

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

## ВЕТЕРИНАРНАЯ ГЕНЕТИКА

Учебное пособие  
для практических занятий для студентов  
по специальности 36.05.01 «Ветеринария»

*Владикавказ–2021*

Составитель – **Кадзаева З.А.**

Рецензенты:

*З.Б. Хадарцева*, начальник отдела животноводства и племенного дела Министерства сельского хозяйства и продовольствия РСО–Алания;

*С.В. Булацева*, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биологии Горского ГАУ.

**Кадзаева З.А.** Ветеринарная генетика. / Учебное пособие / З.А. Кадзаева. – Владикавказ: Издательство ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет», 2021, – 128с.

Рассматриваются методы генетического анализа, передачи и воспроизведения генетической информации, особенности сцепленного наследования, генетические процессы в популяциях, имеются разделы: цитологические основы наследственности, закономерности наследования признаков при половом размножении, сцепленное наследование признаков, молекулярные основы наследственности, генетика популяций. Обозначенные в пособии методические установки позволяют систематизировать знания по общей и ветеринарной генетике. Каждая тема снабжена конкретными заданиями для самостоятельной работы, даны методические указания и рекомендованы литературные источники и темы теоретического курса. Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 36.05.01 «Ветеринария», его можно рекомендовать и специалистам, самостоятельно изучающим вопросы генетики. Данное издание подготовлено по дисциплине «Ветеринарная генетика» в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 36.05.01 «Ветеринария», утвержденным приказом Министерства образования и науки РФ от 22 сентября 2017 г. № 974.

Рекомендовано Центральным учебно-методическим советом ФГБОУ ВО Горского ГАУ в качестве учебного пособия для практических занятий (протокол № 5 от 29 января 2021 г.).

## **Введение**

Учебное пособие предназначено для практических занятий по курсу «Ветеринарная генетика». Составлено в соответствии с учебной программой для студентов 2 курса факультета ветеринарной медицины и ветеринарно-санитарной экспертизы (специальность 36.05.01 - «Ветеринария»).

Пособие рассчитано на 28 часов практических занятий. По каждой теме вначале дается объяснение изучаемого материала, методика выполнения индивидуального задания, которое принимается преподавателем после каждого занятия. В связи с этим, по каждому занятию разработано по 15 индивидуальных заданий, перечень которых приведен в данном пособии.

Для лучшего усвоения изучаемого материала студент должен изучить тему соответствующей лекции, которая приводится в конце лабораторного занятия, а также соответствующие литературные источники, список которых дается в учебном пособии.

Примерное распределение времени занятия:

1. Проверка присутствия студентов – 2–3 минуты.
2. Опрос по предыдущей теме – 8–10 минут.
3. Объяснение темы текущего занятия и выполнения задания – 10–15 минут.
4. Работа студентов над выполнением задания – 55–60 минут.
5. Закрепление материала, пояснения и задания для подготовки к следующему занятию – 5–7 минут.

# ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

## ЗАНЯТИЕ 1. Митоз

**Цель занятия:** Ознакомиться с делением клетки, изучить и зарисовать фазы митоза и процессы, происходящие в них.

Клетка представляет собой сложную биологическую систему и является основой строения и жизнедеятельности всех живых организмов. В ней содержится наследственная информация, источником которой является ядро клетки с ее хромосомным аппаратом (рис. 1).

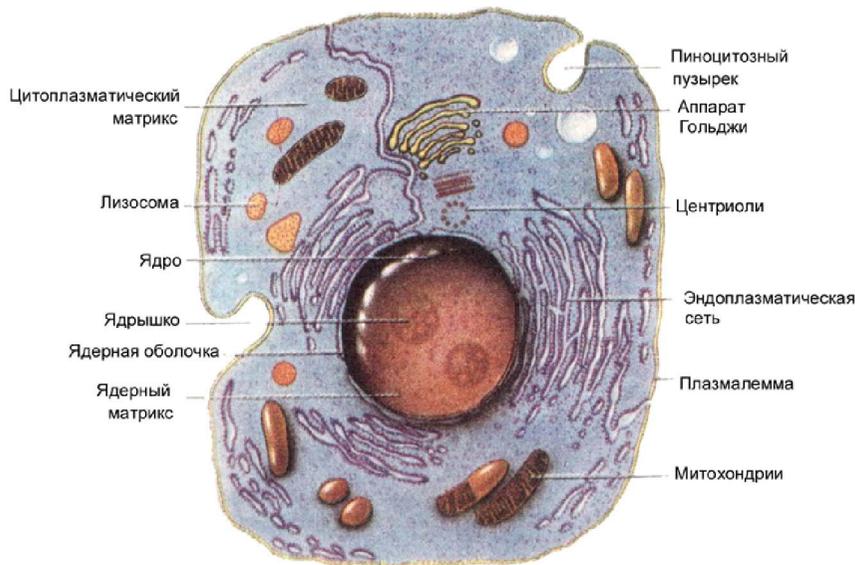


Рис. 1. Строение клетки.

В основе передачи наследственной информации лежит деление клетки. Правильное распределение генетической информации во время деления клетки зависит от поведения хромосом.

Хромосомы - продолговатые нитевидные тельца, состоящие из двух тонких нитей хроматид, соединенных первичной перетяжкой - центромерой. Состоят хромосомы из вещества хроматина, основу которого составляют белки - гистоны и молекула ДНК.

В зависимости от соотношения длин плеча выделяются 3 типа хромосом:

- метацентрические (равноплечие);
- субметацентрические (неравноплечие);
- акроцентрические (одно плечо очень короткое).

Иногда встречаются хромосомы имеющие спутник (рис. 2).

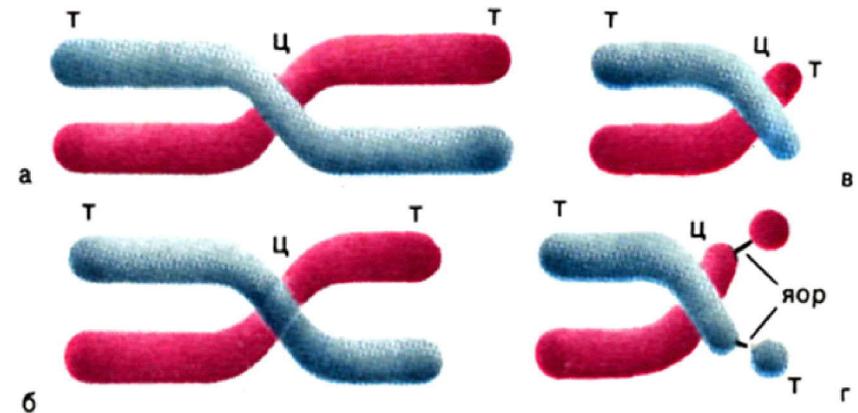


Рис. 2. Типы хромосом:

а - метацентрическая (равноплечая) хромосома; б - субметацентрическая (неравноплечая) хромосома; в - акроцентрическая (неравноплечая) хромосома; г - хромосома, имеющая вторичную перетяжку; т - теломера; ц - центромера; яор - ядрышкообразующий район.

Пара хромосом, одинаковых по размерам, форме и расположению генетического материала называются гомологичными.

Парный набор хромосом называется диплоидным (двойным).

Свойственен соматическим клеткам.

Диплоидный набор хромосом в соматических клетках, типичный для данного вида, называется кариотипом. Кариотип состоит из парного набора аутосом и одной пары половых хромосом, которые определяют пол.

Одинарный набор хромосом называется гаплоидным. Гаплоидный набор имеют половые клетки (гаметы). Совокупность генов в гаплоидном наборе хромосом называется геномом.

Существуют 2 способа деления соматических клеток: amitoz и митоз. Amitoz характеризуется перетяжкой ядра с последующим делением цитоплазмы. В результате чего происходит случайное распределение хромосом между дочерними клетками.

Основной способ деления клеток тела митоз - сложное деление соматических клеток, в процессе которого осуществляется точное распределение наследственной информации между дочерними клетками. Кроме соматических клеток путем митоза образуются также зародышевые клетки и происходит дробление зиготы.

Период от одного деления клетки до другого называется митотическим циклом, который подразделяют на митоз и интерфазу (рис. 3).

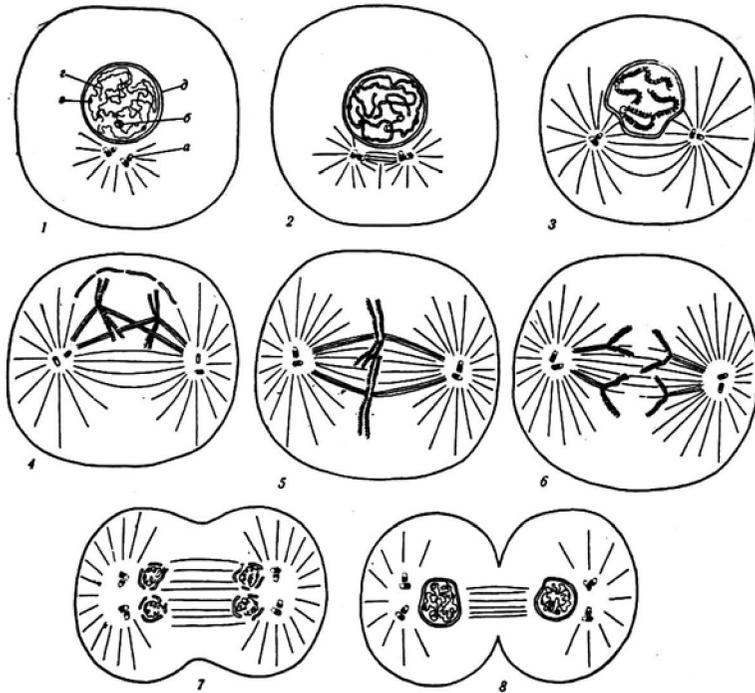


Рис. 3 Митоз:

1 – интерфаза; 2, 3 – профаза; 4, 5 – метафаза; 6, 7 – анафаза; 8 – телофаза.

**Интерфаза.** В этой фазе происходит биохимическая подготовка клетки к делению. Различают в ней 3 периода.

Период  $G_1$ , (предсинтетический) - это стадия роста клетки, образуются нуклеотиды, аминокислоты, ферменты, синтезируются белки, РНК, происходит репликация центросомы (клеточного центра).

Период S (синтетический) наиболее важный период, т.к. происходит синтез молекул ДНК и РНК, их удвоение (репликация) и соответственно удвоение хромосом. Также в этот период синтезируются второй компонент хромосом - белки - гистоны.

Период  $G_2$  (постсинтетический) - в клетке интенсивно накапливается энергия для последующего митоза, синтезируются белки веретена деления, другие белки, РНК. Объем ядра увеличивается. Затем наступает собственно митоз, состоящий из 4 фаз.

**Профаза** - первая фаза митоза. Ядро крупной величины. Хромосомы состоят из двух тонких, продольно закрученных нитей-хроматид, которые постепенно утолщаются и укорачиваются. В поздней профазе усиливается спирализация хроматиновых нитей, в результате чего они приобретают форму и становятся более плотными и короткими. Хроматиды остаются связанными вместе при помощи центромер. Центромеры просматриваются в виде светлых округлых зон. Хромосомы постепенно приближаются к оболочке ядра, ядерная оболочка начинает разрушаться.

Небольшие тельца, находящиеся в цитоплазме - центриоли, образуют клеточный центр. В начале профазы центриоли делятся и отходят в противоположные концы. Между центриолями образуются протоплазматические нити веретена деления. Происходит разрушение ядерной оболочки, ядрышки исчезают. Кариоплазма и цитоплазма смешиваются. Хромосомы движутся к экватору.

**Метафаза.** Хромосомы располагаются в плоскости экватора, образуя метафазную пластинку. При помощи центромер хромосомы связаны с нитями веретена. На стадии метафазы наиболее различимы хромосомы и их особенности (число, форма и строение).

На стадии метафазы заканчивается формирование митотического аппарата. Митотический аппарат состоит из протоплазматических нитей, которые тянутся от одного полюса к другому.

Одни нити связывают оба полюса клетки, другие - связывают полюса клетки с центромерами.

**Анафаза.** Происходит важнейший процесс - распределение генетического материала между дочерними клетками. Центромеры, скрепляющие две хроматиды, делятся, хроматиды разъединяются и движутся к противоположным полюсам клетки. Хроматиды называются хромосомами дочерних клеток. Нити веретена, прикрепленные к центромерам, сокращаются и подтягивают хромосомы к полюсам клетки. В этот момент хромосомы имеют V-образную форму. К каждому полюсу отходит диплоидный набор дочерних хромосом.

**Телофаза.** Хромосомы достигают полюсов. Процессы совершаются в обратном порядке, чем в профазе: появляются ядрышки, ядерная оболочка. Хромосомы удлиняются, приобретают вид тонких нитей, теряют способность окрашиваться. Телофаза завершается делением цитоплазмы цитокинезом. При этом в экваториальной части материнской клетки утолщаются опорные нити веретена и образуется клеточная перегородка (стенка).

В телофазе у различных полюсов клетки собираются хромосомы, деспирализуются (раскручиваются) и становятся менее плотными, а видимые ранее границы между ними постепенно исчезают.

При митозе клетки вступают в деление с диплоидным набором хромосом, образующиеся дочерние клетки также имеют диплоидный набор хромосом.

**Биологический смысл митоза** заключается в точном распределении генетической информации между дочерними клетками.

**Задание 1.** Составить, таблицу по характеристике периодов интерфазы.

Название периода	Основные процессы в клетке

**Задание 2.** Составить таблицу по характеристике фаз митоза.

Название фазы	Изменения в ядре	Поведение хромосом	Митотический аппарат

**Задание 3.** Пользуясь пройденным материалом, а также цифровыми обозначениями периодов интерфазы и фаз митоза, ответить на вопросы согласно индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Понятие хромосомы, хроматиды, центромеры. Гомологичные хромосомы.
2. Какие наборы хромосом называются диплоидными, гаплоидными, каким клеткам они свойственны?
3. Что такое кариотип, из каких хромосом он состоит?
4. Какие клетки делятся митозом?
5. Что такое митоз?
6. Охарактеризуйте интерфазу, её периоды, процессы, происходящие в ней, значение.
7. Перечислите фазы митоза, охарактеризуйте их, какая из них является главной и почему?
8. В какой фазе митоза изучают кариотип и почему?
9. Какие две фазы митоза взаимно противоположны по происходящим в них процессам?
10. В чем заключается генетическое значение митоза?
11. Почему в результате митоза образуются клетки с диплоидными и идентичными наборами хромосом?
12. Что в клетке является носителем наследственной информации?
13. Можно ли сказать, что материнская клетка и образовавшиеся при митозе две дочерние различаются по числу хромосом?

**Литература:** 1, 2, 3, 5, 11.

Тема теоретического курса: «Цитологические основы наследственности».

### ЗАНЯТИЕ 2. Мейоз

**Цель занятия:** Изучить особенности мейоза, распределение генетического материала при I и II делениях.

Образование половых клеток происходит при особом виде деления, называемом мейозом (от греч. мейон – меньше).

Мейоз представляет собой не одно, а два последовательных деления (рис. 4).

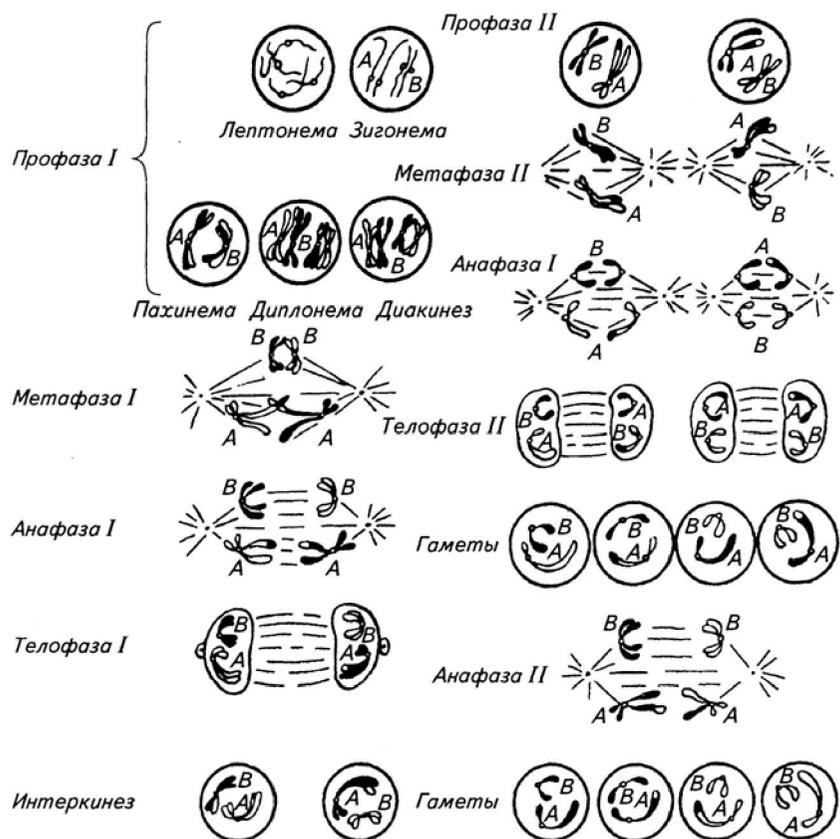


Рис. 4. Фазы мейоза.

В результате первого деления число хромосом в дочерних клетках уменьшается вдвое, поэтому оно называется редуционным (от лат. *редуцере* – уменьшение). Второе деление называется эквационным, т.е. уравнивающим, поскольку в результате его число хромосом в дочерних клетках остается таким же, каким оно было в материнской клетке, вступившей в это деление.

Во время указанных делений, составляющих мейоз, различают те же фазы, какие наблюдаются в митозе.

Фазы, относящиеся к редуционному делению, принято обозначить цифрой I, к эквационному – II. Между I и II делениями клетка находится в состоянии интеркинеза.

**Профаза I.** Это фаза мейоза, в которой происходят сложные структурные преобразования хромосом. Она состоит из ряда последовательных стадий: лептонемы, зигонемы, пахинемы, диплонемы и диакинеза.

В **лептонеме** - хромосомы имеют вид длинных тонких нитей, собранных в ядре рыхлого клубка. Каждая хромосома состоит из двух хроматид. На хромосомах бывают видны хромомеры, число и расположение которых специфичны для каждой хромосомы.

В **зигонеме** - происходит конъюгация, или синапсис (соединение попарно) гомологичных хромосом. Конъюгация обычно начинается с концов и распространяется вдоль гомологичных хромосом, соединяющихся строго идентичными участками.

В **пахинеме** - гомологичные хромосомы, соединенные попарно, образуют биваленты, которые укорачиваются и утолщаются вследствие спирализации. Каждый бивалент состоит из четырех хроматид. В результате спирализации (перекручивания) хромосом в биваленте может происходить кроссинговер – обмен идентичными участками и генами. Это приводит к рекомбинации хроматид, каждая из которых в этом случае будет иметь часть генов от материнской хромосомы, часть – от отцовской.

В **диплонеме** - хромосомы, соединенные в биваленты, начинают отходить одна от другой. Процесс расхождения начинается с отталкивания центромерных участков хромосом. По фигурам бивалентов в диплонеме распознают, произошел ли кроссинговер (т.е. обмен идентичными участками между хроматидами гомологичных хромосом, обуславливающий рекомбинацию генов) и был ли он одинарным или двойным. При этом хромосомы образуют X-образные фигуры, называемые хиазмами. По месту соединения гомологичных хромосом в диплонеме можно установить место кроссинговера.

На стадии **диакинеза** - происходит утолщение и укорочение хромосом в биваленте, продолжается их разъединение. Гомологичные хромосомы остаются соединенными только в одной или нескольких точках.

**Метафаза I.** В этой фазе заканчивается формирование митотического аппарата, исчезают ядерная оболочка и ядрышко, биваленты располагаются в цитоплазме по экватору клетки. Центромеры прикрепляются к тянущим нитям веретена. В отличие от митоза в

метафазе I мейоза центромеры не делятся, каждая хромосома остается в состоянии двух хроматид.

**Анафаза I.** Гомологичные хромосомы начинают расходиться к противоположным полюсам клетки. Вследствие кроссинговера хромосомы не всегда бывают идентичны исходным, вступающим в мейоз.

**Телофаза I.** Хромосомы концентрируются на полюсах клетки и деспирализуются. На полюсах формируются ядра, нити веретена исчезают. На экваторе клетки формируется оболочка (происходит цитокинез), образуется диада клеток. Эти клетки имеют гаплоидные ядра, а количество хромосом в них вдвое меньше, чем в исходной материнской клетке (т.е. гаплоидное).

**Интеркинез.** Это фаза между I и II делениями мейоза, когда клетка находится в состоянии покоя.

**Профаза II.** В ядрах клеток диады четко проявляются хромосомы, каждая из которых состоит из двух хроматид, соединенных центромерой. Они имеют вид довольно тонких нитей, расположенных по периферии ядра.

**Метафаза II.** В каждой клетке диады заканчивается формирование веретена деления. Хромосомы располагаются по экватору, к их центромерам прикрепляются тянущие нити веретена.

**Анафаза II.** Центромеры делятся, и хроматиды расходятся к противоположным полюсам клетки.

**Телофаза II.** Хроматиды концентрируются на полюсах клеток и деспирализуются. В каждой клетке формируются ядро, ядрышко и клеточная оболочка. Обычно все фазы II деления протекают одновременно в обеих клетках диады. Заканчивается мейоз образованием из каждой клетки четырех клеток с гаплоидным набором хромосом.

Таким образом, клетки в мейоз вступают с диплоидным набором хромосом и в результате мейоза образуются половые клетки с гаплоидным числом хромосом.

**Генетическое значение мейоза состоит в следующем:**

1. Уменьшение числа хромосом вдвое. В образующихся после мейоза клетках содержится гаплоидный набор хромосом, поэтому они называются гаметам. В процессе оплодотворения в зиготе восстанавливается диплоидный набор хромосом.

