводного компонента, входящего в состав – дезоксирибонуклеиновой или рибонуклеиновой.

Молекула ДНК имеет двойную спираль, состоящую из двух полинуклеотидных цепей (рисунок 2). Структурными единицами полинуклеотидных цепей являются нуклеотиды. В состав нуклеотида входят: одно из азотистых оснований – пуриновое (аденин или гуанин) или пиримидиновое (тимин или цитозин), дезоксирибоза, фосфатный остаток. Каждые три нуклеотида (триплет) в смысловой цепи ДНК (гене) определяют постановку в нужном месте определенной аминокислоты.

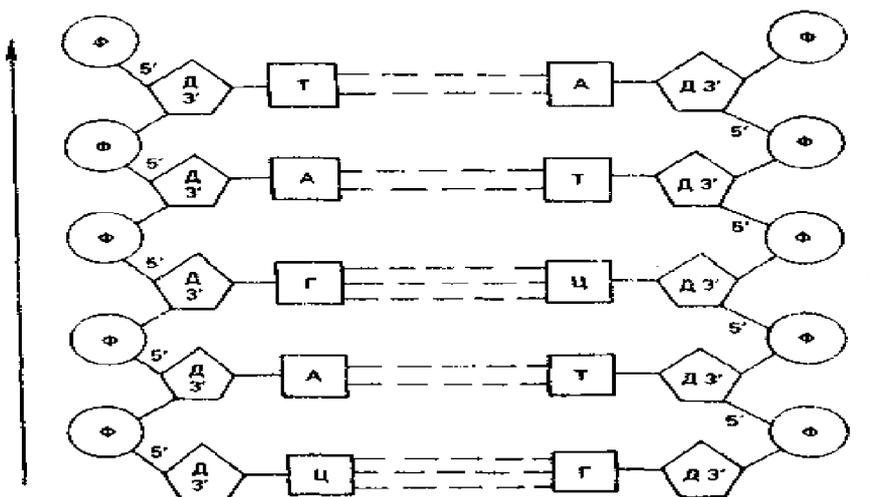


Рисунок 2 – Схема отрезка двухцепочечной молекулы ДНК(по С.М. Гершензону)

Азотистые основания нуклеотидов обеих цепей ДНК заключены внутри между витками спирали и соединены водородными связями. При этом аденин одной цепи связан только с тимином другой цепи, а гуанин - только с цитозином. Цепи ДНК комплементарны, они взаимно дополняют друг друга.

ДНК находится в хромосомах и перед каждым удвоением хромосом и делением клетки происходит ее репликация (удвоение). Под действием ферментов двойные цепи ДНК расплетаются, и каждая цепь достраивает вторую, комплементарную ей цепь.

При синтезе белка наследственная информация, записанная в ДНК (гене), точно переписывается (транскрибируется) в нуклеотидную последовательность и-РНК при помощи фермента РНК-полимеразы.

ДНК ТАЦААААГГЦЦА;
и-РНК АУГУУУУЦЦГГУ.

В РНК вместо тимина входит урацил, вместо дезоксирибозы – рибоза.

Конец синтеза и-РНК определяется участком остановки транскрипции. Образовавшаяся и-РНК (м-РНК) направляется в цитоплазму, где соединяется с рибосомой, являясь матрицей для синтеза полипептида. Последовательность постановки аминокислот в полипептиде закодирована с помощью кодонов - триплетов нуклеотидов и-РНК.

К рибосоме аминокислота доставляется при помощи т-РНК, «узнающей» место постановки аминокислоты при помощи антикодона, соответствующего определенному кодону и-РНК.

м-РНК: АУГ УУУ УЦЦ ГГУ ААА;
полипептид: метионин – фенилаланин – серин – глицин – лизин.

Виды РНК и их биологическая роль

Реализация наследственной информации происходит при помощи рибонуклеиновых кислот. Существует три основных вида РНК: информационная (и-РНК), или матричная (м-РНК), транспортная (т-РНК) и рибосомальная (р-РНК).

Они различаются по величине молекул и функциям.

Все виды РНК синтезируются на ДНК при участии ферментов РНК-полимераз. Так же, как ДНК, РНК состоит из длинной цепи, в которой каждое звено называется нуклеотидом. Каждый нуклеотид состоит из азотистого основания, сахара рибозы и фосфатной группы.

Информационная РНК (и-РНК) впервые была обнаружена в 1957 г. Роль ее состоит в том, что она считывает наследственную информацию с участка ДНК (гена) и в форме скопированной последовательности азотистых оснований переносит ее на рибосомы, где происходит синтез определенного белка. Каждый триплет (три нуклеотида) на и-РНК называется кодоном.

Транспортная РНК (т-РНК) обладает относительно невысокой молекулярной массой и содержит в молекуле от 75 до 90 нуклеотидов. Роль т-РНК заключается в том, что она переносит аминокислоты к рибосомам и участвует в процессе синтеза белка. Каждая аминокислота присоединяется к определенной т-РНК. Ряд аминокислот обладает более одной т-РНК, которые отличаются между собой первичной структурой (последовательностью оснований).

Рибосомальная РНК (р-РНК) составляет основную массу всех клеточных РНК (80-90%), содержит в молекуле от 120 до 3100 нуклеотидов. Рибосомная РНК накапливается в ядре, в ядрышках. В ядрышки из цитоплазмы транспортируются рибосомные белки, и там происходит спонтанное образование субчастиц рибосом путем объединения белков с соответствующими р-РНК в процессе биосинтеза белка.

Генетический код и его свойства

Генетический код – это перевод триплетной последовательности нуклеотидов в порядок образования аминокислот в белках. Генетический код – это система записи наследственной информации в ДНК и РНК путем определенного чередования последовательности нуклеотидов.

Свойства генетического кода:

- триплетность (каждая аминокислота кодируется тремя нуклеотидами);
- непрерывность (между триплетами нет знаков препинания, то есть информация считывается непрерывно);
- неперекрываемость (один и тот же нуклеотид не может входить одновременно в состав двух или более триплетов);
- вырожденность (одной и той же аминокислоте может соответствовать несколько кодонов);
- универсальность (генетический код работает одинаково в организмах разного уровня сложности от вирусов до человека);
- в кодонах для одной аминокислоты первые два нуклеотида, как правило, одинаковы, а третий – варьирует;
- характеризуется коллинеарностью, то есть совпадением порядка расположения кодонов в и-РНК с порядком расположения аминокислот в синтезирующейся полипептидной цепи.

Синтез белка в клетке: транскрипция и трансляция

Процесс биосинтеза белка состоит из двух этапов: транскрипция и трансляция.

Транскрипция заключается в том, что наследственная информация, записанная в ДНК, точно переписывается в нуклеотидную последовательность и-РНК.

Процесс созревания и-РНК называется процессингом. У эукариот в ДНК есть участки, не несущие наследственной информации (интроны) и несущие информацию (экзоны). В ходе созревания и-РНК интроны удаляются, а экзоны соединяются между собой в одну непрерывную последовательность и-РНК с помощью ферментов лигаз (сплайсинг).

Трансляция – перевод последовательности нуклеотидов в молекуле и-РНК в последовательность аминокислот в белковой цепи.

Процесс трансляции включает 2 этапа: 1. Активирование аминокислот. 2. Синтез белковой молекулы.

В процессе трансляции выделяют три стадии: инициации, элонгации и терминации.

Инициация. В период стадии инициации рибосома представлена двумя отдельными субъединицами (большой и малой). Инициация синтеза полипептидной цепи начинается с присоединения малой субъединицы рибосомы к соответствующему аминоацильному центру на и-РНК. Образуется иницирующий комплекс. Затем к этому комплексу присоединяется большая субъединица рибосомы. Рибосома имеет два центра: аминоацильный и пептидилный.

Элонгация (непосредственная трансляция) – процесс образования полипептидной цепи. Рибосома движется вдоль и-РНК и в аминоацильный центр попадает новый кодон, к нему присоединяется своим антикодоном т-РНК с соответствующей аминокислотой. Между аминокислотами возникают пептидные связи. Рибосома движется дальше и т.д.