2. Свободное комбинирование хромосом. При мейозе негомолгичные хромосомы, полученные от разных родителей, свободно и независимо комбинируются в образующихся в данном организме гаметах, в результате чего при оплодотворении возникают новые комбинации признаков у потомства.

3. Возникновение новых типов хромосом. В результате кроссинговера происходит рекомбинация генетического материала в хромосомах, что служит причиной генетического разнообразия гамет.

**Задание 1.** Составить таблицу по характеристике делений и фаз мейоза.

Название			Поведение хромосом	Митотический аппарат	Другие особенности

**Задание 2.** Пользуясь цифровыми обозначениями фаз мейоза, ответить на вопросы согласно индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Какие клетки образуются при мейозе?
2. Как называются деления мейоза и чем они характеризуются?
3. В чем сходство и различие редукционного и эквационного деления мейоза?
4. Фазы первого и второго делений мейоза, их основные особенности.
5. Из каких стадий состоит профазы первого деления мейоза? Что происходит с хромосомами во время каждой стадии профазы первого деления?
6. Что такое конъюгация хромосом, биваленты?
7. Что такое кроссинговер, в какой стадии он происходит и к чему ведет?
8. Различия между метафазой I и метафазой II мейоза?
9. Различия между анафазой I и анафазой II мейоза?
10. В чем заключается генетическое значение мейоза?

11. Можно ли сказать, что исходная и образовавшиеся в результате мейоза клетки различаются только по числу хромосом?
12. В чем сходство и различие митоза и мейоза?

**Литература:** 1, 2, 3, 5, 11.

Тема теоретического курса: «Цитологические основы наследственности».

### ЗАНЯТИЕ 3. Гаметогенез

**Цель занятия:** Изучить особенности оогенеза и сперматогенеза. Зарисовать схему.

Процесс развития и образования половых клеток называется гаметогенезом.

У животных в онтогенезе рано обособляются зачатковые клетки, которые впоследствии дают начало половым железам и половым клеткам. Зачатковые клетки делятся митозом и образуют гонии. Сначала они одинаковы у особей разных полов, затем дифференцируются у самцов в сперматогонии, у самок – в оогонии. Дальнейший процесс их формирования идет по-разному.

Процесс развития и образования мужских половых клеток (сперматозоидов) называется сперматогенезом, а женских (яйцеклеток) – оогенезом. Процесс сперматогенеза проходит в семенниках, а оогенеза в яичниках.

В процессе сперматогенеза клетки проходят четыре фазы (периода) (рис.5): размножение, рост, созревание, формирование. Сперматогонии делятся митозом с сохранением диплоидного числа хромосом (фаза размножения). Затем деление прекращается, клетка растет и готовится к мейозу. В это время она называется сперматоцит I (первого порядка). Сперматоцит I вступает в фазу созревания и претерпевает мейоз. В результате первого мейотического деления (оно называется у животных первое деление созревания и у большинства бывает редукционным) образуются две гаплоидные клетки, их называют сперматоцитами II (второго порядка). Они делятся еще раз (второе деление созревания, эквационное, уравнивающее) и образуют так называемые сперматиды.

Таким образом, из одного сперматогония образуются четыре спер-

матиды, которые вступают в фазу формирования сперматозоида, т.е. зрелой мужской половой клетки.

В оогенезе клетка проходит три фазы; размножения, роста и созревания.

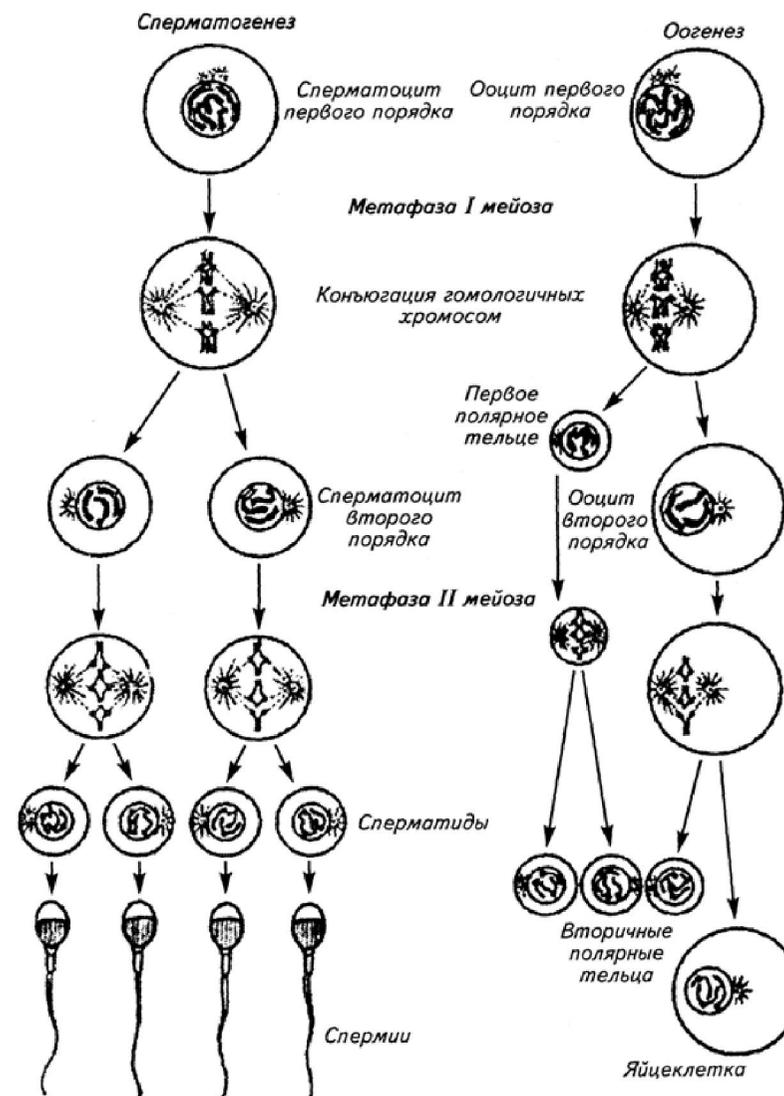


Рис. 5. Схема гаметогенеза.

После прекращения делений ооцит I (диплоидная клетка) в отличие от сперматоцита I проходит более выраженную стадию роста. В это время в цитоплазме ооцитов откладывается запас питательных веществ, необходимых для развития зародыша, вследствие чего ооциты приобретают очень большие размеры (например, желток куриного яйца).

После этого ооцит I вступает в мейоз, так же как и сперматоцит I. В результате первого деления созревания образуются две гаплоидные клетки, но резко отличающиеся друг от друга. Одна крупная сохраняет весь запас питательных веществ, называется ооцит II, другая, значительно меньшая, неполноценная, представляет собой выделившееся под оболочку первой клетки ядро. Её называют редукционным тельце (или полярное, или направительное тельце, или оотида). Она дегенерирует. Иногда перед дегенерацией редукционное тельце успевает разделиться еще раз, образуя два редукционных тельца, но судьба их всегда одинакова – они гибнут. Ооцит II делится (второе деление созревания) и образует опять две неравноценные клетки: одна - зрелая яйцеклетка, имеющая гаплоидный набор хромосом и несущая весь запас питательных веществ, другая – второе направительное тельце. Таким образом, в отличие от сперматогенеза, в оогенезе из одной оогонии образуется только одна функционирующая яйцеклетка, остальные три гибнут.

**Задание.** Ответить на вопросы согласно индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Что такое гаметогенез, сперматогенез, оогенез?
2. Каковы особенности сперматогенеза?
3. Сколько зрелых сперматозоидов образуется из одного сперматоцита первого порядка?
4. Какие фазы (периоды) клетка проходит в процессе сперматогенеза?
5. Как называется первое и второе деление фазы созревания сперматогенеза?
6. Перечислите особенности оогенеза.
7. В чем заключается сходство и различие между сперматогенезом и оогенезом?

8. Сколько овоцитов первого порядка участвовали в образовании 300 яйцеклеток?

9. Сколько зрелых сперматозоидов образуется из 200 сперматоцитов первого порядка?

**Литература:** 1, 2, 3, 5, 11.

Тема теоретического курса: «Цитологические основы наследственности».

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ ПРИ ПОЛОВОМ РАЗМНОЖЕНИИ

### ЗАНЯТИЕ 4. Наследование признаков при моногибридном скрещивании

**Цель занятия:** Изучить основные понятия и символику в генетике, характер наследования признаков при моногибридном скрещивании, в частности 1-ый и 2-ой законы Г. Менделя.

Основной метод изучения закономерностей наследования признаков – гибридологический или метод скрещивания, разработанный Грегором Менделем в 1865 г.

Скрещивание обозначают знаком умножения (x). Родительские организмы обозначают латинской буквой P. При написании схемы скрещивания на первое место ставят материнский организм, а на второе – отцовский. Женский пол обозначают знаком ♀ (зеркало Венеры), мужской ♂ (щит и копье Марса). Рядом со знаками записывают их генотипы.

Организмы, полученные от скрещивания родительских форм, различающихся по определенным признакам, называют гибридами и обозначают латинской буквой F с цифровым индексом, соответствующим порядковому номеру гибридного поколения (F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> и т. д.).

Скрещивание особей, различающихся по одной паре альтернативных (контрастных) признаков, называется моногибридным. Проявление признака одного из гомозиготных родителей у гибридов F<sub>1</sub> при скрещивании называется доминированием, а признак – доминантным. Обозначаются доминантные признаки большими буквами – А, В, С и т.д.

Признак одного из родителей, который в первом поколении (F<sub>1</sub>) не проявился (остался в скрытом состоянии), называется рецессивным. Обозначаются рецессивные признаки маленькими буквами – а, в, с и т.д.

Гены, локализованные в идентичных участках (локусах) гомологичных хромосом и обуславливающие альтернативные признаки, называются аллельными. Они обозначаются одноименными буквами

латинского алфавита. В мейозе гомологичные хромосомы расходятся в дочерние клетки, и каждая гамета содержит один аллель – А или а.

Гаметы принято обозначать кружочками, внутрь которого вписывают соответствующий аллель – (А) или (а).

Совокупность наследственных факторов, т.е. генов данного организма называется генотипом.

Комплекс свойств и признаков организма, которые поддаются наблюдению и измерению, называют фенотипом.

По генотипу организмы подразделяются на гомо- и гетерозиготные. Особи, имеющие одинаковые гены аллельной пары, полученные от матери и отца называются гомозиготными (АА, аа).

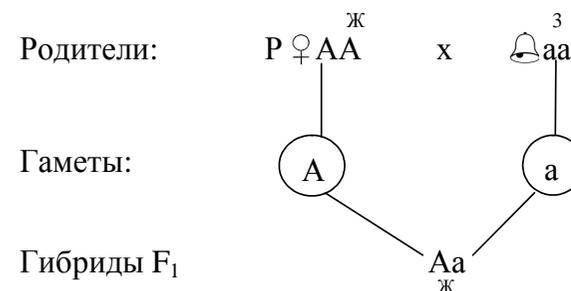
Особи, имеющие разные гены аллельной пары (Аа), - гетерозиготными.

Гомозиготные организмы дают один сорт гамет ((А) или (а)), гетерозиготные - 2 сорта гамет ((А) и (а)).

В опытах Менделя из пары альтернативных признаков родителей в F<sub>1</sub> проявлялся только один (доминантный). На основе этого был сформулирован 1-й закон доминирования или закон единообразия гибридов первого поколения, согласно которому при скрещивании гомозиготных организмов, отличающихся друг от друга одной парой признаков, все первое поколение гибридов фенотипически и генотипически единообразно.

Схема 1-го закона Менделя

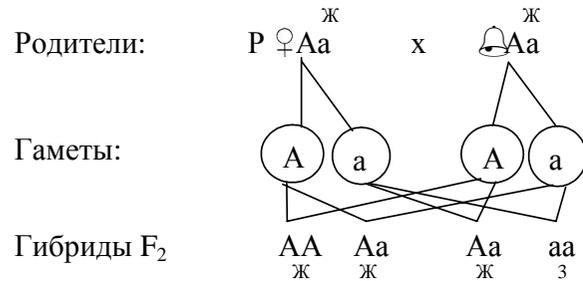
А – желтые семена, а – зеленые семена



При скрещивании особей F<sub>1</sub> между собой во втором поколении появились гибриды с признаками обеих исходных форм. Это явление было названо расщеплением, а выведенный на его основе 2-й закон -

законом расщепления признаков во втором поколении. Согласно этому закону, при скрещивании гетерозиготных особей первого поколения между собой во втором поколении наблюдается расщепление признаков в соотношении 3 : 1 по фенотипу и 1 : 2 : 1 по генотипу.

Схема 2-го закона Менделя



Расщепление по фенотипу 3 желтых: 1 зеленый по генотипу 1 AA: 2 Aa: 1 aa

Пример решения задачи по моногибридному скрещиванию:

Какое будет потомство в первом поколении (F<sub>1</sub>) от скрещивания коричневой норки с голубовато-серым самцом, если известно, что коричневая окраска доминирует, а исходные особи гомозиготные? Какое потомство получится при скрещивании гибридов F<sub>1</sub> между собой?

Решение задачи:

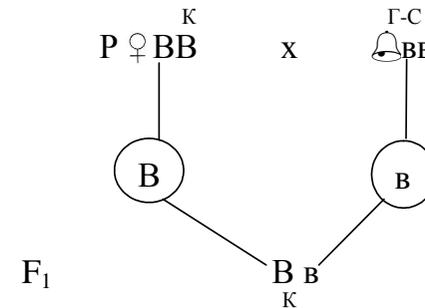
Выбираем буквенные символы для обозначения признаков:

Ген – признак;

В – коричневая окраска шерсти;

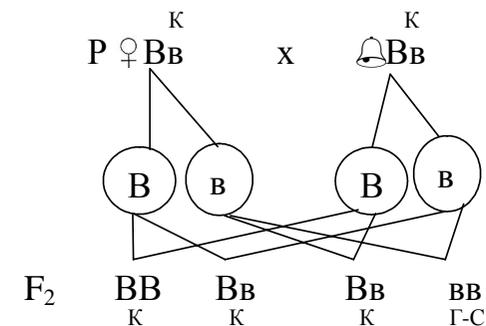
в – голубовато-серая.

По условию задачи исходные особи гомозиготные, следовательно, генотипы их будут ВВ - коричневые и вв - голубовато-серые. Гомозиготные особи образуют один сорт гамет. В данном случае у самки гаметы только типа (В), у самца - (в). При слиянии таких гамет образуется гибридная особь с генотипом Вв с коричневой окраской шерсти в силу доминирования гена В. Схематически это выглядит следующим образом :



Следовательно, гибриды F<sub>1</sub> по фенотипу все коричневые, по генотипу гетерозиготные.

Далее проводится скрещивание гибридов первого поколения между собой. Каждая гибридная особь дает по два сорта гамет (В) и (в). При оплодотворении каждой материнской гаметы каждой отцовской в F<sub>2</sub> получается расщепление (по схеме):



по фенотипу: 3 кор. : 1 гол.-сер.

по генотипу: 1 ВВ: 2 Вв: 1 вв

Таким образом, в F<sub>2</sub> получается расщепление по фенотипу в отношении: 3 части особей с коричневой окраской меха и одна часть с голубовато-серой; по генотипу: одна часть гомозиготы по доминантному гену ВВ, две части гетерозиготы Вв и одна часть гомозиготы по рецессивному гену вв.

**Задание.** Решить задачи по моногибридному скрещиванию и ответить на вопросы по индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Какое скрещивание называется моногибридным?
2. Какие признаки называются доминантными, рецессивными?
3. Дайте определения следующих понятий: фенотип, генотип, гетерозиготная особь, гомозиготная особь.
4. Как называется первый закон Г. Менделя? Сформулируйте и запишите его схему.
5. Как называется второй закон Г. Менделя? Сформулируйте и запишите его схему.
6. Чем можно объяснить единообразие гибридов первого поколения?
7. Почему в  $F_2$  наблюдается расщепление в потомстве, хотя оба родителя по фенотипу и генотипу одинаковы?

**Литература:** 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10.

Тема теоретического курса: «Закономерности наследования признаков при половом размножении».

### ЗАНЯТИЕ 5. Наследование признаков при неполном доминировании и действии летальных генов

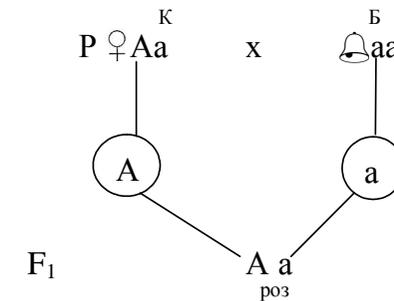
**Цель занятия:** Изучить наследование признаков при неполном доминировании и действии летальных генов и наблюдаемые при этом отклонения от законов Менделя.

Первый и второй законы Г. Менделя проявляют действие при полном доминировании, которое отражает преобладание одного аллеля над другим внутри одной пары аллелей (A над a). Характеризуется тем, что исходная родительская гомозигота по доминантному признаку AA и гетерозигота - Aa одинаковы по фенотипу.

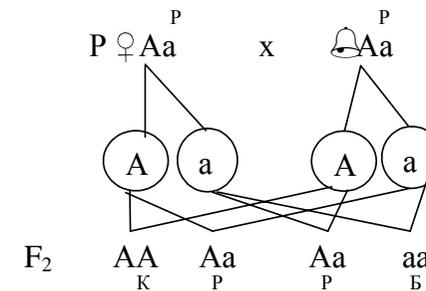
Однако в ряде случаев имеет место неполное доминирование или промежуточное наследование. При этом потомки по степени выраженности признака не похожи ни на одного из родителей, а занимают как бы промежуточное положение между ними.

Так, при скрещивании красноцветковых и белоцветковых растений ночной красавицы в  $F_1$  все растения приобретают промежуточную розовую окраску цветов; при скрещивании безухих овец с длинноухими баранами в  $F_1$  получают только короткоухих потомков.

A – красные цветы; a – белые



При скрещивании гибридов  $F_1$  между собой в  $F_2$  наблюдается отклонение от 2-го закона Менделя.



по фенотипу I кр: 2 роз : I бел.

по генотипу I AA: 2 Aa: I aa

Отклонение в характере расщепления по фенотипу появляется в результате того, что гетерозигота  $F_1$  – Aa по фенотипу отличается от исходной родительской формы по доминантному признаку AA.

Таким образом, при неполном доминировании признаков гибриды по фенотипу занимают промежуточное положение между исходными родительскими формами. При этом, в  $F_2$ , наблюдается отклонение от 2-го закона Менделя в характере расщепления по фенотипу, и число фенотипических классов совпадает с генотипическими в соотношении 1 : 2 : 1.

Наряду с действием одного гена на один признак, установлено такое явление, когда один ген оказывает действие на ряд признаков. Это явление получило название плейотропии (множественного действия).

Так, ген, вызывающий у человека рыжую окраску волос, одновременно определяет появление веснушек, более светлой окраски кожи и неспособность к загару.

У всех животных-альбиносов ген, контролирующий появление белой шерсти, одновременно вызывает депигментацию радужной оболочки глаз и некоторое снижение жизнеспособности.

Некоторые плейотропные гены вызывают также глубокие нарушения в развитии различных органов и приводят к гибели организма. Эти гены получили название летальных. Проявляют свое действие в гомозиготном состоянии (доминантном или рецессивном). При действии доминантных летальных генов в  $F_2$  наблюдается расщепление в соотношении 2 : 1 и по фенотипу и по генотипу, т.к. 1 часть особей, гомозиготных по наличию летального гена, погибает. Если летальный ген проявляет свое действие в рецессивном состоянии, то расщепления не происходит и все потомство обладает нормальным доминантным признаком.

Решение задач по неполному доминированию проводится аналогично предыдущим, но принимаются во внимание особенности фенотипического проявления признаков у гомозигот и гетерозигот.

**Задача.** У тонкорунных овец встречаются особи безухие (корноухие), с укороченными ушами и нормально развитой ушной раковиной (длинноухие). Причем от скрещивания гомозиготных длинноухих с безухими рождаются особи с укороченными ушами (средними между родителями), а при разведении гибридов первого поколения «в себе» происходит расщепление потомства по фенотипу в соотношении: 1 длинноухое: 2 короткоухих: 1 безухое.

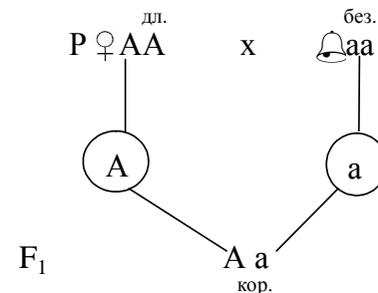
Как наследуется этот признак, проследим по схемам;

Ген – признак;

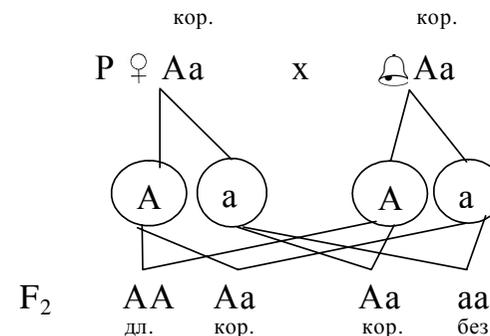
A – длинные уши;

a – безухие.

Запишем генотипы родителей, участвующих в скрещивании: гомозиготные длинноухие - AA, безухие - aa. Каждый из родителей дает по одному сорту гамет, при оплодотворении образуются гибриды первого поколения Aa, имеющие короткую ушную раковину. Как видно, гибриды первого поколения по фенотипу занимают среднее (промежуточное) положение между исходными родительскими формами, следовательно, в данном случае речь идет о неполном доминировании признака.



При скрещивании гетерозиготных гибридов первого поколения между собой (с короткими ушами) во втором поколении получается следующее расщепление:



по генотипу: 1 AA : 2 Aa : 1 aa

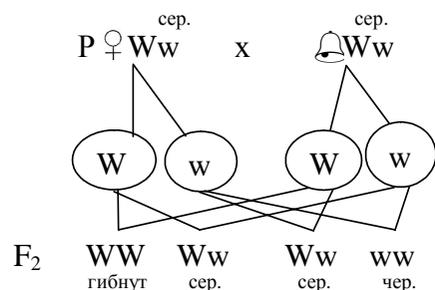
по фенотипу: 1 длиноух. : 2 корот. : 1 безух.

Особенностью решения задач по плейотропному действию генов является то, что один ген может влиять на два или несколько признаков, что необходимо учитывать при определении фенотипа особей. Так как большинство летальных генов являются плейотропными, рассмотрим решение задачи по их действию.

**Задача.** У каракульских овец ген серой окраски смущка (W) доминирует над черным (w). Причем ген W обладает плейотропным действием, и в гомозиготном состоянии (WW) вызывает гибель ягнят. Гетерозиготы (Ww) вполне жизнеспособны. Какое получится расщепление в потомстве при скрещивании между собой серых особей, серых особей с черными?

Ген – признак;  
 W – серый смушек;  
 w – черный смушек.

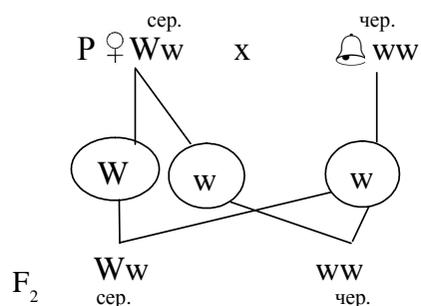
В силу плейотропного действия гена W и гибели гомозигот WW, серые овцы могут иметь только гетерозиготный генотип – Ww.



по фенотипу: 2 сер.: 1 чер.  
 по генотипу: 2Ww : 1 ww

Как видно, одна часть потомства (25%), имеющая генотип WW, погибает.

Скращивание серых овец с черными



по фенотипу: 1 сер.: 1 чер.  
 по генотипу: 1Ww : 1 ww

**Задание.** Ответить на вопросы и решить задачи по наследованию признаков при неполном доминировании и действии летальных генов.

### Контрольные вопросы

1. В чем различие между явлениями полного и неполного доминирования?
2. В чем суть неполного доминирования признаков?
3. Приведите примеры неполного доминирования признаков. Как оно влияет на проявление законов Г. Менделя?
4. В чем суть плейотропного действия генов? Приведите пример.
5. Какие гены называются летальными?
6. В каком состоянии или генотипе проявляют действие летальные гены?
7. Как влияют летальные гены на расщепление признаков в соответствии со вторым законом Г. Менделя?

**Литература:** 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10.

Тема теоретического курса: «Закономерности наследования признаков при половом размножении».

### ЗАНЯТИЕ 6. Наследование признаков при дигибридном скрещивании

**Цель занятия:** Изучить характер наследования признаков при дигибридном скрещивании, проанализировать сочетание признаков у гибридов F<sub>2</sub>.

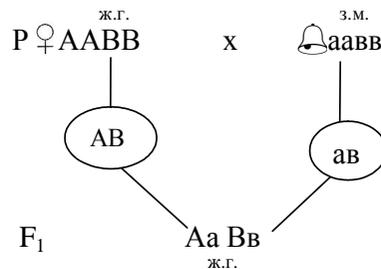
Дигибридным называется такое скрещивание, при котором родительские формы отличаются друг от друга по двум парам альтернативных признаков. Дигибридное скрещивание - простейший тип полигибридного скрещивания, когда родительские особи различаются по нескольким парам альтернативных независимо наследуемых признаков. Г. Мендель использовал для дигибридного скрещивания растения гороха, различающиеся по двум парам признаков, например, по окраске и форме семян. Он установил, что при таком скрещивании наследование каждой пары альтернативных признаков в отдельности происходит так же, как и при моногибридном скрещивании и имеет место в F<sub>2</sub> расщепление в соотношении 3 : 1, т.е. наследование одной пары признаков происходит независимо от другой. Если учитывать сочетания этих признаков, то они образуют 4 фенотипичес-

ких класса в различных комбинациях. Это явление позволило Г. Менделю установить третий закон, получивший название независимого наследования признаков. Суть его в том, что разные пары признаков, гены которых находятся в негомологичных хромосомах, наследуются независимо друг от друга, давая все возможные сочетания. В основе этого закона лежит случайное расхождение хромосом в дочерние клетки в анафазе I мейоза.

Явление независимого наследования признаков имеет важное значение для селекции, так как в процессе гибридизации можно получить гибриды, наиболее полно сочетающие хозяйственно ценные признаки исходных родительских форм.

Исходные родительские формы в опытах Г. Менделя имели желтую окраску (А) и гладкую поверхность (В), и зеленую окраску (а) и морщинистую поверхность (в) горошин.

Генотипы родителей и схема скрещивания получения гибридов F<sub>1</sub>



Все гибриды F<sub>1</sub> одинаковы по фенотипу и генотипу (1 закон Г. Менделя).

Для получения гибридов второго поколения скрещивались родительские особи из числа гибридов первого поколения:



В силу свободного комбинирования хромосом в мейозе дигетерозиготный организм образует 4 сорта гамет:



При дигибридном и полигибридном скрещиваниях теоретически ожидаемый характер расщепления во втором поколении определяют при помощи решетки Пеннета. В верхнем горизонтальном ряду решетки выписывают женские гаметы, в левой вертикальной графе – мужские. В клетках на пересечении вертикальных и горизонтальных линий – соответствующие генотипы гибридов F<sub>2</sub>. Для удобства вначале записывают букву А или а, при этом две буквы А или а вместе, В и в – вместе. Затем определяют расщепление по фенотипу и генотипу.

F<sub>2</sub>

♀ \ ♂	AV	Av	aV	av
AV	ж.г. AABB	ж.г. AABv	ж.г. AaBB	ж.г. AaVv
Av	ж.г. AABv	ж.м. AAvv	ж.г. AaVv	ж.м. Aavv
aV	ж.г. AaBB	ж.г. AaVv	з.г. aaBB	з.г. aaVv
av	ж.г. AaVv	ж.м. Aavv	з.г. aaVv	з.м. aavv

В результате оплодотворения получено 16 сортов зигот, распределившихся на 9 генотипических классов.

По фенотипу расщепление получается на 4 фенотипических класса в соотношении 9 желтых гладких: 3 желтых морщинистых: 3 зеленых гладких: 1 зеленый морщинистый.

Если проанализировать расщепление по фенотипу по каждому признаку отдельно, то расщепление будет составлять :

по цвету - 12 желтых: 4 зеленых = 3 : 1

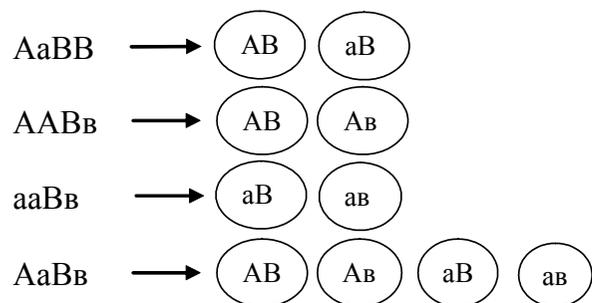
по форме - 12 гладких: 4 морщинистых - 3 : 1.

Среди желтых отношение гладких к морщинистым 9 : 3 = 3 : 1.

Среди зеленых - 3 гл. : 1 м.

Таким образом, частота сочетаний одинакова, но сами сочетания признаков различны, т.е. признаки наследуются независимо друг от друга в силу свободного комбинирования хромосом в мейозе.

Решение задач по дигибриднему скрещиванию усложняется в связи с тем, что анализу подвергаются две пары признаков. При этом надо пользоваться решеткой Пеннета и уметь анализировать гаметы гетерозиготных особей:

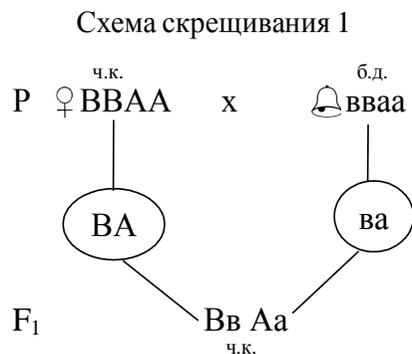


**Задача.** Черная масть кроликов (В) доминирует над белой (в), а короткая шерсть (А) над длинной (а). Определите какое потомство ожидается при спаривании:

- 1). Белого длинношерстного кролика, с черной короткошерстной гомозиготной самкой?
- 2). Двух гетерозиготных черных короткошерстных особей?

Ген – признак  
 В – черная масть;  
 в – белая масть;  
 А – короткая шерсть;  
 а – длинная шерсть.

Запишем генотипы родителей участвующих в скрещивании: черная короткошерстная гомозиготная самка - ВВАА, белый длинношерстный кролик – вваа.

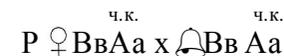


Каждый из родителей дает по одному сорту гамет, так как они гомозиготны.

Гибриды F<sub>1</sub> по генотипу гетерозиготны, по фенотипу единообразны с обоими доминантными признаками.

По второму вопросу задачи скрещиваются два гетерозиготных черных короткошерстных родителя, генотипы их будут ВвАа.

Схема скрещивания 2



Каждый из родителей дает по четыре сорта гамет, т.к. они гетерозиготны по обоим парам генов:



Вспользуемся решеткой Пеннета, в которой по горизонтали запишем сорта материнских гамет, а по вертикали - сорта отцовских гамет. Каждая материнская гамета имеет возможность оплодотвориться каждой отцовской. Поэтому на пересечении в каждой клетке решетки Пеннета запишем полученные генотипы и фенотипы:

F<sub>2</sub>

♀ ♂	В А	В в	в А	в а
В А	чк В В А А	чк В В А а	чк В в А А	чк В в А а
В а	чк В В А а	чд В В а а	чк В в А а	чд В в а а
в А	чк В в А А	чк В в А а	бк в в А А	бк в в А а
в а	чк В в А а	чд В в а а	бк в в А а	бд в в а а

Расщепление по фенотипу в F<sub>2</sub> будет:

- 9 черных короткошерстных
- 3 черных длинношерстных
- 3 белых короткошерстных
- 1 белый длинношерстный.

Таким образом, по фенотипу в F<sub>2</sub> образуется четыре класса в отношении: 9 : 3 : 3 : 1.

По генотипу в  $F_2$  наблюдается расщепление на 9 классов:  
 1 ВВАА : 2 ВВАа : 2 ВвАА : 1 ВВаа : 4 ВвАа : 2 Вваа : 1 ввАА :  
 : 2 ввАа : 1 вваа.

**Задание.** Ответить на вопросы и решить задачу по наследованию признаков при дигибридном скрещивании согласно индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Какое скрещивание называется дигибридным? Приведите пример.
2. Наследуются ли признаки в соответствии с 1 и 2 законом Г. Менделя при дигибридном скрещивании?
3. Напишите схемы получения гибридов  $F_1$  и  $F_2$  при дигибридном скрещивании.
4. В чем суть третьего закона Г. Менделя – закона независимого наследования признаков?
5. Какое расщепление по фенотипу и генотипу получается в  $F_2$  при дигибридном скрещивании? Что лежит в основе этого расщепления?

**Литература:** 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10.

Тема теоретического курса: «Закономерности наследования признаков при половом размножении».

## ЗАНЯТИЕ 7. Анализирующее скрещивание

**Цель занятия.** Изучить сущность анализирующего скрещивания, научиться определять генотипы родителей по фенотипу их потомства.

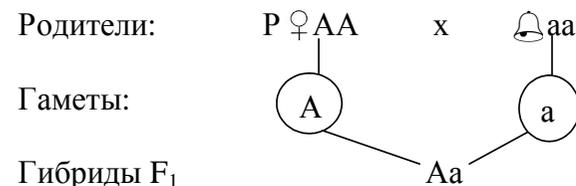
Одним из методов гибридологического анализа является анализирующее скрещивание.

При полном доминировании признака по фенотипу не ясно, гомозиготная (АА) или гетерозиготная (Аа) особь по генам А и а, обуславливающим этот признак.

Но при селекции важно знать, будет ли ценная особь давать однородное потомство в своем типе или потомки проявят расщепление по данному признаку, т.е. будет наблюдаться разнообразие.

Способ такого анализа фактически предложен Г. Менделем и получил в дальнейшем название возвратного анализирующего скрещивания. Возвратное скрещивание – это скрещивание гибрида первого поколения (Аа) с особями, сходными по генотипу с родительскими гомозиготами (АА, аа).

При моногибридном скрещивании гибрид  $F_1$  получается согласно следующей схеме:



В соответствии, с этим возвратное скрещивание имеет 2 варианта:

1.  $P \quad \text{♀ Aa} \quad \times \quad \text{♂ AA}$

2.  $P \quad \text{♀ Aa} \quad \times \quad \text{♂ aa}$

Возвратное скрещивание гибрида  $F_1$  с особью, сходной по генотипу с родительской гомозиготой по рецессивному признаку, называется анализирующим (2-й вариант возвратного скрещивания).

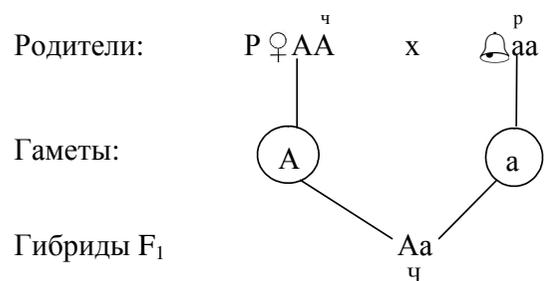
Применяется такое скрещивание для анализа генотипа. По расщеплению по фенотипу в потомстве делают вывод о генотипе родителей. В случае, если испытываемая особь была гомозиготна, ее потомство от анализирующего скрещивания окажется фенотипически однородным ( $AA \times aa \rightarrow Aa$ ).

Если же анализируемая особь была гетерозиготна, то среди ее потомства будут особи с доминантным и рецессивным признаком в соотношении 1 : 1 ( $Aa \times aa \rightarrow 50\% Aa$  и  $50\% aa$ ).

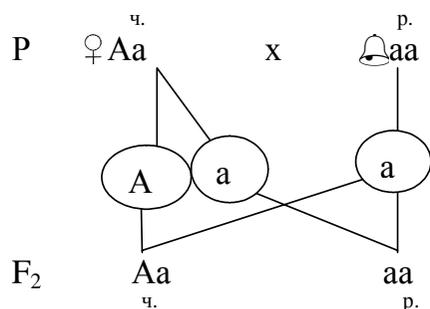
При проверке на гомозиготность от анализируемой особи требуется получить не менее 6-10 потомков.

**Пример:** У собак черная окраска шерсти (А) доминирует над рыжей (а). В случае, если необходимо определить генотип черной собаки, проводят спаривание ее с рыжей. Если все щенята родятся с черной шерстью, то черная собака гомозиготна.

A – черная шерсть; a – рыжая шерсть



Если в потомстве родятся и черные и рыжие щенята, то черная собака – гетерозиготна



Расщепление по фенотипу: 1 ч. : 1 р.

Таким образом, анализирующее скрещивание применяется для установления чистопородности или гомозиготности генотипа исследуемой особи.

Если в потомстве нет расщепления по фенотипу, исследуемая особь - гомозиготна, если в потомстве получено расщепление по фенотипу, близкое 1 : 1, то исследуемая особь - гетерозиготна.

**Задание.** Ответить на вопросы и решить задачу по анализирующему скрещиванию согласно индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение возвратному и анализирующему скрещиванию.
2. Для каких целей применяется анализирующее скрещивание?

3. Какое значение имеет выявление генотипа особей в селекционной работе?
4. Если при анализирующем скрещивании получено единообразное потомство (т.е. нет расщепления), каков генотип исследуемой особи?
5. Если при анализирующем скрещивании в потомстве получено расщепление в отношении 1 : 1, каков генотип исследуемой особи?
6. Какое количество потомков надо получить при анализирующем скрещивании, чтобы результаты были достоверными?

**Литература:** 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10.

Тема теоретического курса: «Закономерности наследования признаков при половом размножении».

### ЗАНЯТИЕ 8. Взаимодействие неаллельных генов

**Цель занятия:** Изучить особенности наследования признаков при различных типах взаимодействия неаллельных генов.

Гены, влияющие на признак, локализованные в разных парах гомологических хромосом, называются неаллельными.

Ранее изученные закономерности наследования признаков основаны на совместном действии аллельных генов в гетерозиготе (Aa). Проявляется это в форме полного доминирования одного гена над другим геном той же пары, или в возникновении фенотипа, промежуточного между одной и другой формой данного признака (случай неполного доминирования).

Рассмотренный ранее в связи с этим механизм передачи признаков предполагает независимость наследования отдельных аллелей и независимость их действия. Однако живой организм - очень сложная биологическая система и нельзя сказать, что генотип складывается из суммы действующих независимо генов. На самом деле взаимодействие генов весьма сложное. Аллели разных генов взаимодействуют друг с другом, и это отражается на характере наследования.

Различают несколько видов взаимодействия неаллельных генов: комплементарное, эпистатическое, полимерное, модифицирующее.

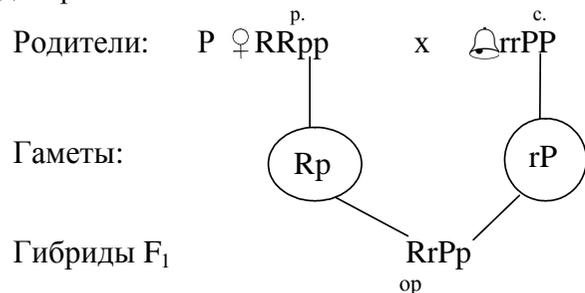
### Комплементарное действие генов (взаимодопляющее)

Доминантные гены разных аллельных пар при совместном действии обуславливают возникновение одного нового признака. Такой вид взаимодействия называется комплементарным.

При этом ни один из доминантов не может вызвать соответствующего эффекта без второго доминанта. Для проявления нового признака необходимо совместное действие таких генов.

Примером служит наследование формы гребня у кур. Ген розовидного гребня – R, а стручковидного – P, их рецессивные аллели r и p вызывают образование простого гребня.

При скрещивании гомозиготной птицы, имеющей стручковидный гребень, с гомозиготной, имеющей розовидный гребень, у потомков гребень оказывается совершенно нового типа - ореховидным. Следовательно, ореховидность гребня определяется наличием в генотипе одновременно обоих генов R и P.



В результате скрещивания между собой 2-х гетерозиготных птиц с ореховидным гребнем в потомстве наблюдается расщепление в соотношении - 9 орех. : 3 роз. : 3 стр. : 1 прост.

F<sub>2</sub> P ♀ RrPp x ♂ RrPp

♀ \ ♂	RP	Rp	rP	rp
RP	RRPp ор.	RRPp ор.	RrPP ор.	RrPp ор.
Rp	RRPp ор.	RRpp роз.	RrPp ор.	Rrpp роз.
rP	RrPp ор.	RrPp ор.	rrPP с.	rrPp с.
rp	RrPp ор.	Rrpp роз.	rrPP с.	Rrpp пр.

Анализ решетки Пеннета показывает, что ореховидный гребень появляется только у птицы, генотип которой складывается из одинарной или двойной дозы двух доминантных аллелей R и P.

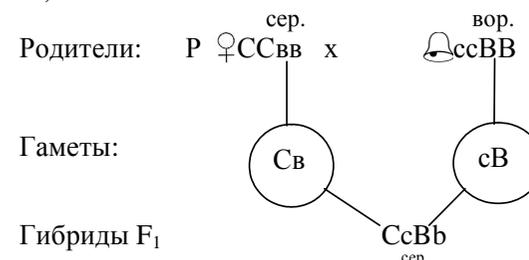
### Эпистаз

Это форма взаимодействия неаллельных генов, заключающаяся в том, что ген одной пары аллелей в генотипе подавляет проявление генов другой пары аллелей.

Гены, подавляющие действие других генов, называются супрессорами. Они могут быть как доминантными, так и рецессивными. Следовательно, возможны 2 вида эпистаза: рецессивный (aa>B, aa>b) и доминантный (A>B, ген A – эпистатичный, ген B – гипостатичный).

Эпистатичное действие подобно доминированию, с тем различием, что эффект действия гена подавляется не его доминантным аллелем (A>a, B>b), а другим неаллельным геном. Это явление неаллельного доминирования.

Эпистаз наблюдается при наследовании масти у лошадей. Так, ген C - определяет серую масть, ген B – вороную, их рецессивные аллели c и b - рыжую масть. При скрещивании серых кобыл с вороными жеребцами в F<sub>1</sub>, получают гетерозиготные животные серой масти, так как ген C эпистатичен по отношению к гену B.



F<sub>2</sub> P ♀ CcBb x ♂ CcBb

♀ \ ♂	Cb	Cb	cB	cb
Cb	сер. CCbb	сер. CCbb	сер. CcBb	сер. Ccbb
Cb	сер. CCbb	сер. CCbb	сер. CcBb	сер. Ccbb
cB	сер. CcBb	сер. CcBb	вор. ccBB	вор. ccBb
cb	сер. Ccbb	сер. Ccbb	вор. ccBb	рыж. ccbb

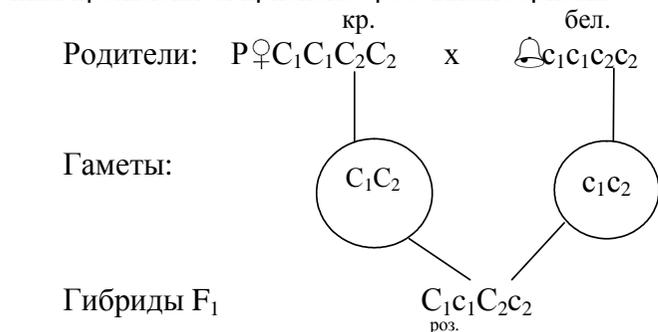
Во втором поколении наблюдается расщепление: 12 серых; 3 воронных; 1 рыжая. В этом случае все лошади, имеющие ген С, а также гены С и В - серые. Лошади, которые имеют ген В, но не имеют гена С-воронные и гомозиготные рецессивы – рыжей масти.