Терминация (конец трансляции) – удлинение пептидной цепи продолжается до тех пор, пока в аминоацильный центр не попадает один из трех терминирующих кодонов (УАА, УАГ, УГА), которые прекращают синтез белка. Полипептидная цепь отделяется от т-РНК и рибосомы. Рибосомные субъединицы разделяются и могут принять участие в синтезе следующей полипептидной цепи.

Современное представление о строении гена, его функции и свойства

В современном представлении ген – это функциональная единица молекулы ДНК, которая контролирует последовательность аминокислот в кодируемой полипептидной цепи. Ген имеет определенную величину, выраженную числом нуклеотидов и молекулярной массой. Молекулярная масса гена $\approx 7 \cdot 10^5$ Д (дальтон), размер в среднем 1000 нуклеотидов. Самые короткие гены кодируют т-РНК.

В опытах А.С. Серебровского (1929-1930 гг.) было установлено, что ген имеет сложную структуру и состоит из центров.

При изучении мутаций гена *scute*, влияющего на развитие щетинок на теле дрозофилы, было обнаружено явление ступенчатого аллелизма, это явилось

доказательством того, что ген не является единицей мутации, он дробим и имеет сложную структуру.

Ген обладает общими (дискретность, аллельность, постоянство) и частными (полимерия, плейотропия, экспрессивность, пенетрантность) свойствами.

Гены, кодирующие синтез полипептидной цепи, называются структурными. Они имеют строго определенную последовательность нуклеотидов и их можно идентифицировать.

Вопросы для самоподготовки:

1. Доказательство роли ДНК в наследственности.
2. Биологическая роль нуклеиновых кислот.
3. Структура ДНК по Уотсону и Крику. Строение и химический состав ДНК. Репликация (удвоение) ДНК.
4. Химический состав, структура и виды РНК.
5. Генетический код и его свойства.
6. Синтез белка в клетке. Транскрипция (процессинг и сплайсинг). Трансляция.
7. Современное представление о строении и функции генов.
8. Свойства генов.

2.7. ГЕНЕТИКА МИКРООРГАНИЗМОВ

Содержание учебного материала

Микроорганизмы как объекты исследования молекулярной генетики. Строение вирусов и бактерий. Обмен генетическим материалом у бактерий и вирусов.

Методические рекомендации. Основные понятия

Вирусы и бактерии являются объектом генетических исследований, так как их легко культивировать, они имеют короткий период размножения и огромную численность потомства. Бактерии имеют гаплоидный набор хромосом и совмещают в себе функции гамет и особи. Классическим объектом генетических исследований среди бактерий являются кишечная палочка (*Escherichiacoli*), бактерии рода *Salmonella*, нейроспора (гриб хлебной плесени), среди вирусов – бактериофаги (вирусы бактерий), вирус табачной мозаики и др.

Строение бактерий. Бактерия имеет химический состав в основном такой же, как и клетки эукариот. Снаружи бактерия покрыта оболочкой, внутри находится цитоплазма, ядерный аппарат, рибосомы и ферменты. У бактерий отсутствуют: митохондрии, аппарат Гольджи и эндоплазматическая сеть. Нет оформленного ядра, имеется ядерный аппарат, который состоит из нуклеоида и плазмиды.

Размножение бактерий. Бактерии размножаются путем деления. Наиболее важным является процесс воспроизведения нуклеоида. Репликация ДНК идет полуконсервативным способом с участием ДНК-полимеразы, происходит в период роста бактерии, начинается с определенного участка и идет в одном направлении. В репликации участвуют ферменты ДНК-полимеразы. На каждой

цепи образуется дочерняя по принципу комплементарности. После репликации дочерние ДНК отодвигаются, между ними образуется межклеточная перегородка, формируются органоиды, затем клетки отделяются друг от друга.

Строение вирусов. Вирус имеет различную форму, в виде палочек, шаров, но в основном они в виде многогранника. Вирус содержит нуклеиновую кислоту, ДНК или РНК, при этом ДНК может быть двухцепочечной или одноцепочечной, также и-РНК может содержать одну или две цепи. Молекулы ДНК или и-РНК вируса могут быть линейными и кольцевыми, они окружены белковой оболочкой – капсидом. Вирусы, которые паразитируют в клетках бактерий, называются бактериофагами. Это простейшие организмы, содержащие в основном ДНК, а вирусы растений – РНК. Бактериофаг состоит из головки с ДНК, хвоста с отростками, снаружи покрыт белковой оболочкой (капсидом). ДНК содержится в головке фага. Размер фага колеблется от 20 до 200 нм. В генетике часто используются фаги Т4 и λ (лямбда).

Размножение вирусов. Вирусы способны размножаться только внутри клетки, так как у него нет собственной белок-синтезирующей системы, вне клетки он находится в инертном состоянии. В результате процесса размножения вируса синтезируются новые молекулы вирусных белков и большое количество копий вирусной ДНК. Этот процесс у разных ДНК-содержащих вирусов универсален, у многих вирусов животных он продолжается не один день, у бактериофагов может завершиться менее, чем за час. После репликации каждая молекула ДНК покрывается белковым чехлом и превращается в зрелый вирус, при этом клетка может разрушаться (лизироваться), а вирус – выходить во внешнюю среду.

Виды обмена генетическим материалом у бактерий

Трансформация – это изменение наследственных свойств клетки в результате проникновения в нее чужеродной ДНК.

Трансдукция – это перенос генов из одной бактериальной клетки в другую с помощью умеренного фага.

Конъюгация – это передача наследственного материала при скрещивании бактерий.

Вопросы для самоподготовки:

1. Микроорганизмы как объекты исследования молекулярной генетики.
2. Строение и размножение бактерий.
3. Строение и размножение вирусов.
4. Обмен генетическим материалом у бактерий (трансформация, трансдукция, конъюгация).

2.8. МУТАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОРГАНИЗМОВ

Содержание учебного материала

Мутационная изменчивость и ее понятия: мутагенез, мутации, мутанты, мутагены. Особенности мутаций. Классификация мутаций: по мутировавшим клеткам, по фенотипическому проявлению, по исходу действия на организм.

Мутации геномные, хромосомные, генные.

Полиплоидия. Особенности полиплоидов, причины возникновения, широта распространения. Гетероплоидия, причины возникновения и значение. Значение полиплоидов в практике и эволюции.

Структурные мутации хромосом: делеция, инверсия, дупликация, транслокация, нехватка.

Генные мутации, молекулярный механизм и причины возникновения. Классификация генных мутаций: изменение структуры, функции генов и влияние на синтез белков. Репарационные системы нитей ДНК: фотореактивация и темновая репарация.

Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости Н.И. Вавилова. Спонтанный и индуцированный мутагенез. Факторы мутагенеза: химические, физические, биологические. Антимутагены.

Изменчивость: комбинативная, коррелятивная, модификационная и их значение в практике. Экологический фактор, его природа, типы взаимодействия. Типы экологических отношений.

Источники радиации, пути попадания радионуклидов в организм и влияние их на сельскохозяйственных животных. Генетические последствия загрязнения окружающей среды радионуклидами. Генетический мониторинг.

Методические рекомендации. Основные понятия

Мутация – это скачкообразное изменение генетического материала под влиянием факторов внешней или внутренней среды, передающееся по наследству. Этот термин впервые предложил ботаник Гуго де Фриз для обозначения внезапно возникающих наследуемых изменений у растений. Процесс образования мутаций называется мутагенезом. Факторы, вызывающие мутации, – **мутагенами**. Организмы, образовавшиеся в результате мутаций, – **мутантами**.

Классификация мутаций:

1. По мутировавшим клеткам мутации подразделяются на генеративные, происходящие в половых клетках и передающиеся по наследству при половом размножении и соматические, которые происходят в соматических клетках, проявляются у самой особи и передаются по наследству только при вегетативном размножении.

2. По фенотипическому проявлению мутации делятся на морфологические (коротконогость, отсутствие шерстного покрова); физиологические, обуславливающие понижение или повышение продуктивности или жизнеспособности особи, устойчивость или подверженность болезням, что приводит к летальному исходу; биохимические – изменения характера обмена веществ в организме, нарушающие или изменяющие синтез ферментов, структурных белков и т.д.