### Полимерное взаимодействие генов (полимерия)

Это тип взаимодействия генов, при котором на один и тот же признак оказывают сходное влияние несколько неаллельных доминантных генов.

В данном случае происходит накопление действия генов, когда действие их как бы суммируется и степень развития признака зависит от эффекта действия каждого из них. Такое действие генов называют аддитивным (суммирующимся), а сами гены аддитивными. По мере увеличения числа генов усиливается развитие признака, на который они действуют.

Так, доминантные гены «С<sub>1</sub>» и «С<sub>2</sub>» у пшеницы вызывают красную окраску зерен, а «с<sub>1</sub>» и «с<sub>2</sub>» - белую. При скрещивании краснозерной пшеницы с белозерной в F<sub>1</sub>, получают зерна с промежуточным проявлением признака - розовыми зернами.



F<sub>2</sub>

♀ \ ♂	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> c <sub>2</sub>	c <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	c <sub>1</sub> c <sub>2</sub>
C <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>2</sub> кр.	C <sub>1</sub> C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> c <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> c <sub>1</sub> C <sub>2</sub> c <sub>2</sub>
C <sub>1</sub> c <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> C <sub>1</sub> c <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> c <sub>1</sub> C <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> c <sub>1</sub> c <sub>2</sub> c <sub>2</sub>
c <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> c <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> c <sub>1</sub> C <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	c <sub>1</sub> c <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	c <sub>1</sub> c <sub>1</sub> C <sub>2</sub> c <sub>2</sub>
c <sub>1</sub> c <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> c <sub>1</sub> C <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> c <sub>1</sub> c <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	c <sub>1</sub> c <sub>1</sub> C <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	c <sub>1</sub> c <sub>1</sub> c <sub>2</sub> c <sub>2</sub> бел.

При размножении гибридов F<sub>1</sub>, во втором поколении были получены потомки со всеми переходами в окраске зерна от темно-красной до белой. Причем 1/16 часть зерен - красной окраски, 1/16 - белой и 14/16 - промежуточной окраски разной степени интенсивности.

Генетический анализ показал, что интенсивность окраски зерен зависит от количества доминантных генов в генотипе особи: чем их больше, тем темнее окраска зерна и наоборот. Так, при наличии четырех генов зерна приобретают наиболее густой тон окраски, при трех генах - усилителях окраска становится немного светлее, при двух - еще светлее, при одном - наиболее светлая.

По типу полимерии наследуются очень многие хозяйственно-полезные признаки и у животных: живая масса, молочность и жирномолочность, плодовитость, скороспелость, шерстные качества овец и коз, яйценоскость кур и т.д.

### Модифицирующее действие генов

Гены, не имеющие собственного действия, но ослабляющие или усиливающие действие основного гена, влияющего на развитие определенного признака, называются генами - модификаторами. Гены - модификаторы, усиливающие действие основного гена называются генами-усилителями, ослабляющие его действие - генами-ослабителями. Модифицирующие гены могут быть либо доминантными, либо рецессивными.

Так, у пегих мышей размер пятен зависит не только от основного гена пегости, но и от большого числа (4-10) модифицирующих генов.

Действие генов - модификаторов вызывает широкую изменчивость проявления пегости у крупного рогатого скота, свиней, овец и лошадей (от почти полной пигментации тела до почти полного ее отсутствия).

**Задание.** Решить задачи по типам взаимодействия неаллельных генов согласно индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение неаллельных генов.
2. Перечислите типы взаимодействия неаллельных генов.
3. Какова сущность комплементарного взаимодействия неаллельных генов и характер расщепления по фенотипу в F<sub>2</sub>?

4. Какова сущность элистатического взаимодействия неаллельных генов и расщепление по фенотипу в  $F_2$ ?
5. Как проявляется полимерное взаимодействие неаллельных генов?
6. Какие признаки наследуются по типу полимерии?
7. Как проявляют свое действие гены-модификаторы? Приведите примеры.

**Литература:** 1,2, 3, 4, 5, 7, 10.

Тема теоретического курса: «Закономерности наследования признаков при половом размножении».

---



---

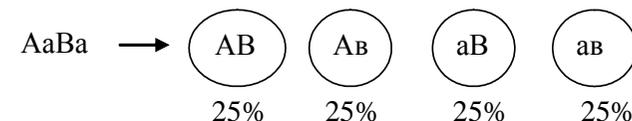
## СЦЕПЛЕННОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ

### ЗАНЯТИЕ 9. Сцепленное наследование

**Цель занятия:** Ознакомиться с особенностями сцепленного наследования признаков и кроссинговером.

Третий закон Менделя - закон независимого комбинирования признаков – имеет место при условии, если гены, определяющие эти признаки, находятся в негомолгичных хромосомах.

В случае, если исследуется 2 пары признаков у гетерозигот  $F_1$ , образуются 4 сорта гамет в силу независимого комбинирования хромосом в мейозе.



В то же время число генов, определяющих различные признаки, очень велико, а число хромосом относительно мало. Это дает возможность предположить, что в каждой хромосоме расположен не один ген, а множество.

В таком случае признаки, гены которых расположены в одной хромосоме, наследуются сцепленно (совместно), не подчиняясь 3-му закону Менделя. Сформулирован закон сцепленного наследования Томасом Морганом.

Гены, локализованные в одной хромосоме, образуют группу сцепления. Число групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом.

Гены рассматриваемой нами пары признаков при сцепленном наследовании находятся в одной хромосоме и гетерозиготы, образуют всего 2 сорта гамет:



Подобное наблюдается в случае полного сцепления (наблюдается только у самцов дрозофилы и самок тутового шелкопряда).

Но чаще имеет место неполное сцепление. Благодаря обмену идентичными участками гомологичных хромосом, происходящему в профазе мейоза и называемому перекрестом или кроссинговером, сцепление нарушается, т.е. гены переходят из одной гомологичной хромосомы в другую. Разрыв сцепления приводит к новым комбинациям генов в хромосомах и сопровождается появлением новых сочетаний признаков у потомков (рис. 6).

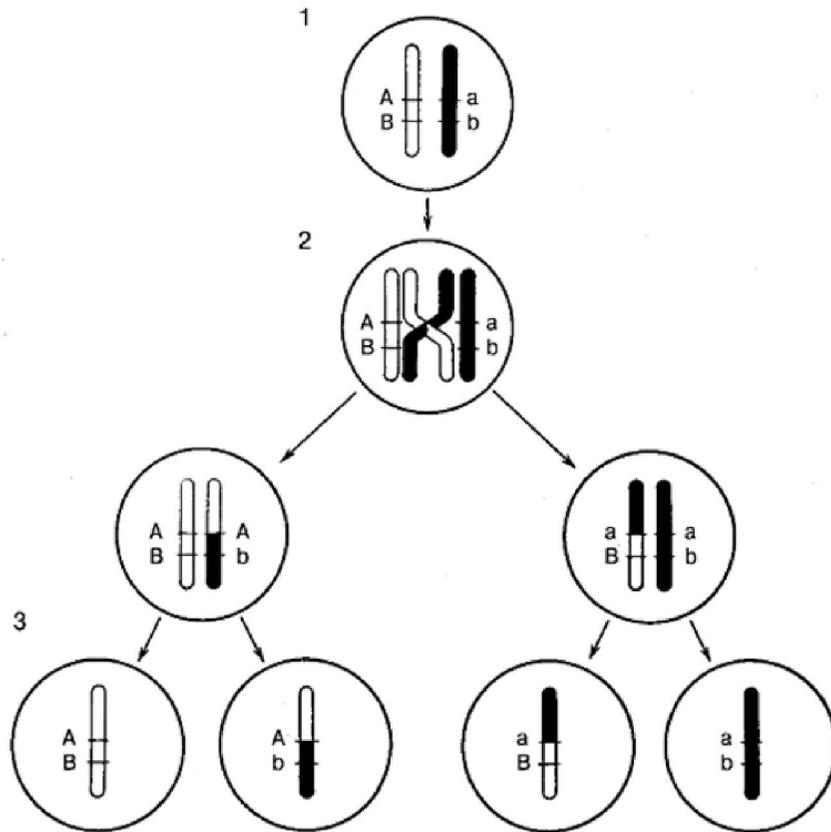
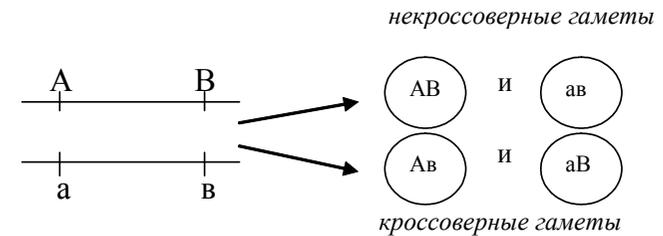


Рис. 6. Кроссинговер:

1 – две гомологичные хромосомы; 2 – их перекрест во время конъюгации; 3 – две новые комбинации хромосом.

Гаметы и особи с новыми сочетаниями признаков, появившиеся в результате кроссинговера, называются кроссоверами или рекомбинатами, а само явление генетической рекомбинацией.

Таким образом, наряду с некроссоверными гаметами образуются и кроссоверные, число которых бывает меньше.



Гены расположены в хромосомах в линейной последовательности и находятся на определенном расстоянии друг от друга. Чем дальше расположены гены друг от друга, тем меньше сила сцепления и тем чаще между ними кроссинговер. Частота кроссинговера определяется в процентах и показывает расстояние между генами.

$$\text{Частота кроссинговера} = \frac{n_1}{n} \times 100,$$

где  $n_1$  – число кроссоверов;  
 $n$  – общее число потомков.

За единицу перекреста принят 1% кроссинговера, а за единицу расстояния между генами - 1 морганида. 1 морганида равна 1% кроссинговера.

Частоту кроссинговера используют для составления карт хромосом. Фенотипически кроссинговер определяется по расщеплению в потомстве.

Рассмотрим на примере скрещивания дрозофил.

У дрозофилы серая окраска тела доминирует над черной, длинные крылья над зачаточными. Гены этих признаков локализованы в одной паре хромосом. Какое получается потомство при скрещивании:

1. Черных зачаточнокрылых самок с серыми длиннокрылыми самцами?

2. Серых длиннокрылых самок  $F_1$ , с черными зачаточнокрылыми самцами, если известно, что кроссоверных особей получено 17%?

Ген – признак;

A – серая окраска тела;

a – черная;

B – длинные крылья;

b – зачаточные крылья.

При этом следует иметь в виду, что генотипы особей при сцепленном наследовании записываются в виде дроби: в числителе перечисляются гены одной из гомологичных хромосом, в знаменателе – другой.

В случае полного сцепления (рис. 7) при анализирующем скрещивании потомки имеют те же признаки, что и родители в соотношении 1 : 1.

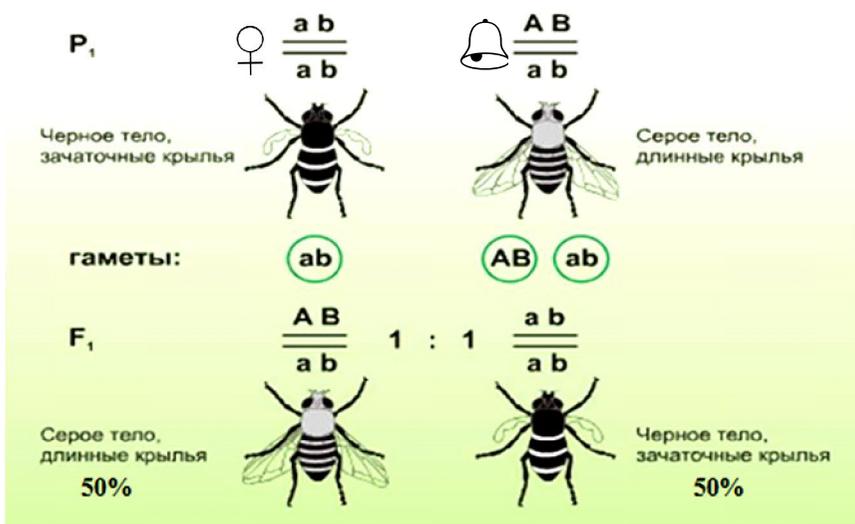


Рис. 7. Наследование признаков у дрозофилы при полном сцеплении.

При неполном сцеплении (рис. 8) гетерозиготная самка (у самцов дрозофилы всегда отмечается полное сцепление), дает четыре сорта гамет, в том числе два сорта кроссоверных, поэтому в потомстве возникают новые сочетания признаков, которых не было у родителей. Из общего числа потомков кроссоверных образуется 17%, или по 8,5% каждого фенотипа. Некроссоверных особей будет 83%, или по 41,5% каждого фенотипа.

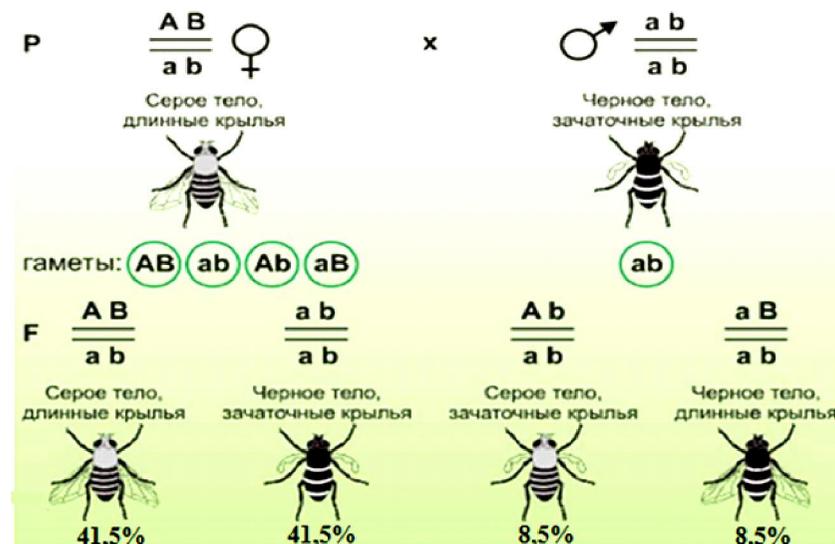


Рис. 8. Наследование признаков у дрозофилы при неполном сцеплении.

**Задание.** Ответить на вопросы и решить задачу по сцепленному наследованию признаков и кроссинговеру согласно индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Чем объясняется сцепленное наследование признаков?
2. Что такое группа сцепления, чему равно число этих групп?
3. Кто является автором хромосомной теории наследственности?
4. Какое сцепление называется полным?
5. Что является причиной неполного сцепления генов?
6. Что такое кроссоверы и генетическая рекомбинация?
7. Как определяется процент кроссинговера и что он показывает?
8. Что является единицей расстояния между генами в хромосоме?
9. Как фенотипически определяется наличие кроссинговера?

**Литература:** 1,2, 3, 5, 8, 9, 10.

Тема теоретического курса: «Хромосомная теория наследственности».

## ЗАНЯТИЕ 10. Наследование признаков, сцепленных с полом

**Цель занятия:** Ознакомиться с хромосомным определением пола, с основными особенностями наследования признаков, сцепленных с полом.

Хромосомы, по которым различаются мужские и женские особи одного вида, называются половыми.

Хромосомы, одинаковые у мужских и женских особей одного вида, называются аутосомами.

У дрозофилы, млекопитающих и человека особи женского пола имеют пару гомологичных половых хромосом, названных X-хромосомами (набор хромосом - ♀ XX). Особи мужского пола содержат лишь одну X-хромосому и вторую, не гомологичную ей, Y хромосому (набор хромосом - ♂ XY).

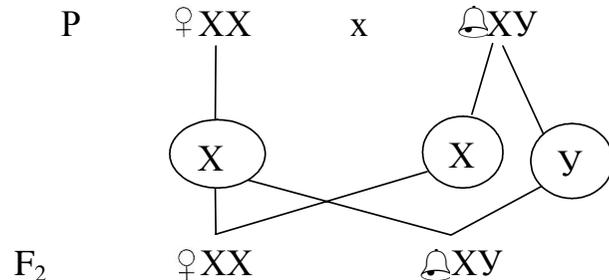
У бабочек, птиц и пресмыкающихся иная структура половых хромосом: ♀ XY и ♂ XX. Обозначают иногда другими буквами: ♀ ZW и ♂ ZZ.

У клопов и кузнечиков женский пол имеет две X-хромосомы, а мужской - только одну (♀ XX и ♂ XO).

Исключение составляют пчелы и некоторые другие организмы, у которых пол определяется числом аутосом: женский пол имеет 32 аутосомы (2n), мужской 16 (n).

Пол, образующий гаметы одного сорта по половым хромосомам (X и X), называется гомогаметным. Пол, образующий гаметы 2-х сортов по половым хромосомам (X и Y или X и O), называется гетерогаметным.

Наследование пола у млекопитающих может быть представлено в виде схемы:



Из схемы следует, что особи женского пола образуют один тип гамет, несущих X хромосому, а особи мужского пола - 2 типа гамет: один содержит X хромосому, другой - Y хромосому. При слиянии гамет из зиготы с набором хромосом XX будет развиваться особь женского пола, а с XY мужского.

Кроме определения пола, половые хромосомы несут в себе гены, контролирующие те или иные признаки.

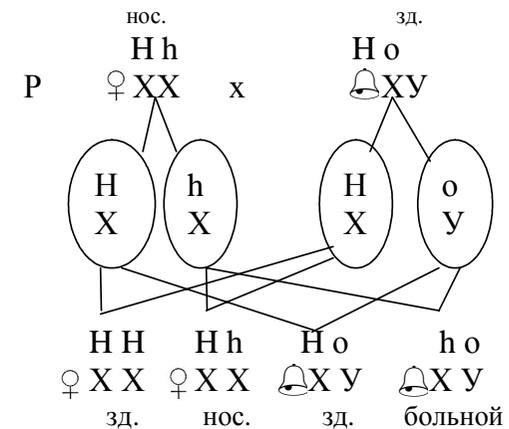
Признаки, гены которых расположены в половых хромосомах, называются сцепленными с полом.

При изучении наследования этих признаков было установлено, что Y хромосома является относительно генетически инертной, т.е. почти не несет генов, поэтому, в большинстве случаев, гены, находящиеся в X хромосоме не имеют своих аллелей в Y хромосоме.

Поэтому наследование признаков, сцепленных с полом, не подчиняется закономерностям, установленным Менделем, а имеет особенности. Рecessивные гены в X хромосоме гетерогаметного пола могут проявляться, т.к. им не противостоят доминантные аллели в Y хромосоме.

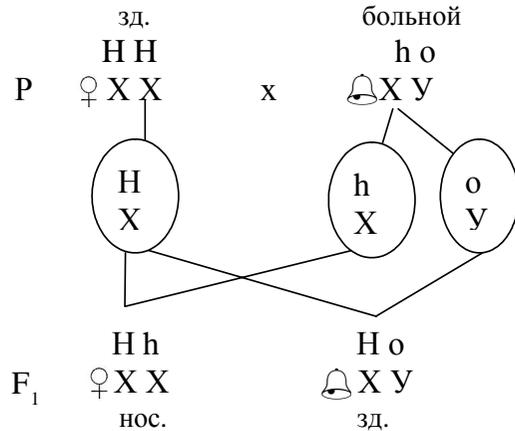
Признаки, гены которых находятся в X хромосоме, проявляются полностью по одной аллели (гены гемофилии, дальтонизма, белоглазия у дрозофил).

Рассмотрим схему наследования гемофилии у человека в случае, если мать является носителем гена гемофилии (H), а отец здоров.



Из схемы видно, что мальчик, получивший рецессивный ген с X-хромосомой от матери будет больным, т.к. Y хромосома не несет доминантного аллеля, подавляющего действие гена.

В случае если мать здорова, а отец болен гемофилией - дети будут здоровыми, но дочь - носительница гена гемофилии, полученного от отца.



В схемах видна особенность наследования признаков сцепленных с полом, называемая кресс-кросс наследованием или наследованием крест-накрест, т.е. признак передается от отца к дочери и от матери к сыну.

Сцепленно с полом наследуется окраска оперения у кур, цвет глаз и форма тела у дрозофилы, многие болезни у человека.

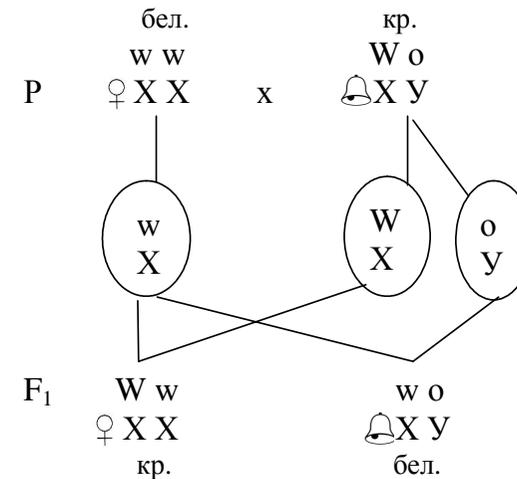
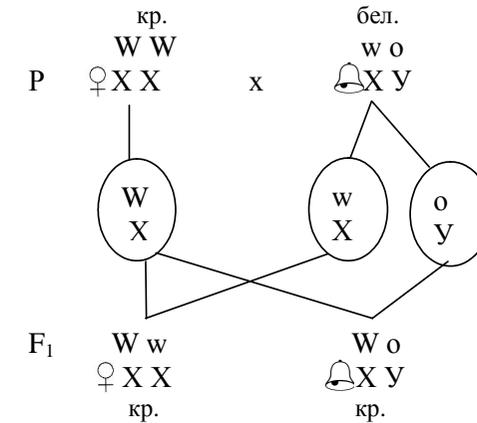
Для анализа признаков, сцепленных с полом, используют реципрокные спаривания и скрещивания, при которых родительские особи меняются своими признаками.