3. По исходу действия на организм мутации бывают отрицательными – летальными (несовместимыми с жизнью) и полуметальными (снижающими жизнеспособность организма); нейтральными, то есть не влияющими на процессы жизнедеятельности; положительными, то есть повышающими жизнеспособность организма.

4. Мутации, возникающие в естественных условиях, называют спонтан-

ными, искусственно вызванные – индуцированными.

5. По изменениям генетического материала мутации делятся на геномные, хромосомные, генные. Хромосомные и генные мутации, как правило, вызывают у животных нарушения жизнеспособности, плодовитости, снижение устойчивости к болезням, продуктивности и другие вредные последствия.

Геномные мутации обусловлены изменениями числа хромосом. Видами геномной мутации являются полиплоидия и гетероплоидия. Полиплоидия – это увеличение числа хромосом в хромосомном наборе организмов ($3n$, $4n$, $5n$, ...).

Полиплоидия, как правило, используется в селекции растений для повышения урожайности. У млекопитающих и человека это летальные мутации.

Гетероплоидия (анеуплоидия) – это общее изменение числа хромосом по отношению к диплоидному.

$2n + 1$ – трисомия (три одинаковые хромосомы);

$2n - 1$ – моносомия (отсутствует одна хромосома из пары);

$2n + 2$ – тетрасомия (четыре хромосомы вместо двух);

$2n - 2$ – нуллисомия (отсутствует пара хромосом).

В результате гетероплоидии возникают различные нарушения в развитии организма человека и животных.

Хромосомные мутации (абберации) – это мутации, связанные с изменением структуры хромосом. К ним относятся: нехватка, делеция, инверсия, инсерция, дупликация, фрагментация, транслокация, кольцевые хромосомы, изохромосомы. Большинство хромосомных мутаций вызывают нарушения в развитии или гибель особей.

Генные мутации – это изменения структуры гена. Они бывают: гипоморфные, гиперморфные, антиморфные, неоморфные, аморфные. В результате генных мутаций происходит замена нуклеотидов внутри кодонов, появляются вставки и делеции, что приводит к мутациям сдвига рамки чтения. Генные мутации являются причиной появления аллельных генов.

Спонтанные мутации происходят под действием естественных мутагенных факторов внешней среды без вмешательства человека. **Индукцированные мутации** – результат направленного воздействия определенных мутагенных факторов. **Мутагенные факторы** подразделяются на физические, химические, биологические.

1. Физические мутагены. Основными мутагенами этого класса являются ионизирующие излучения, ультрафиолетовые лучи и повышенная температура. Основные механизмы их действия: 1) нарушение структуры генов и хромосом; 2) образование свободных радикалов, которые вступают в химическое взаимодействие с ДНК; 3) разрывы нитей ахроматинового веретена деления; 4) образование димеров.

2. Химические мутагены: природные органические и неорганические вещества (нитраты, алкалоиды, гормоны, ферменты и др.); продукты промышленной переработки природных соединений: угля, нефти; синтетические вещества, ранее не встречавшиеся в природе (пестициды, инсектициды, пищевые консерванты, лекарственные вещества). Химические мутагены обладают большой проникающей способностью, вызывают преимущественно генные мутации

и действуют в период репликации ДНК.

3. Биологические мутагены: вирусы (кори, гриппа); невирусные паразитарные агенты (микоплазмы, бактерии, простейшие, гельминты). Основные механизмы действия биологических мутагенов: 1) вирусы встраивают свою ДНК в ДНК клеток хозяина; 2) продукты жизнедеятельности паразитов – возбудителей болезней – действуют как химические мутагены.

Репарация – это внутриклеточный процесс, обеспечивающий восстановление поврежденной структуры молекулы ДНК. Нарушения структуры молекулы ДНК могут быть вызваны повреждениями азотистых оснований, разрывом одной или двух нитей молекулы, сшивками нитей ДНК.

Виды репарации:

1. Фоторепарация – это восстановление поврежденной нити ДНК при помощи света за счет активации действия определенных ферментов. Механизм фоторепарации заключается в устранении видимым светом димеров тимина, часто возникающих под действием ультрафиолетовых лучей. Это происходит с помощью особого фотореактивирующего фермента. Видимый свет активирует молекулу фермента, она отделяется от димера тимина и разъединяет его на два отдельных, тимина. Так восстанавливается нормальная структура ДНК.

2. Репарация в молекуле ДНК путем механизма «вырезание-застройка» (темновая репарация). Темновая репарация включает 4 стадии: 1) эндонуклеаза «узнает» поврежденный участок и рядом с ним разрывает нить ДНК; 2) экзонуклеаза «вырезает» поврежденный участок; 3) ДНК-полимераза по принципу комплементарности синтезирует фрагмент ДНК на месте разрушенного; 4) лигаза «сшивает» концы ресинтезированного участка с основной нитью ДНК.

Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости был сформулирован Н. И. Вавиловым в 1920 г. на основе изучения изменчивости признаков у видов и родов злаков и других семейств.

Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости (Н.И. Вавилов): виды и роды, генетически близкие, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости. Зная ряд форм в пределах одного вида, можно предвидеть существование подобных форм у других видов и родов.

Закон гомологических рядов дает возможность селекционерам проводить искусственный отбор различными методами: от нахождения нужных форм в природе или выявления их при инбридинге до получения этих форм с использованием мутагенов.

Источники радиации – природный радиационный фон, ядерный взрыв, аварии на промышленных реакторах и атомных электростанциях.

Радионуклиды – это радиоактивные атомы с данным массовым числом и атомным номером, а для изомерных атомов – с данным определенным энергетическим состоянием атомного ядра.

Радиоактивность – это самопроизвольное превращение (распад) атомных ядер некоторых химических элементов, приводящее к изменению их атом-

ного номера и массового числа. Распад радиоактивных ядер сопровождается ионизирующим излучением, в результате радиоактивного распада могут испускаться γ -кванты, электроны, позитроны, α -частицы. Радиоактивный распад не может быть остановлен или ускорен каким-либо способом.

Активность – это мера количества радиоактивного вещества, которая выражается числом радиоактивных превращений в единицу времени.

Важнейшее свойство ядерных излучений – это их способность вызывать ионизацию атомов и молекул, поэтому ядерные излучения называют ионизирующими.

Радиобиологические эффекты, которые возникают при воздействии ионизирующих излучений на живые организмы, обусловлены поглощенной энергией излучения, т.е. количеством энергии, поглощенной одним сантиметром ткани. Поглощенную энергию измеряют, определяя ионизацию в воздухе, а затем пересчитывают на ткань. В качестве дозы ионизирующего излучения служат специальные единицы – рентгены.

Биологический эффект при облучении живых организмов зависит не только от дозы облучения, но и от качества ионизирующего излучения. При идентичных дозах по мере роста плотности ионизации увеличивается радиобиологический эффект.

Пути поступления радионуклидов в организм животных: через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, через кожу.

Радионуклиды могут поступать однократно и хронически. Под действием ионизирующей радиации все структурные компоненты клетки подвергаются изменениям, но эти изменения для различных образований клетки неоднозначны. Наиболее радиочувствительны следующие ткани: лимфоидная, костномозговая, эпителий слизистой оболочки кишечника, семенников, яичника и хрусталика глаза и др. В результате действия радиации происходит разрыв хромосом, появляются хромосомные аберрации и возникают мутации. Действие радиации на клетки приводит к нарушению метаболизма, физиологических функций и к генетическим последствиям.

Вопросы для самоподготовки:

1. Понятие о мутации и мутационном процессе. Классификация мутаций.
2. Геномные мутации. Полиплоидия. Гетероплоидия (анеуплоидия).
3. Хромосомные мутации. Классификация и значение в практике.
4. Генные мутации, молекулярный механизм и причины возникновения. Классификация.
5. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости Н.И. Вавилова.
6. Индуцированный мутагенез. Мутагены.
7. Источники радиации и загрязнения внешней среды радионуклидами.
8. Пути поступления радионуклидов в организм животных.
9. Влияние радиации на наследственность.
10. Влияние ионизирующей радиации на сельскохозяйственных животных.

2.9. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Содержание учебного материала

Понятие об онтогенезе. Влияние генов на развитие признаков. Дифференциальная активность генов на разных этапах онтогенеза. Роль генетической информации на начальных стадиях онтогенеза. Регуляция генной активности по теории Ф. Жакоба и Ж. Моно. Критические периоды развития организма. Влияние среды на развитие признаков.

Методические рекомендации. Основные понятия

Онтогенез – это индивидуальное развитие особи (Э. Геккель, 1866).

Филогенез – историческое развитие вида. Филогенез реализуется в процессе онтогенеза через наследственность.

Онтогенез включает две группы процессов: морфогенез и воспроизведение (репродукцию).

Онтогенез многоклеточных организмов сопровождается рядом общих основных процессов:

- рост – увеличение числа клеток или их объема (растяжение);
- гистогенез – образование и дифференцировка тканей;
- органогенез – образование органов и систем органов;
- морфогенез – формирование внутренних и внешних морфологических признаков;
- физиолого-биохимические преобразования.

У животных важную роль в регуляции онтогенетических процессов играют эндокринная и нервная системы. В онтогенезе высших животных выделяют следующие этапы (периоды) онтогенеза:

- предзародышевый (преэмбриональный) – развитие половых клеток (гаметогенез) и оплодотворение;
- зародышевый (эмбриональный) – развитие организма под защитой яйцевых и зародышевых оболочек или под защитой материнского организма;
- послезародышевый (постэмбриональный) – до достижения половой зрелости и взрослое состояние – размножение, забота о потомстве, старение и гибель.

Дифференцировка – процесс формирования структурно-функциональной организации клеток, в результате которого клетки приобретают способность к выполнению определенных функций.

Морфогенез (формообразование) – внешнее проявление развития организма. В ходе морфогенеза количественные изменения переходят в качественные.

Регуляция генной активности по теории Ф. Жакоба и Ж. Моно

В клетке одновременно транскрибируются не все гены, а только те, которые кодируют необходимые в данный момент белки. В клетке имеется механизм, регулирующий активность генов и обеспечивающий синтез необходимых в данное время белков. Такие механизмы имеются у прокариот и эукариот. Была предложена теория индукции (возбуждения) и репрессии (торможения) белкового синтеза. Авторы использовали принцип обратной связи, т.е. накопление достаточного количества вещества останавливает его дальнейший синтез.

Особенности регуляции активности генов у эукариот

Механизмы регуляции генной активности у эукариот значительно сложнее, и связано это со сложной дифференцировкой клеток разных органов и тканей. У эукариот опероны состоят из структурных генов и регуляторов, которые управляют их активностью. Подавление групповой активности генов осуществляется белками-гистонами. Важную роль в регуляции играют гормоны, которые являются индукторами синтеза и-РНК.

Модификационная изменчивость – изменчивость фенотипа без изменения генотипа. Происходит под воздействием факторов внешней среды на ферментативные реакции, протекающие в организме, и носит приспособительный характер. Она ненаследственная.

При изменении условий среды иногда признак изменяется так же, как и под влиянием действия генов, но ненаследственные – это фенкопии.

Критическими периодами называют периоды эмбриогенеза, наибольшей чувствительности зародыша к воздействиям факторов внешней среды (температура, инфекции, лекарства).

У птиц:

- 1) 2-3-й день инкубации – закладка системы кровообращения;
- 2) 8-9-й – дальнейшая дифференцировка органов и тканей;
- 3) 19-й день – переход зародыша к легочному дыханию.

У человека: 1-я неделя, 3-5-я неделя, 8-11-я после зачатия.

У лошадей: 4-5, 8-11 недели.

Вопросы для самоподготовки:

1. Понятие и генетическая сущность онтогенеза.
2. Влияние гена на развитие признака у прокариот и эукариот.
3. Дифференциальная активность генов.
4. Регуляция действия генов у прокариот и эукариот.
5. Влияние факторов среды на развитие признака.
6. Критические периоды в развитии.

2.10. НАСЛЕДСТВЕННЫЙ ПОЛИМОРФИЗМ БЕЛКОВ, ФЕРМЕНТОВ И ГРУППЫ КРОВИ

Содержание учебного материала

Учение о группах крови. Понятие о группах крови и методах их изучения. Системы групп крови сельскохозяйственных животных. Номенклатура. Наследование групп крови. Получение реагентов для определения групп крови. Связь групп крови с резистентностью к болезням. Иммуногенетическая несовместимость, ее последствия (гемолитическая болезнь жеребят и поросят) и меры профилактики. Биохимический полиморфизм белков и его генетическая природа. Методы определения, характер наследования. Использование групп крови и биохимического полиморфизма в практике животноводства.

Методические рекомендации. Основные понятия

Иммуногенетика – это наука, которая занимается изучением групп крови и биохимического полиморфизма.

На оболочке эритроцитов расположены антигенные факторы (антигены), представляющие собой белковые соединения или соединения полисахаридов с белками. Качественный состав их не изменяется на протяжении жизни животного и стойко наследуется.

В 1900 году К. Ландштейнер открыл у человека три группы крови по системе АВО на основе изучения специфических реакций эритроцитов, происходящих при переливании крови. В 1907 году Я. Янский открыл четвертую группу крови.

Антигены (агглютиногены) – это генетически чужеродные вещества, вызывающие при введении в организм специфические иммунологические реакции с появлением антител.

Антитела (агглютинины) – это вещества белковой природы, которые образуются в организме под воздействием антигенов.

Феногруппы – это сочетание антигенов, которые наследуются вместе.

Совокупность антигенов, которые контролируются одним локусом хромосомы, называется генетической **системой групп крови**.

У крупного рогатого скота открыто 12 систем групп крови, у свиней – 17, у лошадей – 9, у овец – 16, у кур – 14, у человека – 19.

Наиболее сложной является у крупного рогатого скота система В, включающая более 40 антигенов, которые образуют более 500 аллелей. У свиней наиболее сложными считаются системы Е, L, М, у овец – В, А, С.

Группы крови наследуются по типу кодоминирования, т.е. в гетерозиготифенотипически проявляются оба гена.

Антигены групп крови выявляются при помощи иммунологической реакции с антителами, специфичными к данному антигену (моноспецифическими сыворотками).

Полиморфизм белков – это одновременное существование белка в нескольких формах. Для большинства полиморфных локусов характерно наличие двух аллелей, но может быть и несколько. Причиной возникновения полиморфизма является мутационный процесс. Замещение аминокислот в молекуле белка может вызывать возникновение различных полиморфных форм. Типы одного и того же белка наследуются кодоминантно, как и группы крови.

У сельскохозяйственных животных изучено более 150 полиморфных локусов белков крови, молока, тканей и др., которые расположены в аутосомах. Хорошо изучен полиморфизм белков сыворотки крови (трансферрина, церулоплазмина, гемоглобина, преальбумина, амилазы, эстеразы, карбоангидразы эритроцитов и др.), белков молока (альфа-лактоальбумина, бета-лактоглобулина, альфа-, бета-, каппа-, гамма-казеинов), белков яиц (глобулина, трансферрина, лизоцима) и др.

Основным методом изучения полиморфизма белков и ферментов является метод электрофореза в крахмальном, агаровом, полиакриламидном гелях и иммуноэлектрофорез. Принцип метода заключается в том, что белки в электрическом поле движутся с различной скоростью в зависимости от заряда белковой

молекулы и ее размера. Эти молекулы движутся от катода (-) к аноду (+), после окрашивания на геле остаются полосы или пятна, которые соответствуют данной определенной системе.

Группы крови и биохимический полиморфизм используются в практике для контроля достоверности происхождения, иммуногенетического анализа близнецов, для установления межпородной и внутривидовой дифференциации, для определения генетического сходства потомков с родоначальником, построения генетических карт хромосом, установления связи с резистентностью к болезням и продуктивностью, для профилактики гемолитической болезни. С помощью групп крови и полиморфных белков можно установить иммуногенетическую структуру популяции.