Например, у дрозофилы ген красной окраски глаз (W) доминирует над геном белоглазия (w). При скрещивании красноглазой самки с белоглазым самцом, все мухи - красноглазые.

Если же скрещивать белоглазую самку с красноглазым самцом, то в F<sub>1</sub> самки будут красноглазыми, а самцы - белоглазыми.

Таким образом, если доминантным признаком обладает родитель гомогаметного пола (гомозиготное состояние), то расщепления по фенотипу не происходит, если же доминантным признаком обладает родитель гетерогаметного пола, то происходит наследование кресс-кросс и в F<sub>1</sub>, обнаруживается расщепление по фенотипу в соотношении 1 : 1.

Это характеризует ещё одну особенность признаков, сцепленных с полом – их наследование зависит от направления скрещивания.



**Задание.** Ответить на вопросы и решить задачу по наследованию признаков, сцепленных с полом согласно индивидуальному заданию.

**Контрольные вопросы**

1. Какие хромосомы называются половыми и аутосомами?
2. Какие типы хромосомного определения пола существуют?

3. Какие признаки называются сцепленными с полом? Приведите примеры.
4. Какой пол называется гомогаметным и гетерогаметным?
5. Каковы особенности наследования признаков, сцепленных с полом?
6. Чем объясняется своеобразное наследование признаков сцепленных с полом?

**Литература:** 1, 2, 3, 5, 8, 9, 10.

Тема теоретического курса: «Генетика пола».

## МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

### ЗАНЯТИЕ 11. Структура и синтез нуклеиновых кислот

**Цель занятия:** Изучить строение молекул РНК и ДНК, ознакомиться с особенностями синтеза нуклеиновых кислот.

Наследственность всех организмов обуславливается функциями нуклеиновых кислот - ДНК (дезоксирибонуклеиновой) и РНК (рибонуклеиновой). Нуклеиновые кислоты - сложные биополимеры, состоящие из более простых соединений - нуклеотидов.

ДНК принадлежит ведущая роль в наследственности, она составляет основу хромосом и генов и является уникальным носителем наследственной информации. У всех живых организмов, ДНК содержится преимущественно в хромосомах, в небольшом количестве в митохондриях и хлоропластах. Молекулы РНК входят в состав цитоплазмы, ядрышек, митохондрий, рибосом.

Молекула ДНК двухцепочная (рис. 9). Она состоит из двух спирально закрученных цепей нуклеотидов и способна к самовоспроизведению (репликации).

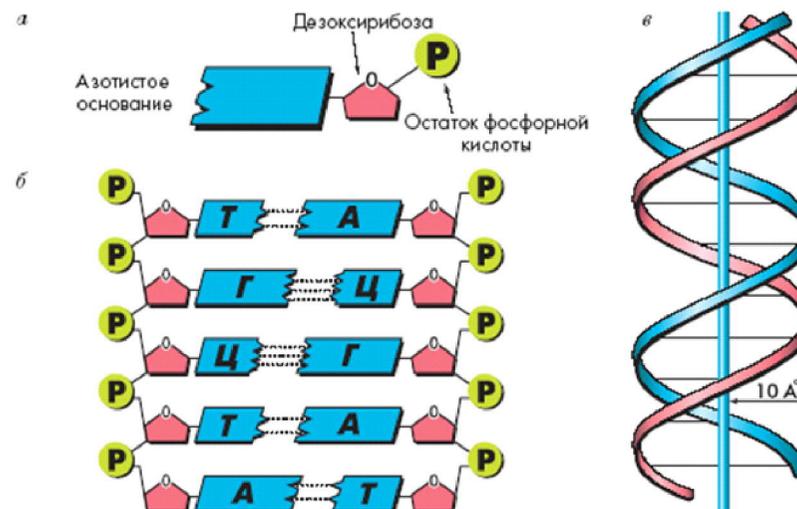


Рис. 9. Структура молекулы ДНК.

Двойная спираль ДНК названа спиралью Уотсона-Крика по имени ученых Ф. Крика (Великобритания) и Д. Уотсона (США), установивших структуру ДНК.

Нуклеотиды ДНК состоят из остатка фосфорной кислоты (Ф), сахара – дезоксирибозы (Д) и одного из 4-х азотистых оснований: пуриновых - аденина (А) и гуанина (Г) и пиримидиновых - тимина (Т) и цитозина (Ц). Нуклеотиды называются по входящим в их состав азотистым основаниям и обозначаются начальными буквами их названий.

<b>Нуклеотиды ДНК:</b>			
Ф - Д	Ф - Д	Ф - Д	Ф - Д
І	І	І	І
А	Г	Т	Ц
адениновый	гуаниновый	тиминный	цитозинный

Наружная часть двойных нитей ДНК состоит из чередующихся молекул фосфата и сахара, а внутреннюю часть составляют пары азотистых оснований, соединенных между собой водородными связями. Основания соединены друг с другом не случайно, а по принципу комплементарности (взаимодополняемости), причем аденин всегда связан с тиминном, а гуанин с цитозином. Аденин и тимин соединены двойными водородными связями, гуанин с цитозином тройными.

В молекуле ДНК количество аденина всегда равно количеству тимина, а количество гуанина - количеству цитозина.

Репликация ДНК происходит в интерфазе митоза. Под действием фермента дезоксирибонуклеазы двойная спираль разделяется на две одиночные нити и каждая из них становится основой (матрицей) для синтеза дочерней нити ДНК, которая достраивается по принципу комплементарности азотистых оснований. В итоге, в каждую новую двойную спираль входит одна исходная и одна заново синтезированная нить ДНК.

За счет удвоения молекул ДНК дочерние клетки в митозе получают такую же генетическую информацию, как в материнской клетке.

Рибонуклеиновые кислоты находятся в основном в цитоплазме клетки. Молекулы РНК имеют одноцепочное строение и неспособны к самовоспроизведению.

Существуют различные типы РНК, различающиеся по величине молекул, расположению в клетке и функциям:

1. Информационные или матричные РНК (и-РНК, м-РНК). Они осуществляют непосредственную передачу наследственной информации с молекул ДНК на рибосомы, для синтеза белков. При этом каждый белок клетки кодируется специфической и-РНК (около 5%).

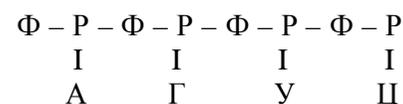
2. Рибосомальные РНК (р-РНК) составляют 85% всех РНК клетки. Они входят в состав рибосом, выполняя структурную функцию.

3. Транспортные РНК (т-РНК) составляют примерно 10% от всех клеточных РНК. Они переносят активированные аминокислоты к рибосомам - пунктам построения белковых молекул. Для каждой аминокислоты существует своя т-РНК. Значение всех типов РНК определяется тем, что они представляют собой функционально объединенную систему, направленную на осуществление синтеза в клетке специфических для нее белков.

В состав нуклеотидов РНК входят остаток фосфорной кислоты (Ф), сахар рибоза (Р), азотистые основания: пуриновые - аденин (А), гуанин (Г) и пиримидиновые – урацил (У), цитозин (Ц).

<b>Нуклеотиды РНК:</b>			
Ф - Р	Ф - Р	Ф - Р	Ф - Р
І	І	І	І
А	Г	У	Ц
адениновый	гуаниновый	урациловый	цитозинный

Соединяясь между собой, нуклеотиды образуют нить РНК:



Синтез РНК происходит на участке структурных генов одной из цепей молекулы ДНК. Двойная нить ДНК расплетается, образуя одиночные нити, и только одна из них является матрицей для синтеза РНК. Синтез молекулы РНК осуществляется под действием фермента РНК-полимеразы по принципу комплементарности. Комплементарным аденину вместо тимина является урацил.

После синтеза РНК отделяется от матричной цепи ДНК, проходит процесс «созревания» и поступает из ядра в цитоплазму.

## Сравнительная характеристика ДНК и РНК

Признаки	ДНК	РНК
Строение молекул	Двойная спираль: две полинуклеотидные цепочки, спирально закрученные одна относительно другой	Одинарная полинуклеотидная цепочка
Мономеры	Нуклеотиды	Нуклеотиды
Состав нуклеотидов	Азотистое основание: аденин, гуанин, тимин, цитозин; дезоксирибоза и остаток фосфорной кислоты	Азотистое основание: аденин, гуанин, урацил и цитозин; рибоза и остаток фосфорной кислоты
Типы нуклеотидов	Адениновый (А) Гуаниновый (Г) Тиминовый (Т) Цитозиновый (Ц)	Адениновый (А) Гуаниновый (Г) Урациловый (У) Цитозиновый (Ц)
Свойства	Способна к репликации, стабильна	Не способна к репликации, лабильна
Местонахождение в клетке	Ядро, митохондрии, плазмиды	Ядро, цитоплазма, рибосомы, митохондрии, плазмиды
Функции	Хранитель и носитель наследственной информации.	Информационная и транспортная РНК принимают участие в синтезе белка

**Задание.** Ответить на вопросы согласно индивидуально заданию.

### Контрольные вопросы

1. Назовите свойства и строение молекул ДНК.
2. Назовите виды и строение РНК.
3. Что такое нуклеотид, что входит в его состав?
4. Какие нуклеотиды входят в состав ДНК и РНК?
5. Каков механизм процесса репликации ДНК. Когда и где он происходит?
6. Где, как и когда осуществляется синтез молекул РНК?
7. В чем сходство и различие между ДНК и РНК?

**Литература:** 2, 4, 5, 8, 9, 10, 12.

Тема теоретического курса: «Молекулярные основы наследственности».

## ЗАНЯТИЕ 12. Синтез белка

**Цель занятия:** Изучить этапы биосинтеза белка в клетке, понятия «генетический код», «кодон», «триплет», «трансляция», «транскрипция».

Общеизвестно, что любые различия между организмами сводятся к различиям в структурном и количественном составе их белков, поэтому один из главных вопросов наследственности - выяснение того, как наследственная информация, записанная в молекуле ДНК, реализуется в процессе биосинтеза специфических белков, чем определяется взаиморасположение аминокислот в молекуле белка. Оказалось, что оно зависит от строения молекулы ДНК.

Последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК, определяющая последовательность аминокислот в молекуле синтезируемого белка, называется генетическим кодом.

Участок нити молекулы ДНК, состоящий из трех нуклеотидов и кодирующий одну аминокислоту, называют триплетом.

Молекула ДНК непосредственного участия в синтезе белка не принимает. Она служит лишь матрицей для синтеза и-РНК, которая на основе принципа комплементарности синтезируется на одной из цепей молекул ДНК. При этом и-РНК списывает или считывает наследственную информацию с матричной цепочки ДНК. Процесс этот получил название транскрипции.

Транскрипция происходит не на всей молекуле ДНК, а лишь на небольшом ее участке, соответствующем определенному гену. При этом часть двойной спирали ДНК раскручивается, обнажая короткий участок одной из цепей, который теперь будет служить матрицей для синтеза и-РНК. Затем вдоль этой цепи движется фермент РНК - полимеразы, соединяя между собой нуклеотиды в растущую цепь и-РНК.

Для синтеза каждого отдельного белка имеется особая и-РНК, соответствующая по размерам определенному гену. Она выходит из ядра в цитоплазму и поступает на рибосомы. Здесь и-РНК является матрицей, на которой, согласно заключенному в ней коду, происходит сборка специфического белка.

Каждому триплету в молекуле ДНК соответствует кодон в молекуле и-РНК. Это три последовательно расположенных нуклеотида, кодирующие определенную аминокислоту (рис. 10).

Нуклеотид					
1-й	2-й				3-й
	У	Ц	А	Г	
У	УУУ } Фенилаланин УУЦ } УУА } Лейцин УУГ }	УЦУ } УЦЦ } Серин УЦА } УЦГ }	УАУ } Тирозин УАЦ } УАА } стоп-кодон УАГ }	УГУ } Цистеин УГЦ } УГА } стоп-кодон УГГ } Триптофан	У Ц А Г
Ц	ЦУУ } ЦУЦ } Лейцин ЦУА } ЦУГ }	ЦЦУ } ЦЦЦ } Пролин ЦЦА } ЦЦГ }	ЦАУ } Гистидин ЦАЦ } ЦАА } Глютамин ЦАГ }	ЦГУ } ЦГЦ } Аргинин ЦГА } ЦГГ }	У Ц А Г
А	АУУ } Изолейцин АУЦ } АУА } Метионин АУГ } <i>старт-кодон</i>	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

Рис. 10. Генетический код.

Выяснилось, что одна и та же аминокислота может кодироваться несколькими кодонами - триплетами, например:

- фенилаланин - УУУ, УУЦ
- пролин - ЦЦУ, ЦЦЦ, ЦЦА, ЦЦГ и др.
- изолейцин - АУУ, АУЦ, АУА.

Именно поэтому генетический код считается множественным или вырожденным. Код является неперекрещивающимся, т.е., один и тот же нуклеотид не может входить одновременно в состав двух соседних триплетов.

Стартовым кодоном в молекуле и-РНК является АУГ. Три кодона УАА, УАГ, УГА контролируют прекращение синтеза белка.

Генетический код универсален для всех живых организмов и вирусов: одинаковые триплеты кодируют одинаковые аминокислоты.

Под влиянием ферментов цитоплазмы находящиеся в ней аминокислоты активизируются. Затем они присоединяются к акцепторным концам транспортных РНК и доставляются ими на рибосомы (рис. 11).

Противостоящая акцепторному концу петля т-РНК содержит триплет, называемый антикодоном.

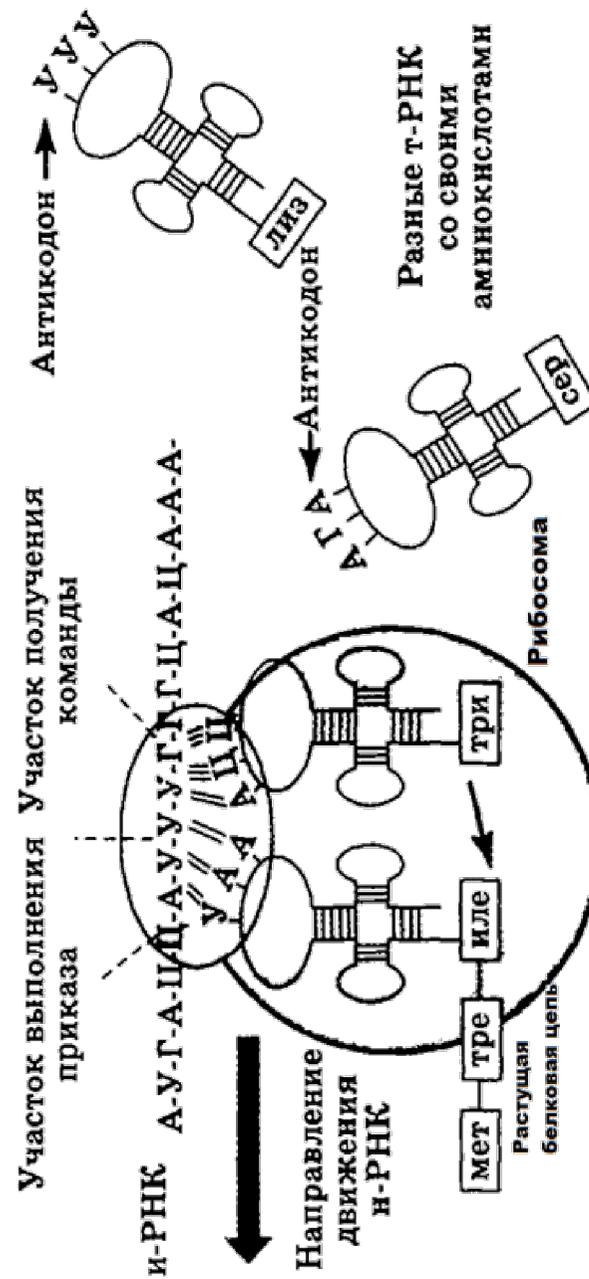


Рис. 11. Синтез белка на рибосоме.

При комплементарности его с кодоном и-РНК аминокислота, доставленная т-РНК, включается в цепь синтезируемого белка, а освобожденная т-РНК уходит вновь в цитоплазму за аминокислотой.

Путем информации, которую несет и-РНК от ДНК, определяется последовательность аминокислот в белках. Этот процесс называется трансляцией.

Трансляция начинается со стартового кодона АУГ. Отсюда каждая рибосома прерывисто, триплет за триплетом движется вдоль молекулы и-РНК, что сопровождается ростом полипептидной цепочки. Число аминокислот в таком белке равно числу триплетов и-РНК.

В цитоплазме на молекуле и-РНК может одновременно находиться несколько рибосом (полисома), которые, передвигаясь по ней, «считывают» с нее информацию. В каждой рибосоме синтезируется своя белковая молекула, а на полисоме одновременно синтезируется несколько одинаковых цепей специфического белка. Затем рибосомы сходят с молекулы и-РНК и от них отделяются цепи готовых белковых молекул, которые переходят в цитоплазму. После завершения синтеза белка молекула и-РНК под действием ферментов распадается на отдельные нуклеотиды.

Синтезированная молекула полипептидной цепи через ряд превращений приобретает объемную структуру, скручивается в спираль, приобретает активность и лежит в основе проявления наследственных признаков организма. Следовательно, роль нуклеиновых кислот в биосинтезе белка заключается в преобразовании генетической информации, представленной в виде последовательности нуклеотидов ДНК в структуру молекулы и-РНК и в последующем синтезе на этой основе белков из аминокислот. Каждый этап биосинтеза катализируется соответствующими ферментами и снабжается энергией за счет расщепления АГФ. Синтез белковых молекул происходит непрерывно и идет с большой скоростью: в одну минуту образуются от 50 до 60 тысяч пептидных связей. Синтез одной молекулы белка длится 3-4 секунды. В результате половина белков нашего тела (всего в нем около 17 кг белка) обновляется за 80 дней. За свою жизнь человек обновляет весь свой белок около 200 раз.

**Задание:** Ответить на вопросы согласно индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Где локализована информация о белке, синтезируемом в клетке?
2. Что такое транскрипция? Где и как происходит?
3. Что такое триплет, кодон?
4. Дайте понятие генетического кода и перечислите его свойства.
5. Где осуществляется синтез белка?
6. Что такое трансляция, где происходит и что при этом образуется?
7. Какую роль играют и-РНК, т-РНК в синтезе белка?

**Литература:** 2, 4, 5, 8, 9, 10, 12.

Тема теоретического курса: «Молекулярные основы наследственности».

### ЗАНЯТИЕ 13. Моделирование генных мутаций

**Цель занятия:** Изучить типы генных мутаций и их влияние на организм животных.

Генными, или точковыми, мутациями называют изменения структуры молекулы ДНК на участке определенного гена, кодирующего синтез соответствующей белковой молекулы.

По характеру действия генные мутации могут быть доминантными или рецессивными. Чаще мутантный ген обладает рецессивным эффектом. Нормальный аллель подавляет при этом действие измененного гена.

Изучение молекулярной природы генных мутаций показало наличие в структуре ДНК следующих типов изменений, соответствующих участкам отдельных генов: 1) замена (транзиции и трансверсии) одних нуклеотидов на другие; 2) вставка или добавление отдельных нуклеотидов в цепочку ДНК; 3) делеция (потеря) отдельных нуклеотидов; 4) делеции групп оснований; 5) инверсия - поворот на 180° отдельных оснований; 6) транспозиции - перенос пар оснований внутри гена на новое место.

Генные мутации могут возникать в результате выпадения или вставки нуклеотидных пар в молекуле ДНК на участке соответствующего гена или замены одного нуклеотида на другой, когда вместо тимина становится гуанин или вместо гуанина - аденин.

В том случае, когда произошло выпадение или добавление хотя бы одной пары нуклеотидов, нарушается транскрипция - сдвигается «рамка считывания» при синтезе и-РНК, изменяется порядок чередования аминокислот в полипептидной цепи, кодируемой данным геном. Так, например, на одном из участков ДНК у вируса Т4 в норме имеется следующее чередование триплетов, обеспечивающее соответствующий порядок расположения аминокислот в полипептидной цепи:

участок ДНК - ТГА - ТТТ - ТЦА - ГТТ - АГТ - ГАА - ТТА - ЦГА -  
полипептидная цепь - тре - лиз - сер - про - сер - лей - асп - ала -

Под действием мутагена во втором триплете выпадает нуклеотид тимин, а в седьмом произошла вставка нуклеотида тимина. Вследствие этого на участке данного гена произойдет «сдвиг рамки считывания» и-РНК и в полипептидной цепи будут кодироваться другие аминокислоты:

ДНК - ТГТ - ТТТ - ЦАГ - ГТА - ГТГ - ААГ - ТТА - ЦГА -  
полипептидная цепь - тре - лиз - вал - гис - гис - лей - асп - ала -

Фенотипическое проявление мутации зависит от того, на каком участке произошла вставка или выпадение нуклеотидной пары. Так, если она выпала вблизи промотора, то есть в начале структурного гена, то транскрибируется сильно измененная и-РНК, транслируется «испорченная» полипептидная цепь и белковая молекула, не выполняя своей функции, быстро инактивируется. Если вставка или выпадение нуклеотидной пары произошли на конечном участке данного гена в молекуле ДНК или, как в нашем примере, выпадение сочетается с добавлением нуклеотидной пары, то это не приведет к инактивации белковой молекулы, но повлияет на качество кодируемого белка и обусловит изменение признака или свойства.

Таким образом, по характеру влияния на процессы транскрипции и трансляции выделяют три основные категории генных мутаций:

1) миссенс-мутации (транзиции, трансверсии), возникающие при замене нуклеотида внутри кодона, что приводит к вставке на определенном месте в цепи полипептида одной ошибочной аминокислоты. В результате изменяется физиологическая роль белка, что создает фон для действия естественного отбора;

2) нонсенс-мутации – это появление внутри гена концевых кодонов за счет замены отдельных оснований в пределах кодонов. В результате процесс трансляции обрывается в месте появления терминального кодона;

3) мутации сдвига «рамки считывания», возникающие при появлении внутри гена вставок оснований и делеций, что приводит к изменению смыслового прочтения информации гена в процессах синтеза белка вследствие новых комбинаций оснований в триплетях, так как триплеты после выпадения или вставки приобретают новый состав кодона из-за сдвига на одно основание. В результате вся цепь полипептида после генной мутации в ДНК получает другие ошибочные аминокислоты.

**Задание.** Ответить на вопросы и выполнить задание по моделированию генных мутаций согласно индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Какие мутации называются точковыми?
2. Какими могут быть генные мутации по характеру действия?
3. Какие существуют виды генных мутаций?
4. Охарактеризуйте вставки и выпадения нуклеотидов.
5. Охарактеризуйте замены нуклеотидов.
6. Как фенотипически проявляются генные мутации?
7. Какие бывают категории генных мутаций по характеру влияния на процессы транскрипции и трансляции?

**Литература:** 2, 4, 5, 8, 9, 10, 12.

Темы теоретического курса: «Молекулярные основы наследственности», «Мутационная изменчивость».

---

---

## ГЕНЕТИКА ПОПУЛЯЦИЙ

### ЗАНЯТИЕ 14. Генетические процессы в популяциях

**Цель занятия:** Приобрести навыки по анализу структуры популяции, определению в ней частот аллелей, генотипов и фенотипов.

**Популяция** – многочисленная совокупность организмов одного вида, общего происхождения, с характерными особенностями, занимающая определенную территорию и свободно спаривающаяся друг с другом.

Генетика популяций изучает процессы, происходящие в данной совокупности и определяющие ее генетическую структуру. Генетическая структура популяции может находиться в состоянии равновесия, но под влиянием различных факторов может изменяться.

«Идеальная» или панмиктическая популяция - это многочисленная группа особей, которые свободно скрещиваются, не подвергаются отбору и не изменяются в результате мутаций или притока аллелей из других популяций.

Панмиктическая популяция находится в состоянии равновесия, причем ее состояние по любому из признаков может быть описано с помощью закона, предложенного английским математиком Г. Харди и немецким врачом В. Вайнберном.

Они рассматривают популяцию не как число индивидуумов, а выясняют, какова доля гена А и гена а при наличии в популяции таких генотипов: АА, Аа и аа. Доля гена А обозначена через р, гена а – через q. Вероятность появления генотипов в популяции выражается следующим соотношением:

$$p^2_{AA} + 2p_Aq_a + q^2_{aa} \text{ (закон Харди-Вайнберга),}$$

при этом всегда  $p + q = 1$ , а  $q = 1 - p$ .

Предположим, что в популяции доля гена А = 0,5 и гена а = 0,5.

При свободном скрещивании вероятность такова:

$$(p + q)^2 = P^2AA + 2pqAa + q^2aa, \text{ или} \\ (0,5A + 0,5a)^2 = 0,25AA + 0,50Aa + 0,25aa$$

Такое равновесие складывается в популяции из поколения в поколение при отсутствии факторов, изменяющих концентрацию генов, при свободном скрещивании, отсутствии отбора и мутирования данных генов, отсутствии миграции. Пользуясь этой формулой, можно вычислить частоты аллелей в популяции, частоты фенотипов, частоты генотипов, структуру популяции по генотипам и фенотипам в состоянии равновесия и при давлении отбора, а также соответствие фактической структуры популяции теоретически ожидаемой.

#### Методика нахождения частоты аллелей

Простейший случай - это вычисление частоты одного аллеля при известной частоте другого аллеля. В этом случае используется зависимость

$$p + q = 1, \text{ отсюда } p = 1 - q, \quad q = 1 - p.$$

При полном доминировании частота аллелей может быть определена по частоте особей с генотипом аа. В этом случае, в соответствии с формулой Харди-Вайнберга, частота особей, имеющих рецессивный признак, равняется  $q^2$ , а отсюда

$$q = \sqrt{q^2}.$$

Пусть среди родившихся 300 телят 27 (9%, или 0,09) оказались красными, остальные - белыми. Поскольку красная масть рецессивная, значит  $q^2 = 0,09$ , а  $q = 0,3$ .

При промежуточном типе наследования, когда гетерозиготы отличаются от гомозигот и фенотипически, частоты аллелей могут быть определены на основании количественного соотношения между генотипами. Обозначив количество особей генотипа АА через  $n_1$ , генотипа Аа - через  $n_2$ , генотипа аа - через  $n_3$  и общее, количество особей в популяции - через N, найдем:

$$pA = \frac{2n_1 + n_2}{2N}; \quad qa = \frac{2n_1 + n_2}{2N}.$$

Представим, что из 200 родившихся телят 72 были белыми (АА), 32 – красными (аа) и 96 - чалыми - (Аа). Частота гамет А и а в этой популяции будет составлять:

$$pA = \frac{2 \times 72 + 96}{2 \times 200} = 0,6; \quad qa = \frac{2 \times 32 + 96}{2 \times 200} = 0,4.$$

### Методика вычисления частот фенотипов

Под частотой фенотипов понимается относительное количество особей с данным признаком. При полном доминировании, когда в популяции могут быть лишь два фенотипа, частота их определяется так:

$$\text{частота фенотипа } A = \frac{n_1}{N};$$

$$\text{частота фенотипа } a = \frac{n_2}{N};$$

$n_1$  и  $n_2$  – доля особей с данным фенотипом;  
 $N$  – общее число особей.

При промежуточном типе наследования принцип вычисления остается тем же, но в данном случае находятся частоты трех фенотипов. Воспользовавшись данными предыдущего примера, получим следующие результаты:

$$\text{частота белой масти} = \frac{n_1}{N} = \frac{72}{200} = 0,36;$$

$$\text{частота чалой масти} = \frac{n_2}{N} = \frac{96}{200} = 0,48;$$

$$\text{частота красной масти} = \frac{n_3}{N} = \frac{32}{200} = 0,16.$$

### Методика вычисления частот генотипов

Как правило, их вычисляют по частотам аллелей, подставляя необходимые значения в формулу Харди-Вайнберга. Так, при частотах  $p/A/ = 0,4$  и  $q/a/ = 0,6$  частоты генотипов составляют:

$$AA = p^2 = 0,16 \text{ (16\%)}$$

$$Aa = 2pq = 0,48 \text{ (48\%)}$$

$$aa = q^2 = 0,36 \text{ (36\%)}$$

Нетрудно найти частоту генотипов и при промежуточном типе наследования признака. В этом случае частота генотипов совпадает с частотой фенотипов и вычисляется с помощью тех же формул. При полном доминировании для нахождения частот генотипов рекомендуется сначала вычислить частоты аллелей.

### Методика определения структуры популяции при отборе

Как уже было сказано, при случайном принципе спаривания и отсутствии отбора популяция из поколения в поколение остается неизменной. Это легко продемонстрировать с помощью закона Харди-Вайнберга.

Пусть  $p/A/ = 0,8$  и  $q/a/ = 0,2$ .

Исходная популяция в данном случае будет иметь следующую структуру:

$$0,64AA + 0,32Aa + 0,04aa;$$

$$0,64 + 0,32 + 0,04 = 1.$$

Учитывая, что вероятность участия всех этих особей в процессах воспроизводства одинакова и что все они практически равны по своей плодовитости, в популяции можно ожидать следующее соотношение гамет:

$$0,64 + 0,32 + 0,04 = 1$$

$$P \quad 0,64 / A \quad A + 0,32 / Aa \quad / + 0,04(aa)$$

$$F_1 \quad \underbrace{0,64 A \quad 0,16A}_{0,8A} + \underbrace{0,16a + 0,04a}_{0,2a} \quad 0,8 + 0,2 = 1$$

$$F_2 \quad 0,64/AA/ + 0,32/Aa/ + 0,04(aa) \quad 0,64 + 0,32 + 0,04 = 1$$

Как видно, и количественное соотношение аллелей, и соотношение генотипов остаются без изменений и так в любом из поколений.

Совсем другие процессы проходят в популяции при отборе. Представим, что из полученного в предыдущем примере поколения выбракованы все животные с рецессивным признаком. В процессе воспроизводства для получения следующего поколения будут участвовать уже лишь особи:

$$0,64/AA/ + 0,32/Aa/ \quad 0,64 + 0,32 = 0,96.$$

В относительном выражении (в долях единицы) соотношение между ними составит:

$$\frac{0,64/AA/}{0,96} + \frac{0,32/Aa/}{0,96} = 0,667/AA// + 0,333/Aa/$$

$$0,667 + 0,333 = 1$$

Соотношение гамет и структура  $F_2$ , будут теперь уже следующими:

$$0,667/AA/ + 0,333/Aa/ \quad 0,667 + 0,333 = 1$$

$$F_2 = \frac{0,667 A}{0,8335A} + \frac{0,1665 A}{0,1665 a} \quad 0,8335 + 0,1665 = 1$$

$$F_2 = 0,695A A + 0,277Aa + 0,028aa \quad 0,605 + 0,277 + 0,028 = 1$$

**Задание.** Ответить на вопросы согласно индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Дайте понятие популяции, панмиктической популяции.
2. В чем смысл закона Харди-Вайнберга? Что он характеризует?
3. Какие факторы могут нарушить равновесие генотипов в популяции?
4. По какой формуле можно определить частоту аллеля А, если известно количество животных с рецессивным генотипом?

**Литература:** 1, 2, 3, 4, 5, 10.

Тема теоретического курса: «Генетика популяций».

---



---

## ГЛОССАРИЙ

**Аддитивные гены** – гены с однозначным действием (их действие суммируется).

**Аллели** – разные формы одного гена, возникшие в результате мутаций и расположенные в одном локусе гомологичных хромосом.

**Анализирующее скрещивание** – скрещивание с рецессивной родительской формой (aa).

**Гаметогенез** – процесс развития половых клеток.

**Ген** – участок молекулы ДНК, кодирующий первичную структуру полипептида, молекул РНК и взаимодействующий с регуляторными белками.

**Генетический код** – совокупность кодонов (триплетов), кодирующих аминокислоты.

**Гены-модификаторы** – гены, не проявляющие собственного действия, но усиливающие или ослабляющие эффект действия других генов.

**Генные (точковые) мутации** – изменения в структуре ДНК.

**Генотип** – совокупность генов организма.

**Генофонд** – совокупность аллелей, входящих в состав популяции.

**Дигибридное скрещивание** – скрещивание, при котором у родителей учитывается два признака, контролируемых двумя локусами.

**Доминирование** – проявление действия лишь одной из аллелей у гетерозиготного организма.

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

**Кодон** – триплет нуклеотидов, кодирующих одну аминокислоту.

**Кроссинговер** – обмен участками между гомологичными хромосомами.

**Летальные гены** – гены, вызывающие гибель организма.

**Локус** – место расположения генов в хромосоме.

**Мейоз** – процесс редукционного и эквационного делений ооцитов и сперматоцитов, в результате которого образуются половые клетки с гаплоидным набором хромосом.

**Митоз** – деление соматических клеток, при котором сохраняется диплоидный набор хромосом.

**Моногибридное скрещивание** – скрещивание, при котором у родителей учитывается один признак, контролируемый одним локусом.

**Мутация** – стойкое изменение в структуре ДНК и кариотипе.

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

**Полимерия** – тип взаимодействия неаллельных генов, при котором на один признак влияет несколько разных, но сходно действующих генов.

**Популяция** – совокупность особей одного вида, обитающих на определенной территории и свободно скрещивающихся между собой.

**Рецессивность** – отсутствие проявления одной из аллелей в гетерозиготе.

**Реципрокное скрещивание** – два скрещивания, в одном из которых доминантным признаком отличается отцовская форма, во втором – материнская.

**Сцепление генов** – совместное сцепление генов, расположенных в одной и той же хромосоме.

**Транскрипция** – синтез мРНК на матрице ДНК.

**Трансляция** – синтез полипептидных цепей рибосомами с использованием в качестве матрицы мРНК.

**Фенотип** – совокупность всех признаков и свойств организма.

**Эпистаз** – тип взаимодействия неаллельных генов, при котором один ген подавляет действие другого неаллельного гена.

---

---

## ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ К ЗАНЯТИЯМ

### ЗАНЯТИЕ 1. Митоз

#### № 1.1

1. Что лежит в основе передачи наследственной информации?
2. Что такое интерфаза?
3. Каково морфологическое строение хромосом.
4. В какой фазе митоза хромосомы располагаются по экватору клетки?
5. В какой фазе полностью разделяются центромеры у хромосом?

#### № 1.2

1. Что такое митоз?
2. В какой фазе митоза идет интенсивная спирализация хромосом?
3. Какие типы хромосом бывают?
4. Какие процессы происходят в предсинтетический период интерфазы?
5. В конце какой фазы начинается закладка перегородки между дочерними клетками?

#### № 1.3

1. Какие хромосомы называют гомологичными?
2. В какой период интерфазы происходит удвоение молекулы ДНК?
3. В какой фазе митоза разрушается ядерная оболочка?
4. В какой фазе митоза наиболее четко выражено строение хромосом?
5. Что происходит с хромосомами в анафазе?

#### № 1.4

1. Что такое митотический цикл?
2. В какой фазе митоза начинает формироваться митотическое веретено?

3. Что характерно для метафазы митоза?
4. Какие процессы происходят в постсинтетический период интерфазы?
5. Каково генетическое значение митоза?

#### № 1.5

1. В связи с чем определяют типы хромосом?
2. Чем характеризуется профаза митоза?
3. Что происходит в синтетический период интерфазы?
4. В какой фазе происходит деспирализация хромосом?
5. Что обеспечивает митоз?

#### № 1.6

1. Какой набор хромосом называется гаплоидным? Каким клеткам свойственен?
2. В какой фазе митоза хромосомы наиболее удобно наблюдать?
3. Что такой цитокинез?
4. В какой фазе митоза хромосомы делятся на 2 хроматиды?
5. Чем заканчивается митоз?

#### № 1.7

1. Какой набор хромосом называется диплоидным? Каким клеткам свойственен?
2. Почему второй период интерфазы называется синтетическим?
3. Какие процессы происходят в начале профазы?
4. В какой фазе митоза центромеры хромосом располагаются по экватору клетки?
5. Какие процессы характерны для анафазы митоза?

#### № 1.8

1. Что такое кариотип?
2. Что характерно для метафазы митоза?
3. Какие процессы происходят в конце профазы?
4. Чем характеризуется телофаза митоза?
5. Почему митоз иначе называют равнонаследственным делением?

#### № 1.9

1. Какие способы деления клеток имеются? Что такое амитоз?

2. Какие периоды различают в интерфазе?
3. В какую фазу митоза исчезает ядрышко?
4. В какую фазу митотического цикла образуются ядрышки в дочерних клетках?
5. Какая фаза митоза по процессам, происходящим в ней противоположна телофазе?

#### № 1.10

1. Что такое геном?
2. В какой фазе начинается реконструкция клеточных ядер дочерних клеток?
3. В какую фазу митоза происходит прикрепление тянущих нитей веретена к центомерам хромосом?
4. Какие процессы происходят в метафазе?
5. В какой период интерфазы происходит удвоение генетического материала клетки?

#### № 1.11

1. С каким набором хромосом клетка вступает в митоз?
2. В какой фазе митоза хромосомы уже состоят из 2-х хроматид?
3. Какие две фазы митоза противоположны по происходящим в них процессам?
4. Какие хромосомы называют метацентрическими?
5. Какая фаза митоза самая длительная?

#### № 1.12

1. С каким набором хромосом образуются дочерние клетки в результате митоза?
2. Какие хромосомы называют субметацентрическими?
3. Какие процессы происходят в клетке в интерфазе?
4. В какой фазе происходит распределение генетического материала клетки?
5. Что характерно для телофазы?

#### № 1.13

1. Что лежит в основе передачи наследственной информации?
2. Что такое интерфаза?

3. Каково биохимическое строение хромосом.
4. В какой фазе митоза хромосомы располагаются по экватору клетки?
5. В какой фазе полностью разделяются центромеры у хромосом?

#### № 1.14

1. Что такое митоз?
2. В какой фазе митоза идет интенсивная спирализация хромосом?
3. Какие типы хромосом бывают?
4. Какие процессы происходят в предсинтетический период интерфазы?
5. В конце какой фазы начинается закладка перегородки между дочерними клетками?

#### № 1.15

1. Какие хромосомы называют гомологичными?
2. В какой период интерфазы происходит удвоение молекулы ДНК?
3. В какой фазе митоза разрушается ядерная оболочка?
4. В какой фазе митоза наиболее четко выражено строение хромосом?
5. Что происходит с хромосомами в анафазе?

### **ЗАНЯТИЕ 2. Мейоз**

#### № 2.1

1. В какой фазе мейоза происходит конъюгация хромосом?
2. В какой фазе мейоза биваленты располагаются по экватору клетки?
3. В какой фазе мейоза происходит кроссинговер, к чему он ведет?
4. В какой фазе мейоза заканчивается образование веретена деления?

#### № 2.2

1. В какой фазе мейоза хромосомы уже состоят из двух хроматид?
2. Какая фаза мейоза характеризуется образованием бивалентов?
3. Чем отличается анафаза I от анафазы II?
4. Какой тип кроссинговера называется «двойным кроссинговером»?

#### № 2.3

1. В какой фазе мейоза гомологичные хромосомы конъюгируют?

2. Что происходит с центромерами в метафазе II?
3. Что характерно для редукционного деления?
4. Какой тип кроссинговера называется «одинарным»?

#### № 2.4

1. Какая фаза мейоза называется диакинез?
2. В какой фазе мейоза образуются биваленты?
3. Сколько хроматид входит в один бивалент?
4. В какой фазе мейоза клетки впервые содержат гаплоидное число хромосом?

#### № 2.5

1. В какой фазе мейоза хромосомы имеют вид длинных тонких нитей?
2. В какой фазе мейоза начинается отталкивание хромосом в биваленте?
3. В какой фазе происходит деспирализация хромосом?
4. Каков результат редукционного деления?

#### № 2.6

1. Чем характеризуется интеркинез?
2. Как называется фаза, в которой происходит конъюгация хромосом?
3. Что характерно для редукционного деления?
4. Каков результат эквационного деления?

#### № 2.7

1. Как называется фаза расположения бивалентов на экваторе клетки?
2. Перечислите стадии профазы I мейоза?
3. Что характерно для анафазы I?
4. Перечислите генетические особенности мейоза?

#### № 2.8

1. В какой фазе биваленты располагаются на экваторе клетки?
2. В какой фазе хромосомы расходятся к противоположным полюсам клетки?

3. В какой фазе к полюсам клетки расходятся хроматиды?
4. Что характерно для метафазы эквационного деления?

#### № 2.9

1. Чем характеризуется стадия зигонемы профазы I мейоза?
2. В какую фазу мейоза деспирализуются хроматиды?
3. Что характерно для анафазы II?
4. Каковы генетические особенности мейоза?

#### № 2.10

1. В какую фазу к полюсам расходятся хромосомы?
2. Чем отличается метафаза I мейоза от метафазы II?
3. В какой фазе заканчивается формирование митотического аппарата?
4. Как называется I деление мейоза и почему?

#### № 2.11

1. Перечислите стадии профазы I мейоза?
2. Что из себя представляют хромосомы в лептонеме?
3. Как называется II деление мейоза и почему?
4. Чем отличается анафаза I мейоза от анафазы II?

#### № 2.12

1. Из чего состоит бивалент?
2. Что характерно для стадии диплономы?
3. Что происходит в результате спирализации хромосом в биваленте?
4. Чем заканчивается мейоз?

#### № 2.13

1. В какой фазе происходит кроссинговер и к чему он ведет?
2. Чем характеризуется профаза II мейоза?
3. В какую фазу происходит деспирализация хроматид?
4. Что характерно для эквационного деления?

#### № 2.14

1. Как называется фаза образования бивалентов?
2. Чем отличается одинарный кроссинговер от двойного?
3. Чем отличается эквационное деление от редукционного?
4. Каково генетическое значение мейоза?

#### № 2.15

1. В какой фазе мейоза происходит конъюгация хромосом?
2. В какой фазе мейоза биваленты располагаются по экватору клетки?
3. В какой фазе мейоза происходит кроссинговер, к чему он ведет?
4. В какой фазе мейоза заканчивается образование веретена деления?

### ЗАНЯТИЕ 3. Гаметогенез

#### № 3.1

1. Что такое сперматогенез?
2. Какие фазы развития проходят клетки в процессе гаметогенеза?
3. В какой фазе образуются сперматоциты I порядка?
4. Что происходит с редукционными тельцами?

#### № 3.2

1. Как называется процесс развития и образования женских половых клеток?
2. В какой фазе делятся сперматогония?
3. Что образуется в результате деления овоцита I?
4. Что из себя представляет фаза размножения?

#### № 3.3

1. Как называется процесс развития и образования мужских половых клеток?
2. Как называются клетки при подготовке к мейозу?
3. В чем отличие овогенеза от сперматогенеза?
4. Сколько зрелых яйцеклеток образуется из одного овоцита I?

#### № 3.4

1. Где происходит процесс сперматогенеза?
2. Что образуется в результате деления сперматоцита I?
3. Что из себя представляет фаза роста?
4. Сколько сперматозоидов образуется из одного сперматоцита I?

#### № 3.5

1. Где происходит процесс овогенеза?
2. В какой фазе образуются сперматоциты II?

3. Отличаются ли гаплоидные клетки, образующиеся при оогенезе?
4. Сколько яйцеклеток образуется из 10 ооцитов?