Существует **три основных правила наследования групп крови:**

– каждая особь наследует по одному из двух аллелей от отца и матери в каждой системе групп крови;

– особь с антигенами, не обнаруженными хотя бы у одного из родителей, не может быть потомком данной родительской пары:

например, ♀ FF/F × ♂ FF/N ≠ FN/N;

– гомозиготная особь по одному антигену, например F/F, не может быть потомком гомозиготной особи с противоположным антигеном, например V/V.

Гемолитическая болезнь новорожденных (ГБН) – врожденное заболевание плода и новорожденного, обусловленное иммунологической несовместимостью крови плода и матери по эритроцитарным антигенам. Встречается с частотой 1: 250-300 родов.

Эта болезнь остается одной из более частых причин желтухи и анемии у новорожденных. Частота ГБН составляет от 3-6%. Летальность от данного заболевания на сегодняшний день составляет 2,5%.

В большинстве случаев гемолитическая болезнь плода и новорожденного развивается вследствие несовместимости крови матери и плода по резус-фактору и его подтипам, системе АВО –и реже по другим эритроцитарным антигенам – системы Келл, Даффи, Кид и др.

Во многом сходное заболевание встречается у поросят и жеребят. Но, в отличие от человека, плацента указанных видов непроницаема для антител, поэтому они накапливаются в молозиве. Только после сосания матери в первые 24-48 часов у новорожденного наблюдаются патологические изменения в виде желтушности склеры глаз, слабости, учащенного дыхания, снижения числа эритроцитов. Молодняк в таких случаях погибает в течение нескольких дней.

Вопросы для самоподготовки:

1. Понятие о группах крови, антигенах, антителах.
2. Системы групп крови с.-х. животных. Номенклатура.
3. Правила наследования и способы определения групп крови.
4. Гемолитическая болезнь жеребят и поросят и меры профилактики.
5. Биохимический полиморфизм белков и его генетическая природа. Методы определения, характер наследования.
6. Использование групп крови и биохимического полиморфизма в практике.

2.11. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОПУЛЯЦИЯХ

Содержание учебного материала

Популяция, ее виды и свойства. Методы изучения популяций. Эффективность отбора в популяции и чистой линии. Структура свободно размножающейся популяции. Закон Харди-Вайнберга. Использование формулы Харди-Вайнберга для определения генетической структуры свободно размножающейся популяции.

Закон стабилизирующего скрещивания Пирсона. Факторы, влияющие на генетическую структуру популяции: мутации, отбор, миграции, скрещивание, инбридинг. Генетико-автоматические процессы в популяциях. Сопряженный дрейф генов и генетический груз.

Понятие об инбридинге. Влияние инбридинга на генетическую структуру популяции. Методы оценки инбридинга по А. Шапоружу и С. Райту. Инбредная депрессия как следствие родственных спариваний. Гетерозис и его формы. Гипотезы, объясняющие эффект гетерозиса и инбредной депрессии. Использование инбридинга и гетерозиса в животноводстве.

Методические рекомендации. Основные понятия

Популяция – это совокупность особей, отличающихся по своей генной структуре от других совокупностей особей данного вида (породы, линии или отдельной внутривидовой группы), населяющих определенную территорию и размножающихся при свободном спаривании.

Различают естественные и искусственные популяции. Естественные популяции формируются в природе под действием изменчивости, наследственности, естественного отбора и условий среды. Искусственными называются популяции, созданные человеком на основе наследственности, искусственного целенаправленного отбора и создаваемых условий среды.

Для генетической (панмиктической) популяции характерно свободное скрещивание особей, отсутствие избирательности при подборе скрещиваемых мужских и женских организмов и отсутствие избирательности слияния гамет при оплодотворении.

Чаще всего выделяют такие виды популяций, как географические, экологические и локальные.

Географической называют совокупность особей, занимающих территорию с однородными в географическом плане условиями. От Камчатки до Бреста, например, выявлено двадцать девять совокупностей обыкновенной белки. Географическая популяция – это территориальная раса, подвид. Особи при этом обладают фенотипическим сходством.

Экологической называют такую совокупность особей, которая обитает в рамках одной системы. При этом границы совпадают с границами самой экосистемы, определяемыми растительностью, фитоценозом.

Локальная популяция – это местная совокупность популяций определенного вида. Особи обитают на различных экосистемах конкретной местности. Так, локальная популяция домового воробья – это совокупность популяций особей из населенных пунктов, расположенных на расстоянии менее трех километров друг от друга.

В животноводстве под популяцией понимают группу животных одного вида, определенной численности и с одним ареалом распространения. Популяция состоит из животных разных генотипов с генетической изменчивостью, которая определяет эффективность отбора.

Свойства популяции:

1. Пластичность ее генетической структуры, изменяющейся под действием факторов естественного и искусственного отбора.

2. Приспособленность – это относительная пригодность или селекционная ценность организмов, их способность выживать в измененных и новых условиях среды и оставлять потомство, передавая ему свои наследственные качества.

3. Сохранение общей генетической структуры, соответствующей условиям среды, и проявление генетического постоянства (гомеостаза) за счет приспособительных способностей.

4. Способность к неограниченной эволюции, то есть к изменению под действием наследственности, изменчивости, отбора.

Методы изучения популяции:

1. Метод генетического анализа, при котором изучают фенотипические свойства родителей и потомков и выясняют характер наследственной передачи потомству отдельных признаков.

2. Метод цитогенетического анализа кариотипа у особей, который используется с целью определения и предотвращения передачи по наследству хромосомных дефектов от родителей потомкам.

3. Эколого-физиологический метод, позволяющий установить влияние факторов среды на состояние популяции и степень реализации генетического потенциала в фенотипическом проявлении признака.

4. Метод биологической статистики (биометрия), который дает возможность определить состояние и динамику генетической структуры популяции и осуществить моделирование генетических процессов.

Наряду с популяцией в генетике существует понятие «чистая линия».

Чистая линия – это потомство, полученное от одного родителя и имеющее с ним полное сходство по генотипу. Чистые линии могут быть созданы в растениеводстве у самоопыляющихся растений. В отличие от популяций они характеризуются полной гомозиготностью, вследствие чего отбор в чистой линии невозможен, так как все особи в ней имеют идентичный набор генов.

Изучение генетических особенностей популяций связано с исследованиями английского математика Годфри Гарольда Харди и немецкого врача Вильгельма Вайнберга, которые независимо друг от друга в 1908 г. установили математическую закономерность постоянства генетического состава панмиктической популяции, т.е. из поколения в поколение не изменяется и в ней сохраняется определенное соотношение генотипов, выражаемое формулой 1.

$$p^2 AA + 2pqAa + q^2 aa = 1, \quad (1)$$

где p^2 – выражает частоту гомозигот – AA;
 q^2 – выражает частоту гомозигот – aa;
 $2pq$ – выражает частоту гетерозигот – Aa.

Так как каждая гамета самца или самки несет ген «А» или ген «а», то (формула 2):

$$pA + qa = 1, \quad (2)$$

где pA – концентрация или частота в популяции гамет с геном «А»;
 qa – концентрация в популяции гамет с геном «а».

Используя приведенную выше формулу, можно вычислить частоты аллелей и генотипов в тех случаях, когда доминантные гомозиготы (AA) фенотипически неотличимы от гетерозигот (Aa). С этой целью определяют процент гомозиготных по рецессивному признаку особей – q^2 , например, их оказалось 16 %, после приведения к единице – 0,16. Если $q^2=0,16$, то можно определить q – частоту рецессивного гена – а, $qa=\sqrt{0,16}=0,4$.

Отсюда $pA=1-0,4=0,6$.

На основании полученной концентрации генов определяем структуру популяции, которая равна:

$$0,6AA+2\times 0,6\times 0,4Aa+0,4^2aa=1, \\ 0,36AA+0,48Aa+0,16aa=1.$$

В процентах: 36 %AA+48 %Aa+0,16aa=100 %.

Определяем в популяции частоты доминантного (p) и рецессивного (q) гена:

$$p=0,36+0,24=0,6.$$

$$q=0,24+0,16=0,4.$$

Частоты аллелей остались прежними ($p=0,6$; $q=0,4$), и соотношение генотипов следующего поколения останется неизменным. Применение положений закона Харди-Вайнберга состоит в том, что оно позволяет рассчитать некоторые из частот генов и генотипов в тех случаях, когда не все генотипы проявляются вследствие доминантности аллелей.