#### № 3.6

1. Какие фазы развития проходят клетки в процессе сперматогенеза?
2. Что образуется при делении сперматоцита II?
3. Как называется гаплоидная клетка, сохраняющая весь запас питательных веществ при оогенезе?
4. Сколько сперматозоидов образуется из 20 сперматоцитов I?

#### № 3.7

1. Какие фазы развития проходят клетки в процессе овогенеза?
2. Что образуется при делении овоцита II?
3. Какова судьба редукционных телец?
4. Каков набор хромосом овоцита I?

#### № 3.8

1. Что такое оогенез?
2. Каков набор хромосом овоцита II?
3. Каковы особенности сперматогенеза?
4. Что образуется в результате первого деления ооцита?

#### № 3.9

1. Что такое гаметогенез?
2. Каков набор хромосом овоцита I?
3. Перечислите особенности оогенеза?
4. Что из себя представляют две неравноценные клетки, образующиеся при делении ооцита I?

#### № 3.10

1. Где происходит процесс гаметогенеза?
2. Каков набор хромосом сперматоцита I?
3. Что образуется в результате второго деления овоцита?
4. Сколько сперматозоидов образуется из 15 сперматогониев?

#### № 3.11

1. Какие фазы развития проходят клетки в процессе гаметогенеза?
2. Каков набор хромосом сперматоцита II?

3. Что образуется в результате второго деления сперматоцита?
4. Сколько зрелых яйцеклеток образуется из 40 ооцитов I порядка?

#### № 3.12

1. Что такое сперматогенез?
2. Какие фазы развития проходят клетки в процессе оогенеза?
3. В какой фазе образуются сперматоциты I порядка?
4. Что происходит с редукционными тельцами?

#### № 3.13

1. Как называется процесс развития и образования женских половых клеток?
2. В какой фазе делятся сперматогония?
3. Что образуется в результате деления овоцита I?
4. Что из себя представляет фаза размножения?

#### № 3.14

1. Как называется процесс развития и образования мужских клеток?
2. Как называются клетки при подготовке к мейозу?
3. В чем отличие овогенеза от сперматогенеза?
4. Сколько зрелых яйцеклеток образуется из одного овоцита I?

#### № 3.15

1. Какие фазы развития проходят клетки в процессе сперматогенеза?
2. Что образуется при делении сперматоцита II?
3. Как называется гаплоидная клетка, сохраняющая весь запас питательных веществ при оогенезе?
4. Сколько сперматозоидов образуется из 20 сперматоцитов?

### **ЗАНЯТИЕ 4. Наследование признаков при моногибридном скрещивании**

#### № 4.1

1. Какие типы гамет образуют особи, имеющие генотипы: AA; Aa; aa?

- У фасоли черная окраска семенной кожуры (А) доминирует над белой (а). Определить окраску семян у растений, полученных в результате следующих скрещиваний: а) А а х Аа; б) А а х аа.
- От скрещивания комолого быка (А) айрширской породы с рогатыми (а) коровами в F<sub>1</sub> получено 16 комолых телят. Сколько комолых телят будет в F<sub>2</sub> из 96 голов полученных.

#### № 4.2

- Какие типы гамет образуют организмы, имеющие генотипы: АА; Аа; аа?
- Растение гомозиготное по черной окраске (В) семян скрещено с белосеменным (в) растением. Определить фенотип и генотип растений в F<sub>1</sub> и F<sub>2</sub>.
- От скрещивания комолого быка (А) айрширской породы с рогатыми коровами (а) в F<sub>1</sub> получено 20 телят, в F<sub>2</sub> 120 телят. Сколько телят F<sub>2</sub> будет гомозиготных и сколько гетерозиготных?

#### № 4.3

- Какие типы гамет образуют особи с генотипом: АА; аа?
- Животное, гомозиготное по черной масти (А) скрещено с животным белой масти (а). Определить фенотипы потомства F<sub>1</sub> и F<sub>2</sub>.
- От скрещивания комолого быка с рогатыми коровами получено 8 комолых телят в F<sub>1</sub> и 48 телят в F<sub>2</sub>. При условии, что комолость доминирует над рогатостью, определить сколько разных генотипов получено в F<sub>2</sub> и какова их численность?

#### № 4.4

- Какие типы гамет образуют организмы с генотипом: АА; Аа?
- При опылении черносеменного растения (черная окраска доминирует над белой), пыльцой белосеменного растения получили половину растений с черными и половину с белыми семенами. Определить генотип черносеменного материнского растения.
- У человека карий цвет глаз доминирует над голубым. Гомозиготный кареглазый мужчина женился на голубоглазой женщине. Будут ли от них голубоглазые дети?

#### № 4.5

- Какие типы гамет образуют особи, имеющие генотипы: АА; Аа?
- При скрещивании гомозиготного черносеменного растения с белосеменным получены растения с черными семенами. Какую окраску семян будет иметь потомство от скрещивания двух таких черносеменных особей F<sub>1</sub> между собой?
- У человека карий цвет глаз доминирует над голубым. Кареглазая женщина, у отца которой были голубые глаза, а у матери карие глаза, вышла замуж за голубоглазого мужчину, родители которого имели карие глаза. Какой цвет глаз будет у их детей?

#### № 4.6

- Какие типы гамет образуют особи с генотипом: АА; аа?
- Г. Мендель скрещивал растения гороха с округлыми и морщинистыми семенами. В F<sub>2</sub> были получены 7324 горошины, из них 5474 округлые и 1850 морщинистые. Нарисуйте схему скрещивания с указанием генотипов и гамет. Можно ли установить, какой признак доминирует?
- У человека карий цвет глаз доминирует над голубым. Каковы генотипы кареглазых родителей, у которых родился голубоглазый ребенок и возможно ли это?

#### № 4.7

- Какие типы гамет образуют организмы с генотипом: АА; Аа?
- В результате скрещивания серых мышей с белыми в F<sub>1</sub> появились серые мыши, в F<sub>2</sub> – 198 серых и 72 белые. Как наследуются признаки? Подтвердите схемами.
- У свиней нормальная длина (А) туловища доминирует над меньшей (а). Определить генотипы скрещиваемых животных, если в их потомстве наблюдается расщепление по этим признакам в отношении 1:1.

#### № 4.8

- Какие типы гамет образуют особи с генотипом: АА; аа?
- Определить масть животных в потомстве каждого из следующих скрещиваний: а) Rr x Rr; б) rr x Rr; в) rr x RR; при условии, что R – обуславливает вороную масть, r – гнедую?

3. У свиней нормальная длина (А) туловища доминирует над меньшей (а). Определить генотипы скрещиваемых животных, если в их потомстве наблюдается расщепление по этим признакам в отношении 3:1.

№ 4.9

1. Какие типы гамет образуют организмы, имеющие генотипы: АА; Аа; аа?
2. При скрещивании маток с черной шерстью (черная шерсть доминирует над белой) с бел шерстными баранами получены животные с черной шерстью. Какую окраску шерсти будет иметь потомство от скрещивания двух таких особей F<sub>1</sub> между собой?
3. У свиней крупной белой породы скороспелость доминирует над позднеспелостью аборигенных свиней. При скрещивании этих свиней между собой получены гибриды, у которых скороспелость форм в 3 раза больше чем позднеспелых. Определить генотип родительских форм.

№ 4.10

1. Какие типы гамет образуют особи, имеющие генотипы: Аа; аа?
2. При скрещивании коричневой норки с серой, получено потомство коричневой окраски, а в F<sub>2</sub> – 47 коричневых и 15 серых норчат. Какой признак доминирует? Покажите на схемах. Сколько будет гомозигот среди потомков F<sub>2</sub>?
3. При скрещивании серой мухи (серый цвет доминирует над черным) с черной потомство имело серую окраску тела. Определить генотип серой мухи.

№ 4.11

1. Какие типы гамет образуют особи, имеющие генотипы: АА; аа?
2. У фасоли черная окраска семенной кожуры (А) доминирует над белой (а). Определить окраску семян у растений, полученных в результате следующих скрещиваний: а) Аа х Аа; б) Аа х аа.
3. При скрещивании пегих кроликов со сплошь окрашенными в F<sub>1</sub> получены только пегие крольчата, в F<sub>2</sub> – 23 пегих и 8 со сплошной окраской. Какой признак доминантен? Сколько крольчат из 23 пегих гомозиготны?

№ 4.12

1. Какие типы гамет образуют особи, имеющие генотипы: АА; Аа; аа?
2. Скрещивание двух вихрастых морских свинок между собой дало 12 вихрастых и 4 гладких потомка. Какая часть вихрастых потомков должна оказаться гомозиготной по этому признаку? Покажите на схеме.
3. У человека полидактилия (шестипалость) детерминирована доминантным геном. От брака гетерозиготного шестипалого мужчины с женщиной с нормальным строением руки, родилось двое детей: один ребенок пятипалый, а другой – шестипалый. Каковы генотипы родителей и детей?

№ 4.13

1. Какие типы гамет образуют организмы с генотипом: АА; Аа?
2. Вихрастая морская свинка при скрещивании с гладкой дала 9 вихрастых и 7 гладких потомков. Каковы генотипы родителей и потомков? Объясните полученное расщепление.
3. У человека умение владеть преимущественно правой рукой доминирует над умением владеть преимущественно левой рукой. Мужчина-правша, мать которого была левшой, женился на женщине – правше, имевшей трех братьев и сестер, двое из которых – левши. Определите возможные генотипы женщины и вероятность рождения от этого брака детей – левшей.

№ 4.14

1. Какие типы гамет образуют организмы с генотипом: АА; аа?
2. У лошадей имеется наследственная болезнь гортани, обуславливающая характерный хрип при беге. От больных родителей часто рождаются здоровые жеребята. Доминантно или рецессивно это заболевание? Покажите на схеме .
3. У кур розовидный гребень определяется геном R, листовидный – r. Петух с розовидным гребнем скрещен с двумя курами с розовидным гребнем. От первой получены 14 цыплят – все с розовидным гребнем. От второй – 9 цыплят, из которых 7 с розовидным и 2 с листовидным гребнем. Каковы генотипы всех трех родителей?

#### № 4.15

1. Какие типы гамет образуют особи, имеющие генотипы: AA; Aa; aa?
2. При самоопылении черносеменного растения получили  $\frac{3}{4}$  черносеменных и  $\frac{1}{4}$  белосеменных растений. Определить генотип исходного растения.
3. У кроликов шерсть нормальной длины доминантный признак, короткая – рецессивный. У крольчихи с короткой шерстью родились 7 крольчат, из которых 4 с короткой шерстью, а 3 с нормальной. Определите генотип и фенотип отца.

### ЗАНЯТИЕ 5. Наследование признаков при неполном доминировании

#### № 5.1

1. Что такое доминирование?
2. При полном доминировании родительская гомозигота AA и гетерозигота F<sub>1</sub>-Aa одинаковы или нет по фенотипу?
3. Какое расщепление по фенотипу наблюдается в F<sub>2</sub> при неполном доминировании?
4. От скрещивания гнедых лошадей с альбиносами (гнедая масть доминирует над альбиносами), рождаются жеребята с золотисто-желтой окраской туловища при почти белой гриве и хвосте (окраска поломино). При разведении гибридов F<sub>1</sub> между собой в F<sub>2</sub> возникло расщепление по фенотипу: 1 гнедая : 2 поломино : 1 альбинос. Как наследуется поломино у лошадей?

#### № 5.2

1. Что такое неполное доминирование?
2. Как иначе называется неполное доминирование и почему?
3. Как называется явление, когда один ген оказывает действие на ряд признаков?
4. У норки доминантный ген В в гетерозиготном состоянии обуславливает серебристо-соболиную окраску меха (босс), а в гомозиготном – имеет летальное действие (BB). Рецессивные аллели (vv) обуславливают темно-коричневую или стандартную окраску меха. Какое потомство ожидается при скрещивании норки босс между собой?

#### № 5.3

1. Что такое полное доминирование?
2. Какое положение занимают потомки F<sub>1</sub> при неполном доминировании по степени выраженности признака по сравнению с родителями?
3. Как фенотипически проявляется действие летальных генов?
4. У львиного зева красная окраска цветов R не полностью доминирует над белой r окраской. Взаимодействие генов R и r дает розовую окраску цветов. Определить окраску цветов в потомстве каждого из следующих скрещиваний: а) Rr и Rr; б) Rr и rr.

#### № 5.4

1. Чем отличается полное доминирование от неполного?
2. В чем заключается отклонение в F<sub>2</sub> от 2-го закона Г. Менделя при действии летальных генов, если они доминантные?
3. В каком состоянии (гомо- или гетерозиготном) летальные гены проявляют свое действие?
4. При скрещивании длинноухих овец (AA) с безухими (aa) получается потомство с короткой ушной раковиной. Как называется такой тип наследования? Какое потомство ожидается при скрещивании короткоухих маток с такими же баранами? Безухих с короткоухими? Составьте схемы скрещиваний и сделайте их анализ.

#### № 5.5

1. Что такое полное доминирование и как оно проявляется фенотипически?
2. Совпадает ли число фенотипических классов с генотипическими в F<sub>2</sub> при неполном доминировании и почему?
3. Гибель организмов вызывается в доминантном или рецессивном гомозиготном состоянии летальных генов?
4. При скрещивании норки босс (Vv) между собой 25% потомства в гомозиготном (VV) состоянии гибнет. Как избежать этого результата, при условии что V – босс, v – темно-коричневая окраска меха?

#### № 5.6

1. Что такое неполное доминирование и как оно проявляется фенотипически?

2. Почему неполное доминирование иначе называют промежуточным наследованием?
3. Каков генотип потомков  $F_2$  при неполном доминировании? Написать расщепление.
4. Желтая морская свинка при скрещивании с белой всегда дает кремовое потомство. При скрещивании кремовых свинок между собой, наблюдается расщепление в потомстве по фенотипу: 1 желтая: 2 кремовых: 1 белая. Каков характер наследования окраски шерсти морских свинок? Составьте схемы скрещиваний в соответствии с условием задачи.

#### № 5.7

1. Чем отличается полное доминирование от неполного?
2. При неполном доминировании родительская гомозигота AA и гетерозигота  $F_1$ -Aa одинаковы или нет по фенотипу?
3. В чем проявляется действие плейотропных генов?
4. У андалузских кур фактор черного оперения (В) и белого (в) в гетерозиготном состоянии (Вв) называют голубую окраску оперения. Каков будет фенотип  $F_1$  при скрещивании белой курицы с черным петухом? Какое потомство ожидается от скрещивания двух особей с голубым оперением?

#### № 5.8

1. Что характерно для неполного доминирования?
2. В чем заключается отклонение в  $F_2$  от 2-го закона Г.Менделя, при действии летальных генов, если они рецессивные?
3. Могут ли плейотропные гены одновременно быть летальными и в каком случае?
4. Для кур породы брама характерно медленное оперение (К), которое неполно доминирует над быстрым оперением (к), свойственным породе леггорн. Гомозиготных кур породы брама скрестили с гомозиготными петухами породы леггорн. Потомство  $F_1$  в дальнейшем спаривалось между собой. В  $F_2$  вылупилось 840 цыплят. Какое расщепление наблюдалось в  $F_2$ ? Сколько цыплят имели промежуточную скорость роста перьев?

#### № 5.9

1. Как проявляется неполное доминирование у гибридов  $F_2$ ?
2. Какова степень выраженности признака по сравнению с родителями у гибридов  $F_1$  при неполном доминировании?
3. Можно ли избежать летального действия генов?
4. У некоторых пород собак наблюдается олигодонтия (недостаточное число зубов), которая наследуется по рецессивному типу. Самки породы доберман, имеющих олигодонтию, спарили со здоровым самцом по данному признаку. Все щенки родились здоровыми. Гибридных самок  $F_1$  скрестили с самцом такого же генотипа, как они. Родилось 30 щенят. Какое расщепление по фенотипу может быть в  $F_2$ ? Сколько среди гибридов  $F_2$  могло быть щенят с олигодонтией?

#### № 5.10

1. Каков генотип и фенотип гибридов  $F_1$  при неполном доминировании?
2. Как иначе называется неполное доминирование?
3. Летальный исход у организмов вызывается в доминантном или рецессивном гомозиготном состоянии генов?
4. При скрещивании между собой хохлатых уток,  $\frac{1}{4}$  эмбрионов гибнет перед вылуплением. Среди вылупившихся утят 2 части имеют хохолок, а 1 часть без хохолка. Как наследуется признак наличия хохолка у уток? Составьте схему скрещивания.

#### № 5.11

1. Каков генотип и фенотип гибридов  $F_1$  при полном доминировании?
2. При полном доминировании родительская гомозигота AA и гетерозигота  $F_1$  Aa одинаковы или нет по фенотипу?
3. Какое отклонение от 2-го закона Менделя в характере расщепления можно наблюдать в  $F_2$  при неполном доминировании?
4. Признак укороченных ног у кур (Ср) доминирует над длинноногостью (ср). У гомозиготных по гену коротконогости цыплят клюв настолько мал, что они не могут пробить яичную скорлупу и гибнут, не вылупившись из яйца. В хозяйстве, разводящем только коротконогих кур, получено 3000 цыплят. Сколько среди них коротконогих?

#### № 5.12

1. Почему при полном доминировании родительская гомозигота AA и гетерозигота F<sub>1</sub> Aa одинаковы по фенотипу?
2. В чем заключается отклонение в F<sub>2</sub> от 2-го закона Г. Менделя при неполном доминировании?
3. Как называется явление, когда один ген оказывает действие на ряд признаков?
4. У каракульских овец серый цвет шерстного покрова (W) доминирует над черным (w). В гомозиготном состоянии он оказывает летальное действие. Какая часть потомства от скрещивания двух серых особей погибнет? Как избежать этого? Подтвердите на схемах.

#### № 5.13

1. Почему при неполном доминировании родительская гомозигота AA и гетерозигота F<sub>1</sub> Aa не одинаковы по фенотипу?
2. Почему при неполном доминировании в F<sub>2</sub> наблюдается отклонение в расщеплении?
3. Как влияет действие летальных генов на наследование признаков?
4. У крупного рогатого скота ген D (декстер) определяет укороченность головы и ног, обуславливает улучшение мясных качеств, но в гомозиготном состоянии обладает летальным действием. Каким будет расщепление при спаривании между собой двух гетерозиготных животных, гетерозиготного с рецессивным гомозиготным?

#### № 5.14

1. Что такое неполное доминирование и как оно влияет на характер проявления признаков?
2. Почему при неполном доминировании совпадает число фенотипических классов с генотипическими в F<sub>2</sub>?
3. Можно ли назвать плейотропное действие генов полезным для организма?
4. У мышей доминантный ген желтой окраски (Y) в гомозиготном состоянии обладает летальным действием. Его рецессивная аллель (y) обуславливает черную окраску. Каков генотип взрослых желтых мышей, какое будет расщепление при спаривании их между собой и при спаривании с черными?

#### № 5.15

1. Что такое плейотропное действие генов? Приведите примеры.
2. Как иначе называется неполное доминирование и почему?
3. Летальное действие генов вызывается в доминантном или рецессивном гомозиготном состоянии их?
4. У кур есть мутация голошейка Na. Мутация неполно доминантная: гетерозиготы имеют на шее пучки коротких перьев. Скрещивали нормальных кур (па) с петухами породы голошейка, затем гибридов F<sub>1</sub> скрестили между собой. В F<sub>2</sub> вылупилось 120 цыплят. Сколько среди них имели на шее пучки коротких перьев?

### **ЗАНЯТИЕ 6. Наследование признаков при дигибридном скрещивании**

#### № 6.1

1. По скольким альтернативным признакам отличаются родительские формы одна от другой при дигибридном скрещивании?
2. В чем заключается закон независимого наследования признаков?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: AABV; AaBV.
4. Черная масть кролика доминирует над белой, а короткая шерсть над длинной. Определить какое потомство ожидается при скрещивании черной короткошерстной гомозиготной самки с белым длинношерстным самцом? Самки первого поколения с белым длинношерстным самцом?

#### № 6.2

1. По каким признакам различались растения гороха, используемые Г. Менделем для дигибридного скрещивания?
2. Что лежит в основе 3-го закона Менделя?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: AABV; AaBV.
4. Серая масть лошади (A) доминирует над черной (a), отсутствие каштанов на ногах (B) над их наличием (b). Потомство F<sub>1</sub> полученное в результате спаривания гомозиготных серых жеребцов с каштанами на ногах и гомозиготных вороных кобыл без кашта-

нов имеет серую масть без каштанов на ногах. Определить потомство  $F_2$  полученного при спаривании жеребца  $F_1$  с вороными кобылами с каштанами на ногах?

#### № 6.3

1. В каком соотношении по фенотипу наследуются признаки в  $F_2$  при дигибридном скрещивании?
2. В чем заключается закон независимого наследования признаков?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: аавв; ААВв?
4. Гомозиготный черный комолый бык спаривается с красными рогами коровами. Каким ожидается следующее поколение, полученное от скрещивания гибридов  $F_1$  между собой, если комолость доминирует над рогатостью, а черная масть над красной?

#### № 6.4

1. При каком условии 2 пары признаков наследуются независимо друг от друга?
2. Что лежит в основе 3-го закона Менделя?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: ААВВ; ААвв.
4. Черная масть кролика доминирует над белой, а короткая шерсть над длинной. Определить какое потомство ожидается при скрещивании двух гетерозиготных черных короткошерстных особей?

#### № 6.5

1. Как называется установленный Г. Менделем 3 закон и что лежит в его основе?
2. Сколько сортов гамет образуют гибриды  $F_1$  при независимом наследовании признаков и почему?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: аААВв; АаВв.
4. У свиней северокавказской породы черные отметины на теле (А) доминируют над белым (а), а длинное тело (В) над коротким (в). Дегетерозиготное чёрное длинное животное скрещено с белым короткотелым животным. Определить генотип и фенотип гибридов  $F_1$ ?