Закон Пирсона. Если отбор проведен только один раз, то структура популяции придет в равновесие уже в следующем поколении, но при другом соотношении генотипов.

Любая популяция может менять генетическую структуру под воздействием внешних и внутренних факторов, каждый из которых оказывает определенное влияние на изменение частоты аллелей и генотипов. К ним относятся мутации (генные и хромосомные), отбор (естественный и искусственный), миграции особей из популяции или в нее, тип скрещивания (межвидовое, межпородное, внутривидовое, инбридинг, то есть родственное спаривание).

Дрейф генов – это изменение частоты генов в популяции в направленной или ненаправленной форме, которое ведет к увеличению или уменьшению гомозигот или гетерозигот. Чаще всего он наблюдается в изолированных популяциях при ограниченной численности ее членов. Чем меньше численность особей в популяции, тем больше нарушение численного равновесия. В малых популяциях может возрастая частота нежелательного аллеля, проявляющегося в результате спаривания родственных особей.

Генетический груз – это число летальных и других отрицательных мутаций в популяции, которые при переходе в гомозиготное состояние вызывают гибель

особей или снижение их жизнеспособности. Он ведет к распространению в популяции скрытых рецессивных генов.

Спаривание между собой родственных самцов и самок называют **инбридингом**. Спаривание неродственных животных называют аутбридингом.

Комплекс отрицательных последствий инбридинга получил название **инбредной депрессии**. Чем ближе родство между спариваемыми особями и чем дольше в поколениях происходит инбридинг, тем сильнее проявляется инбредная депрессия.

Самой близкородственной формой инбридинга является самооплодотворение или самоопыление. Инбридинг подразделяется на степени родства:

1. Кровосмешение – спаривание отец×дочь, мать×сын, брат×сестра.
2. Близкое родство – спаривание полубрат×полусестра, бабушка×внук, дедушка×внучка.
3. Умеренное родство – племянники×племянницы, дяди×племянницы, тети×племянники.
4. Отдаленное родство – двоюродные и троюродные родственники.

Наиболее распространенным в практике животноводства является учет инбридинга, предложенный А. Шапоружем. По этому методу учитывается число рядов поколений, отделяющих потомка от предка, на которого осуществлен инбридинг.

Более точный метод определения степени инбридинга был разработан С. Райтом. Коэффициент инбридинга F представляет собой дробь в пределах от 0 до 1 (или в процентах). Он определяется по формуле 3:

$$F = (0,5)^{n_1+n_2-1}, \quad (3)$$

- где F – коэффициент инбридинга;
 $0,5$ – величина наследственности, получаемая от одного из родителей;
 n^1 – число рядов предков со стороны матери потомка, на которого ведется инбридинг;
 n^2 – число рядов предков со стороны отца потомка, на которого ведется инбридинг.

В приведенной родословной рассчитать коэффициент инбридинга:

Заря 1591

Курага 1358				Славный 1175			
Ночка 271		Гриф 907		Ромашка 80		Горн 420	
Крошка 36	Горн 420	Черемуха 838	Варяг 1660	Ласка 54	Румб 1379	Нила 2266	Гвидон 63

Примечание:

Разные степени $\frac{1}{2}$ для вычисления коэффициента инбридинга

$$\left(\frac{1}{2}\right)^1 = 0,5; \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 0,25; \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 0,125; \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 0,0625; \left(\frac{1}{2}\right)^5 = 0,03125; \left(\frac{1}{2}\right)^6 = 0,015625.$$

В приведенном примере коэффициент инбридинга для пробанда Горна 420, согласно формуле Райта, достигает: $F = (0,5)^{3+2-1} = (0,5)^4 = 0,0625$, или 6,25 %. Чем больше величина F приближается к 1, тем сильнее инбридирован потомок на пред-

ка, тем больше у потомков можно ожидать проявления инбредной депрессии и тем больше вероятность повышения гомозиготности потомков по генам предков.

Под гетерозисом понимают превосходство потомства первого поколения над родительскими формами по жизнеспособности, выносливости, продуктивности, возникающее при скрещивании разных рас, пород животных, зональных типов.

Основными показателями гетерозиса являются:

- повышение эмбриональной и постэмбриональной жизнеспособности;
- снижение затрат корма на единицу продукции;
- повышение скороспелости, плодовитости, продуктивности;
- проявление более широких возможностей приспособления к смене условий и новым элементам технологии.

Вопросы для самоподготовки:

1. Понятие о виде, популяции и чистой линии. Методы изучения популяций.
2. Эффективность отбора в популяции и чистой линии.
3. Генетическая структура свободно размножающейся популяции. Закон Харди-Вайнберга.
4. Закон стабилизирующего скрещивания Пирсона.
5. Основные свойства популяции. Основные факторы генетической эволюции в популяциях.
6. Влияние на изменение структуры популяции различного вида скрещиваний: поглотительного, воспроизводительного, промышленного.
7. Понятие об инбридинге. Влияние инбридинга на генетическую структуру популяции.
8. Методы оценки инбридинга по А. Шапоружу-Пушу и С. Райту-Д.А. Кисловскому.
9. Инбредная депрессия, как следствие родственных спариваний.
10. Возникновение гетерозиса при промышленном скрещивании как результат высокой гетерозиготности.

2.12. ГЕНЕТИКА АНОМАЛИЙ И БОЛЕЗНЕЙ, ПОВЫШЕНИЕ НАСЛЕДСТВЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЖИВОТНЫХ К БОЛЕЗНЯМ

Содержание учебного материала

Аномалии и их типы: генетические, наследственно-средовые, экзогенные (средовые). Определение типа наследования аномалий: аутосомно-рецессивный, аутосомно-доминантный, сцепленный с полом. Примеры распространения аномалий в популяциях животных разных видов. Учет и регистрация врожденных аномалий.

Понятие о наследственной устойчивости животных к заболеваниям и методы ее изучения. Наследственная устойчивость к различным возбудителям заболеваний и факторам среды. Методы повышения наследственной устойчивости животных к болезням: генеалогический, селекционный, межпородного скрещивания.

Методические рекомендации. Основные понятия

Генетическая аномалия – наследственно обусловленное, нежелательное с точки зрения здоровья популяции и племенного использования отклонение от нормы.

По степени влияния на жизнеспособность наследственные дефекты подразделяются на: летальные, полuletальные и субвитаальные. Летальными, или смертоносными, факторами называют такие, которые вызывают смерть 100 % аномальных особей до стадии половой зрелости. К полuletальным (сублетальным) факторам относятся такие мутации, при которых погибает не менее 50 % особей с летальными задатками. Если частота смертности аномальных особей ниже 50 %, такие факторы называются субвитаальными.

Стойкое отклонение организма или его частей от нормального анатомического строения, возникающее в процессе развития, называется уродством. Наука, изучающая уродства, называется тератологией (греч. *teratos* – чудовище).

Вещества и организмы, вызывающие отклонения от нормального развития, называют тератогенами.

В зависимости от соотношения наследственности и среды все формы аномалии разделяют на три группы: генетические, наследственно-средовые и экзогенные.

Генетические аномалии – это нарушения в организме животных, возникающие в результате генных и хромосомных мутаций (гемофилия, атрезия ануса, а также хромосомные болезни и т. д.).

Наследственно-средовые аномалии – это нарушения в организме животных, проявление которых примерно в равной степени зависит от генотипа (эндогенных факторов) и внешней среды (экзогенных факторов) (мастит, туберкулез, лейкоз, язва желудка, болезни сердца и т. д.).

Экзогенные (средовые) аномалии, или пороки развития, возникают в результате действия на организм факторов внешней среды и являются ненаследственными, или экзогенными.

Различают 3 типа наследования аномалий: аутосомно-рецессивный, аутосомно-доминантный и сцепленный с полом.

Аутосомно-рецессивный тип наследования, при котором аномалию обуславливает рецессивный ген, находящийся в аутосоме, поэтому у мужских и женских особей дефект проявляется с одинаковой частотой. Для проявления болезни вредный ген должен быть в гомозиготном состоянии.

Аутосомно-доминантный тип наследования, каждый аномальный потомок обычно имеет хотя бы одного аномального родителя, поскольку ген локализован в аутосоме, то он проявляется в равной степени у особей мужского и женского пола.

Сцепленный с X-хромосомой тип наследования – относится к признакам, гены которых находятся в X-хромосоме. Эти гены могут быть рецессивными и доминантными. Признаки передаются от матери сыну, а от отца – дочери.

У сельскохозяйственных животных выявлено более 130 наследственных аномалий и заболеваний, имеющих генетическое происхождение.

У крупного рогатого скота изучено много врожденных аномалий, из кото-

рых 46 включено в Международный список летальных дефектов под шифром А, основные из которых: ахондроплазия (бульдоговидные телята), бесшерстность телят (летальный исход), отсутствие конечностей, укорочение позвоночника (мёртворождение), общая водянка, анкилоз суставов, смещение зубов (летальный исход), атрезия (отсутствие) ануса, мозговая грыжа, укорочение или отсутствие нижней челюсти, гидроцефалия, врожденные судороги (летальный исход), удлинение срока стельности на 20-90 дней (мёртворождение) и на 80-100 дней (извлечение плода хирургическим путем), дисфункция щитовидной железы (гибель через две недели после рождения), гиперемия кожи и слизистых оболочек, выкидыши. Сцепленные с полом доминантные признаки, имеющие летальный характер, приводят к гибели бычков, отсутствию у них зубов, волосяного покрова, к недоразвитию передней доли гипофиза.

У свиней в международном списке 18 аномалий: мозговая грыжа, отсутствие ануса, недоразвитие ушных раковин, уродство или паралич конечностей, водянка мозга, микседема, выпадение прямой кишки, порфирия – красно-коричневая окраска костей и зубов, гемофилия, желтуха новорожденных.

У овец известно 90 врожденных аномалий, большинство из которых обусловлено моногенным аутосомным рецессивным типом наследования: 5,4 % дефектов мышечно-скелетной системы, 12,7 – пищеварительной, 9,7 – сердечно-сосудистой, 7,1 – мочеполовой, 6 – центральной нервной системы, 3,5 – аномалии связок, 3,2 – брюшной, 1,5 % – эндокринной системы. Хотя частота отдельных дефектов и невысока, однако общий вклад всех аномалий может нанести большой ущерб.

У лошадей 10 аномалий включены в Международный список летальных дефектов. Среди них 3 аномалии скелета, 2 – воспроизводительной системы, 2 – почек и мышц, по одной аномалии кишечника, нервной системы, органов зрения, пупочная грыжа (непроходимости ободочной кишки; дефектов эпителия кожи; искривления грудных конечностей; мозжечковой атаксии (опрокидывание на спину, паралич и гибель на 5-6-й день), отсутствия глазного яблока, грудных конечностей; пупочной грыжи; искривления шеи).

У собак выявлено большое разнообразие заболеваний, затрагивающих различные жизненно важные органы и системы. К числу доминантных патологий относятся катаракта, дисплазия бедра, гемофилия, бесшерстность, лимфоотек, микрофтальмия.

Аномалии у птиц. В Международный список летальных дефектов включено 45 аномалий у кур, 6 – у индеек и 3 – у уток. Наиболее часто встречаются аномалии: неспособность к вылуплению, укорочение верхней части клюва, дефект маховых перьев, уродства позвоночника и таза, уменьшение глазного яблока и гибель сразу после вывода, укорочение и утолщение конечностей, отсутствие нижней челюсти и мозговая грыжа, бескрылость и отсутствие легких, почек и воздушных мешков, карликовость и др.

Резистентность – устойчивость организма к действию физических, химических и биологических агентов, вызывающих патологическое состояние. Это понятие несколько шире, чем иммунитет, хотя их иногда используют как синонимы.

Восприимчивость – предрасположенность организма к действию физических, химических и биологических факторов, приводящих к патологическому состоянию.

Под заболеваемостью понимают частоту заболеваний в популяции, выраженную в процентах. Возбудители болезней обладают патогенностью, т. е. способностью паразитировать в организме животного.

Для повышения устойчивости животных к болезням ветеринарные врачи и селекционеры должны выполнять следующие мероприятия:

- 1) организовать диагностику болезней;
- 2) проводить генеалогический анализ стада и давать комплексную оценку генофонда семейств;
- 3) отбирать молодняк на племя по возможности от матерей, отличающихся устойчивостью к болезням и длительностью продуктивного использования;
- 4) оценивать производителей по устойчивости и восприимчивости потомства к болезням и признакам продуктивности и т.д.;
- 5) получать производителей следующего поколения от высокопродуктивных матерей из семейств, обладающих комплексной устойчивостью, и отцов, оцененных по резистентности потомства;
- 6) применять трансплантацию эмбрионов как один из методов повышения эффективности селекции на устойчивость к болезням;
- 7) включать в селекционные индексы информацию о резистентности животных к болезням;
- 8) применять в комплексе прямой и непрямой отбор;
- 9) проводить комплексную оценку иммунной системы организма, включающую показатели гуморального и клеточного иммунитета и неспецифической резистентности;
- 10) выявлять генетические и биохимические маркеры устойчивости, позволяющие вести селекцию без заражения животных;
- 11) использовать в будущем методы биотехнологии, в том числе генетической и клеточной инженерии, что позволит успешно проводить селекцию на устойчивость к болезням, стрессоустойчивость и длительность продуктивного использования животных.

Вопросы для самоподготовки:

1. Понятие об аномалиях. Классификация аномалий.
2. Типы наследования аномалий. Примеры распространения аномалий в популяциях животных разных видов.
3. Учет и регистрация врожденных аномалий. Методы профилактики распространения аномалий.
4. Понятие о наследственной устойчивости животных к заболеваниям.
5. Методы изучения наследственной резистентности (устойчивости) и восприимчивости к болезням.
6. Наследственная устойчивость к различным возбудителям заболеваний и факторам среды.
7. Методы повышения наследственной устойчивости животных к болезням.

2.13. ГЕНЕТИКА ПОВЕДЕНИЯ И ЕЕ СЕЛЕКЦИОННОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Содержание учебного материала

Генетика поведения и решаемые ею задачи. Генетические основы высшей нервной деятельности и поведения. Типы нервной деятельности и их значение в селекции на стрессоустойчивость и адаптацию к условиям среды. Особенности влияния стрессовых факторов на поведение рыб. Лимитирующие факторы водной среды. Влияние средовых факторов на поведение и адаптацию животных. Влияние domestikации, стабилизирующего отбора и селекции на поведение животных.

Методические рекомендации. Основные понятия

Генетика поведения – это раздел, изучающий наследственность и изменчивость поведенческих признаков. Генетическая обусловленность формы поведения имеет большое значение для животноводства, так как позволяет вести селекцию на создание животных с желательным типом поведения, пригодных для разведения в условиях промышленных комплексов.

Поведение – это сложная биологическая функция организма, которая обеспечивает его связь с окружающей средой и взаимоотношения с особями своего или чужого вида. Поведение животных определяется в значительной степени генотипом и совершенствуется под действием условий среды.

Предметом изучения генетики поведения являются различные поведенческие реакции отдельных особей и групп животных во взаимосвязи с факторами внешней среды. Изучение поведения животных основано на наблюдении за поведением в природных условиях, на проведении эксперимента, на методах этиологии, психологии, биохимии.

Согласно учению И.П. Павлова, существует 4 типа высшей нервной деятельности (ВНД): сильный, слабый, уравновешенный и неуравновешенный. Типы ВНД определяются генами, это заложено в наследственности нервных клеток – нейронов центральной и периферической нервной системы, которые регулируют процессы возбуждения и торможения. Гены отвечают за тип поведения, животные различных генотипов отличаются по поведению.

У молочного скота выделено 4 типа ВНД:

- 1) сильный уравновешенный подвижный;
- 2) сильный уравновешенный инертный;
- 3) сильный неуравновешенный;
- 4) слабый.

В селекционной работе следует использовать животных с уравновешенным подвижным типом ВНД и устранять особей со слабым неуравновешенным типом, а также инертных.

Устойчивость к стрессу передается по наследству. Так, коэффициент наследуемости этого признака составляет по отцу $h^2=0,67$, по матери – $h^2=0,58$. Это указывает на высокую долю влияния генотипа на наследуемость стрессоустойчивости.

Вопросы для самоподготовки:

1. Понятие о генетике поведения. Предмет изучения и основные задачи.
2. Генетические и биохимические основы высшей нервной деятельности и поведения.

3. Типы нервной деятельности и их значение в селекции на стрессоустойчивость и адаптацию к условиям среды.
4. Влияние стрессовых факторов на поведение и адаптацию животных.
5. Влияние domestikации, стабилизирующего отбора и селекции на поведение животных.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Генетика как наука, изучающая роль наследственности и изменчивости.
2. Морфологическое строение хромосом. Кариотип и его видовые особенности.
3. Митотический цикл и его генетическое значение.
4. Мейоз, его стадии и их генетическое значение.
5. Сущность гибринологического метода Менделя. Закон единообразия гибридов первого поколения. Привести схему.
6. Закон расщепления гибридов второго поколения. Привести схему скрещивания.
7. Закон независимого наследования признаков. Привести схему скрещивания.
8. Анализирующее скрещивание. Правило чистоты гамет.
9. Типы доминирования. Привести схему скрещивания при промежуточном наследовании.
10. Летальные гены, их влияние на характер расщепления признаков. Привести схемы наследования.
11. Типы взаимодействия неаллельных генов. Особенности расщепления во втором поколении. Привести одну из схем.
12. Сцепленное наследование признаков. Генетический анализ полного сцепления.
13. Генетический анализ неполного сцепления.
14. Основные положения хромосомной теории наследственности.
15. Детерминация пола и механизм его наследования.
16. Фримартинизм. Его теоретическое и практическое значение.
17. Наследование признаков, сцепленных с полом. Привести схему скрещивания.
18. Доказательство роли ДНК в наследственности. Биологическая роль нуклеиновых кислот.
19. Химический состав, структура ДНК. Репликация ДНК.
20. Строение и типы РНК. Их биологическая роль.
21. Генетический код и его свойства.
22. Синтез белка в клетке. Транскрипция.
23. Синтез белка в клетке. Трансляция.
24. Геномные мутации. Полиплоидия и гетероплоидия.
25. Хромосомные мутации. Причины возникновения.
26. Генные мутации. Причины возникновения.
27. Роль репарирующих систем в мутационном процессе.
28. Мутагены и их классификация. Индуцированный мутагенез.
29. Закон гомологических рядов наследственной изменчивости Н.И. Вавилова.
30. Влияние генов на развитие признаков у эукариот и прокариот.
31. Дифференциальная активность генов на разных этапах онтогенеза.
32. Роль генов материнского организма на разных этапах онтогенеза.
33. Регуляция синтеза белка у прокариот.
34. Влияние среды на развитие признаков. Критические периоды.
35. Структура свободно размножающейся популяции. Закон Харди-Вайнберга.

36. Основные факторы генетической эволюции в популяциях.
37. Наследование групп крови. Значение групп крови для практики.
38. Гемолитическая болезнь молодняка.
39. Генетические аномалии у сельскохозяйственных животных.
40. Типы нервной деятельности и их значение в селекции на стрессоустойчивость и адаптацию к условиям среды.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Генетика: учебно-методическое пособие для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования I степени по специальностям 1-74 03 01 Зоотехния, 1-74 03 03 Промышленное рыбоводство / Д.С. Долина [и др.]. – Горки: БГСХА, 2022. – 212 с.
2. Бакай, А. В. Генетика: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Зоотехния» / А. В. Бакай, И. И. Кочиш, Г. Г. Скрипниченко. – Москва : КолосС, 2006. – 448 с. : табл., ил.
3. Шацкий, А. Д. Генетика с основами биометрии : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Зоотехния» / А. Д. Шацкий, М. А. Шацкий. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 303 с.
4. Петухов, В. Л. Генетика = Genetics : учебник / В. Л. Петухов, О. С. Короткевич, С. Ж. Стамбеков ; Семипалатинский государственный педагогический институт. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск : СемГПИ, 2007. – 628 с. : табл., ил.
5. Генетика. Сборник задач : учебное пособие для студентов обучающихся по специальности 1-74 03 01 «Зоотехния», 1-74 03 03 «Промышленное рыбоводство» и 1-74 03 02 «Ветеринарная медицина» / Д.С. Долина [и др.] – Витебск : ВГАВМ, 2021. – 164 с.

Дополнительная

6. Генетика : учебник для вузов / В. И. Иванов [и др.] ; ред. В. И. Иванов. – Москва : Академкнига, 2006. – 638 с. : ил.
7. Генетика : учебное пособие / А. А. Жученко [и др.]. – Москва : Колос, 2006. – 480 с.
8. Карманова, Е. П. Практикум по генетике : учебное пособие для студентов вузов по специальности «Ветеринария» и «Зоотехния» / Е. П. Карманова, А. Е. Болгов. – Петрозаводск : ПГУ, 2004. – 204 с.
9. Клаг, У. С. Основы генетики : пер. с англ. / У. С. Клаг, А. М. Р. Каммингс ; пер.: А. А. Лушникова, С. М. Мусаткин. – Москва : Техносфера, 2007. – 896 с.: табл.
10. Пухальский, В. А. Введение в генетику : учебное пособие / В. А. Пухальский. – Москва : МСХА, 2007. – 301 с.
11. Сборник задач по генетике : учебно-методическое пособие для студентов факультетов ветеринарной медицины, биотехнологического и заочного обучения по специальностям: «Ветеринарная фармация», «Зоотехния», «Ветеринарная медицина», «Ветеринарная санитария и экспертиза» / А. В. Вишневец [и др.]. – Витебск : ВГАВМ, 2015. – 68 с.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД

Первый нуклеотид кодона	Второй нуклеотид кодона				Третий нуклеотид кодона
	У	Ц	А	Г	
У	УУУ } фенилаланин УУЦ } УУА } лейцин УУГ }	УЦУ } УЦЦ } серин УЦА } УЦГ }	УАУ } тирозин УАЦ } УАА } «стоп» УАГ }	УГУ } цистеин УГЦ } УГА «стоп» УГГ триптофан	У Ц А Г
Ц	ЦУУ } лейцин ЦУЦ } ЦУА } ЦУГ }	ЦЦУ } ЦЦЦ } пролин ЦЦА } ЦЦГ }	ЦАУ } гистидин ЦАЦ } ЦАА } глутамин ЦАГ }	ЦГУ } ЦГЦ } аргинин ЦГА } ЦГГ }	У Ц А Г
А	АУУ } изолейцин АУЦ } АУА } АУГ метионин «начало»	АЦУ } АЦЦ } треонин АЦА } АЦГ }	ААУ } аспарагин ААЦ } ААА } лизин ААГ }	АГУ } серин АГЦ } АГА } аргинин АГГ }	У Ц А Г
Г	ГУУ } ГУЦ } валин ГУА } ГУГ }	ГЦУ } ГЦЦ } аланин ГЦА } ГЦГ }	ГАУ } аспарагиновая кислота ГАЦ } ГАА } глутаминовая кислота ГАГ }	ГГУ } ГГЦ } глицин ГГА } ГГГ }	У Ц А Г

Учебное издание

Вишневец Андрей Васильевич,
Соболева Валентина Федоровна,
Видасова Татьяна Викторовна и др.

ГЕНЕТИКА

Методические указания

Ответственный за выпуск Т. В. Видасова
Технический редактор Е. А. Алисейко
Компьютерный набор Т. В. Видасова
Компьютерная верстка Т. А. Никитенко
Корректор Е. В. Морозова

Подписано в печать 17.01.2024. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 2,65. Тираж 150 экз. Заказ 2446.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной медицины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/ 362 от 13.06.2014.
ЛП №: 02330/470 от 01.10.2014 г.
Ул. 1-я Доватора, 7/11, 210026, г. Витебск.
Тел.: (0212) 48-17-82.
E-mail: rio@vsavm.by
<http://www.vsavm.by>