#### № 6.6

1. Сформулируйте 3-й закон Менделя.
2. Каково расщепление по фенотипу в  $F_2$  согласно 3 закона Г. Менделя?
3. Какие типы гамет образуют следующие генотипы: ААВВ; АаВв?
4. У кур оперенные ноги (О) доминируют над голыми (о), гороховидный гребень (Р) над простым (р). Петух с оперенными ногами и гороховидным гребнем, спаренный с голоногой курицей с гороховидным гребнем, дал потомство с оперенными ногами. Большинство потомков имели гороховидный гребень, небольшая часть – простой. Определите генотипы родителей и составьте схему скрещивания.

#### № 6.7

1. Почему при дигибридном скрещивании контрастные пары признаков наследуются независимо друг от друга?
2. Какой закон Г. Менделя проявляется в  $F_1$  при дигибридном скрещивании? Объясните его действие.
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: аААВв; АаВв.
4. Серая масть лошади (А) доминирует над вороной (а), отсутствие каштанов на ногах (В) над их наличием (в). Определить фенотип потомства  $F_1$  получаемого при спаривания серых жеребцов без каштанов на ногах и гомозиготных вороных кобыл с каштанами?

#### № 6.8

1. По каким признакам различались растения гороха, используемые Г. Менделем для дигибридного скрещивания?
2. Что такое дигибридное скрещивание?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: ааВВ; АаВв?
4. При скрещивании двух черных мух (а) у одной из которых были нормальные (В), а у другой – зачаточные крылья (в), все потомство имело черное тело, но у половины его крылья были нормальные, а у половины зачаточные. Определить генотип родителей, (А) – серое тело.

#### № 6.9

1. Почему при дигибридном скрещивании гибриды  $F_1$  образуют не 2, а 4 сорта гамет?
2. В чем заключается закон независимого наследования признаков?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: АаВВ; ААвв.
4. При скрещивании двух мух с зачаточными крыльями, из которых одна была серой (А), а другая черной (а), в потомстве получены серые мухи с зачаточными крыльями. Определить генотип родителей: (В) – нормальные крылья; (в) – зачаточные.

#### № 6.10

1. При каком условии 2 пары признаков наследуются независимо друг от друга?
2. Что лежит в основе 3-го закона Менделя?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: ааавв; ААВв?
4. У свиней белая щетина (А) доминирует над черной (а), а наличие сережек (В) над их отсутствием (в). Определить генотип родителей по фенотипу полученного потомства, если при скрещивании черной свиноматки без сережек с белым хряком с сережками рождается потомство белое с сережками?

#### № 6.11

1. Как называется установленный Г. Менделем 3 закон и что лежит в его основе?
2. В чем заключается закон независимого наследования признаков?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: аавв; ААВв?
4. У собак жесткая шерсть (А) доминирует над мягкой (а), нормальные уши (В) над длинными (в). Определить генотип родителей по фенотипу полученного потомства при скрещивании гетерозиготной жесткошерстной с нормальными ушами самки с мягкошерстной с длинными ушами производителем?

#### № 6.12

1. Какое скрещивание называют дигибридным?

2. Каково расщепление по фенотипу в  $F_2$  согласно 3 закона Г. Менделя?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: АаВВ; ААвв.
4. У свиней белая щетина (А) доминирует над черной (а), а наличие сережек (В) над их отсутствием (в). Определить генотип родителей по фенотипу полученного потомства, если при скрещивании черной свиноматки без сережек с белым хряком с сережками рождается 50% белых поросят и 50% черных поросят с сережками?

#### № 6.13

1. При дигибридном скрещивании по скольким альтернативным признакам отличаются родительские формы одна от другой?
2. В чем заключается закон независимого наследования признаков?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: аааВВ; АаВв?
4. У собак черная окраска шерсти (В) доминирует над коричневой (в), а висячее ухо (Н) над стоячим (h). Гомозиготная черная самка с висячими ушами спарена с коричневым самцом со стоячими ушами. Каков генотип и фенотип потомства  $F_1$  и  $F_2$ ?

#### № 6.14

1. Назовите и сформулируйте 3-й закон Г. Менделя?
2. Каково расщепление по фенотипу в  $F_2$  согласно 3 закона Г. Менделя?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: ААВв; АаВв.
4. У свиней однопалость (синдактилия), обусловлена геном В и доминирует над нормой (двупалостью b), а белая масть (I) над черной (i). Белый однопалый хряк был спарен с черными нормальными свиноматками. В дальнейшем самок  $F_1$  скрещивали с черным двупалым хряком. Каков генотип и фенотип полученного во всех вариантах скрещиваний потомства?

#### № 6.15

1. Сколько и какие пары признаков учитывал Г. Мендель при дигибридном скрещивании?

2. В чем заключается закон независимого наследования признаков?
3. Какие типы гамет образуют животные следующих генотипов: AABV; AaBV.
4. У человека карие глаза доминируют над голубыми, а курчавые волосы – над гладкими. У курчавого голубоглазого мужчины и кареглазой гладковолосой женщины – четверо детей, каждый из которых отличается по одному признаку от другого. Каковы генотипы родителей и детей в этой семье?

### ЗАНЯТИЕ 7. Анализирующее скрещивание

#### № 7.1

1. К какому методу генетики относится анализирующее скрещивание?
2. Что такое возвратное скрещивание?
3. Как называется скрещивание гибрида  $F_1$  с особью, сходной по генотипу с родительской гомозиготной по рецессивному признаку?
4. У собак жесткая шерсть (А) доминантна над мягкой (а). От спаривания жесткошерстных родителей появился жесткошерстный щенок. Как выявить его генотип?

#### № 7.2

1. Какой вид скрещивания позволяет установить генотип особи?
2. Что такое анализирующее скрещивание?
3. Каким будет потомство от анализирующего скрещивания по фенотипу, если испытываемая особь была гетерозиготной?
4. При спаривании коричневой (в) самки с черным самцом (В) родилось 15 щенков, из которых 8 было черных и 7 коричневых. Каковы генотипы родителей и потомков?

#### № 7.3

1. Можно при полном доминировании по фенотипу определить гомозиготна или гетерозиготная особь?
2. Каким будет расщепление по фенотипу при анализе генотипа дигетерозиготной особи?
3. Каким будет потомство от анализирующего скрещивания по фенотипу, если испытываемая особь была гомозиготной?

4. Белая масть шерсти (А) доминирует над черной (а) мастью северных короткохвостых овец. Подозревается, что среди тонкорунных баранов имеются особи гетерозиготные по масти. Можно ли проверить это, если имеется несколько черных маток?

#### № 7.4

1. При каком виде скрещивания можно установить гомозиготна или гетерозиготна особь?
2. Почему возвратное скрещивание с доминантной гомозиготой нельзя назвать анализирующим?
3. Каким будет потомство от анализирующего скрещивания по фенотипу, если испытываемая особь была гетерозиготной?
4. У собак черная масть (А) доминирует над коричневой (а). Определить генотипы родителей и потомков, если при спаривании черной самки с черным самцом получено 18 черных и 5 коричневых щенков?

#### № 7.5

1. При каком виде скрещивания можно установить гомозиготна или гетерозиготна особь?
2. Приведите схему анализирующего скрещивания, если в анализ вовлечены две пары признаков?
3. Для чего применяется анализирующее скрещивание?
4. У лисиц наблюдается наличие белого пятна на груди. При скрещивании белогрудых лисиц между собой было получено 100% белогрудых животных. Объяснить характер наследования этого признака и установить генотипы родителей, если наличие пятна доминирует над темногрудостью?

#### № 7.6

1. К какому методу генетики относится анализирующее скрещивание?
2. Что такое возвратное скрещивание?
3. Почему для анализа генотипа особи нужно получить от нее не менее 6-10 потомков?

4. У лисиц наблюдается наличие белого пятна на груди. При скрещивании белогрудых лисиц между собой было получено 75% белологрудых и 25% темногрудых животных. Объяснить характер наследования этого признака и установить генотипы родителей?

#### № 7.7

1. Можно ли при полном доминировании по фенотипу определить гомозиготна или гетерозиготная особь?
2. Привести схемы возвратного скрещивания?
3. Каким будет потомство от анализирующего скрещивания по фенотипу, если испытываемая особь была гомозиготной?
4. У собак черная окраска шерсти (В) доминирует над коричневой (в), короткая шерсть (L) над длинной (l). Каков генотип черного короткошерстного самца, имеющего 15 братьев и сестер, из которых 3 было черных короткошерстных, 4 коричневых длинношерстных, 4 черных длинношерстных и 4 коричневых короткошерстных?

#### № 7.8

1. Почему при полном доминировании по фенотипу не всегда можно установить гомозиготна или гетерозиготна особь?
2. Какое количество потомков необходимо получить от особи, генотип которой нужно определить?
3. Каким будет потомство от анализирующего скрещивания по фенотипу, если испытываемая особь была гетерозиготной?
4. У собак черная окраска шерсти (В) доминирует над коричневой (в), а короткая шерсть (L) над длинной (l). Коричневая короткошерстная самка спаривалась с черным длинношерстным самцом. От этих нескольких спариваний родилось 8 черных короткошерстных, 7 черных длинношерстных, 6 коричневых короткошерстных и 9 коричневых длинношерстных щенков. Каковы генотипы родителей и потомков?

#### № 7.9

1. К какому методу генетики относится анализирующее скрещивание?
2. Как выглядят схемы возвратных скрещиваний, если учитываются две пары признаков?

3. Какое количество потомков требуется получить от анализируемой особи для проверки ее генотипа?
4. Белая масть шерсти (А) доминирует над черной (а) мастью северных короткохвостых овец. Подозревается, что среди тонкорунных баранов имеются особи гетерозиготные по масти. Можно ли проверить это, если имеется несколько черных маток?

#### № 7.10

1. При каком виде скрещивания можно установить гомозиготна или гетерозиготна особь?
2. Что такое анализирующее скрещивание и для чего оно применяется?
3. Сколько фенотипов и генотипов будет в потомстве от анализирующего скрещивания при учете двух пар признаков?
4. В хозяйство было завезено 50 телок и 1 бык. Все животные были черными и комолыми. Среди полученных от этих животных 50 телят 28 были черные комолые, 10 черные рогатые, 8 красные комолые и 4 красные рогатые. Какие признаки доминантные, а какие рецессивные? Каков генотип завезенных животных?

#### № 7.11

1. Можно ли при полном доминировании по фенотипу определить гомозиготна или гетерозиготная особь?
2. Привести схемы возвратного скрещивания?
3. Каким будет потомство от анализирующего скрещивания по фенотипу, если испытываемая особь была гетерозиготной?
4. У лисиц наблюдается наличие белого пятна на груди. При скрещивании белогрудых лисиц с темногрудыми было получено 50% белологрудых и 50% темногрудых животных. Объяснить характер наследования этого признака и установить генотипы родителей?

#### № 7.12

1. К какому методу генетики относится анализирующее скрещивание?
2. Привести схемы анализирующего скрещивания.
3. Для чего применяется анализирующее скрещивание?

4. У крупного рогатого скота черная масть и комолость доминируют над красной мастью и рогатостью. Черные комолые коровы от спаривания с черным комолым быком дали 8 черных комолых телят. Тот же бык при спаривании с двумя другими черными комолыми коровами дал 1 комолого черного и 1 рогатого черного потомка. Каковы генотипы всех животных?

№ 7.13

1. Можно ли при полном доминировании по фенотипу определить гомозиготна или гетерозиготная особь?
2. Что такое возвратное скрещивание?
3. Какое количество потомков требуется получить от анализируемой особи для проверки на гомозиготность?
4. У крупного рогатого скота черная масть доминирует над красной, а белоловость над сплошной окраской. Какое потомство получится в случае спаривания красных белоловых коров (гомозиготных по белоловости) с гомозиготным сплошной окраски черным быком? В случае, если коровы гетерозиготны по белоловости?

№ 7.14

1. Можно ли при полном доминировании по фенотипу определить гомозиготна или гетерозиготная особь?
2. Что такое анализирующее скрещивание?
3. Каким будет потомство от анализирующего скрещивания по фенотипу, если испытываемая особь была гомозиготной?
4. У свиней белая щетина (А) доминирует над черной (а). Определить генотипы родителей и потомков, если при спаривании черных свиноматок с белыми хряками рождается белое потомство?

№ 7.15

1. К какому методу генетики относится анализирующее скрещивание?
2. Привести схемы возвратного скрещивания?
3. Какое количество потомков требуется получить от анализируемой особи для проверки на гомозиготность?

4. У свиней белая щетина (А) доминирует над черной (а). Определить генотипы родителей и потомков, если при спаривании белых хряков с черными свиноматками было получено 50% белых и 50% черных поросят?

**ЗАНЯТИЕ 8. Взаимодействие неаллельных генов**

№ 8.1

Белое оперение кур определяется двумя парами несцепленных неаллельных генов эпистатического действия. В одной паре доминантный ген определяет окрыленное оперение. В другой паре доминантный ген подавляет окраску, рецессивный же – не подавляет ее. При скрещивании белых дигетерозиготных кур получено 1410 цыплят - 264 окрашенных, остальные белые.

Определите:

1. Сколько типов гамет образуют белые куры?
2. Сколько разных фенотипов среди цыплят?
3. Сколько будет цыплят – гетерозигот?
4. Сколько цыплят дадут нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько будет цыплят рецессивных гомозигот?

№ 8.2

У попугайчиков-неразлучников цвет перьев определяется двумя парами несцепленных неаллельных генов. Сочетание двух доминантных генов А и В (хотя бы по одному из каждой аллельной пары) определяет зеленый – цвет, сочетание доминантного гена из одной пары и рецессивных генов из другой определяет желтый (А) или голубой (В) цвет. Гомозиготные особи по рецессивным аллелям обеих пар генов имеют белый цвет.

При скрещивании дигетерозиготных зеленых попугайчиков – неразлучников между собой получено 53 зеленых, 17 желтых, 18 голубых и 6 белых птенцов.

Определите:

1. Сколько типов гамет несут зеленые попугайчики – неразлучники?
2. Сколько дигетерозигот получено в потомстве?
3. Сколько было дигомозигот?

4. Сколько потомков должно родиться от зеленых попугайчиков – неразлучников чтобы в их числе было 12 белых?
5. Сколько при этом будет голубых?

### № 8.3

У собак породы кокер-спаниель встречаются четыре масти: черная, рыжая, коричневая и светло-желтая, которые обуславливаются разным сочетанием двух пар неаллельных генов Аа и Вв.

Сочетание в генотипе обоих доминантных генов А и В дает черную масть, при отсутствии доминантного гена В появляется рыжая масть, а при отсутствии доминантного гена А – коричневая.

Светло-желтые собаки всегда гомозиготны по рецессивным аллелям этих генов. Дигетерозиготный черный кокер – спаниель был скрещен со светло-желтым. Определите:

1. Сколько родится черных собак?
2. Сколько родится рыжих собак?
3. Сколько родится коричневых собак?
4. Сколько родится светло-желтых собак?
5. Сколько типов гамет несут черные собаки-родители?

### № 8.4

У норок цвет меха определяется двумя парами несцепленных неаллельных генов. Сочетание доминантных генов из обеих аллельных пар обуславливает коричневую окраску. Гомозиготы по рецессивным аллелям обеих пар имеют платиновую окраску меха. Скрещены между собой дигетерозиготные норки.

Определите:

1. Сколько типов гамет образует дигетерозиготная норка?
2. Сколько из 48 родившихся щенят будут дигетерозиготными?
3. Сколько родится платиновых щенят?
4. Сколько щенят дигомозиготных?
5. Сколько типов гамет образует платиновая норка?

### № 8.5

У норок различные окраски меха (коричневая, серая, бежевая, кремовая) определяется различными сочетаниями доминантных и рецессивных генов А, а В, в. Если оба доминантных гена А и В при-

сутствуют в генотипе, то окраска меха норки будет коричневая, если в доминантном состоянии находится только ген А, а другой в рецессивном, то окраска меха будет серая, если только ген В в доминантном, а первый в рецессивном – бежевая. Если оба неаллельных гена находятся в рецессивном состоянии, то у норки появляется кремовая окраска.

От скрещивания гетерозиготных норок, имеющих коричневую и кремовую окраску меха, было получено 48 цыплят.

Определите:

1. Сколько типов гамет образует норка с кремовой окраской меха?
2. Сколько разных генотипов получается в  $F_2$ ?
3. Сколько было разных фенотипов в  $F_2$ ?
4. Сколько было коричневых щенят?
5. Сколько было дигетерозигот в  $F_2$ ?

### № 8.6

Черная окраска смушек (араби) у каракульских овец (DD) доминирует над коричневой (камбар) – генотип таких овец dd. Спарены между собой гетерозиготные черные овцы и коричневые бараны. От них получено 364 ягненка.

Определите:

1. Сколько разных генотипов у ягнят?
2. Сколько разных фенотипов у ягнят?
3. Сколько ягнят имеет смушек типа камбар?
4. Сколько ягнят имеет смушек типа араби?
5. Возможно ли получение ягнят со смушком типа камбар в  $F_2$  путем скрещивания овец  $F_1$ ?

### № 8.7

Белое оперение кур определяется двумя парами несцепленных неаллельных генов (С и R). В одной паре доминантный ген определяет окрашенное оперение, его рецессивный аллель – белое оперение. В другой паре доминантный ген подавляет окраску, рецессивный – не подавляет окраску. При скрещивании дигетерозиготных белых кур получено потомство 1680 цыплят: 315 цыплят было окрашенных, остальные белые.

Определите:

1. Сколько типов гамет образуют родители?
2. Сколько типов гамет образуют гомозиготные окрашенные цыплята?
3. Сколько будет цыплят-дигетерозигот?
4. Сколько родится цыплят, дающих нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько будет цыплят рецессивных дигомозигот?

#### № 8.8

У собак породы кокер – спаниель масть обусловлена разным сочетанием двух пар генов. Разным мастям соответствуют следующие генотипы: черная – А – В, рыжая – А – вв, коричневая – ааВ – , светло-желтая – аавв.

При скрещивании дигетерозиготных черных собак породы кокер-спаниель получается потомство четырех мастей: 9 черных, 3 рыжих, 3 коричневых и 1 светло-желтый.

Определите:

1. Сколько типов гамет образует дигетерозиготная собака?
2. Сколько разных генотипов получено в потомстве?
3. Сколько разных генотипов будет у рыжих щенков?
4. Будет ли наблюдаться расщепление в потомстве светло-желтых собак?

#### № 8.9

Окраска оперения у кур определяется двумя парами несцепленных неаллельных генов (С и I). Доминантный ген одной пары определяет окрашенное оперение, а его рецессивный аллель – белое оперение. В другой паре доминантный ген подавляет окраску, рецессивный – не подавляет окраску.

От скрещивания дигетерозиготных белых кур с окрашенными петухами получено 915 окрещенных и 915 белых цыплят.

Определите:

1. Сколько типов гамет могут образовать белые куры?
2. Сколько типов гамет могут образовать окрашенные куры?
3. Сколько было цыплят дигетерозигот?
4. Сколько было цыплят дигомозигот?
5. Сколько цыплят дадут нерасщепляющееся потомство?

#### № 8.10

Форма гребня у кур зависит от взаимодействия двух генов R и P и может быть листовидной  $pprr$ , гороховидной –  $PPrr$ , розовидной  $RRpp$  и ореховидной –  $P – R$ . Скрещены между собой куры с гороховидным гребнем ( $Prrr$ ) и петухи с розовидным гребнем ( $Rrrr$ ). От них получено 160 цыплят.

Определите:

1. Сколько было цыплят с ореховидным гребнем?
2. Сколько было цыплят с гороховидным гребнем?
3. Сколько было цыплят с листовидным гребнем?
4. Сколько было цыплят с розовидным гребнем?
5. Сколько цыплят дадут нерасщепляющееся потомство?

#### № 8.11

При скрещивании кур породы белая шелковистая ( $aaBB$ ) с петухами породы белый доркинг ( $AAaa$ ) вылупились 1624 коричневых цыпленка  $F_1$ . Такая окраска пера вызвана взаимодействием комплементарных генов А и В, генотип  $аавв$  – обуславливает белую окраску.

Определите:

1. Сколько разных генотипов у полученных цыплят?
2. Сколько возможных генотипов у коричневых цыплят?
3. Возможно ли получение в  $F_2$  белых цыплят?
4. Возможно ли получение в  $F_2$  цыплят генотипа  $аавв$ ?
5. Сколько типов гамет образует гибрид  $F_1$ ?

#### № 8.12

У лошадей ген серой масти (С) подавляет действие гена вороной (В) и рыжей (в) масти.

Вороная и рыжая масти могут развиваться только при отсутствии гена С. При спаривании гомозиготных серых лошадей с рыжими получено в  $F_1$  8 жеребят. От них в разные годы (при спаривании между собой) было получено 16 потомков  $F_2$ ?

Определите:

1. Сколько типов гамет образует гетерозиготная серая лошадь?
2. Сколько разных генотипов имели рыжие лошади?
3. Сколько разных генотипов имели вороные лошади?

4. Сколько лошадей в  $F_2$  имели серую масть?
5. Сколько разных фенотипов будет в  $F_2$ ?

#### № 8.13

У лошадей ген серой масти (С) подавляет действие гена вороной (В) и рыжей (в) масти. Вороная и рыжая масть могут развиваться только при отсутствии гена С.

Спарены между собой гомозиготные вороные лошади и гетерозиготные серые. В  $F_2$  получено 16 жеребят.

Определите:

1. Сколько типов гамет образует гомозиготная вороная лошадь?
2. Сколько жеребят имело серую масть?
3. Сколько разных генотипов имели серые лошади?
4. Сколько вороных лошадей с одинаковыми генотипами при скрещивании дадут нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько разных фенотипов имели жеребята?

#### № 8.14

У собак ген А обуславливает черную окраску шерсти, его аллель ген а - коричневую. Ген I подавляет проявление окраски, а ген i не оказывает влияния на проявление окраски. Скрещены дигетерозиготные белые собаки (AaIi). От них получено 38 щенят.

Определите:

1. Сколько типов гамет образует каждый из родителей?
2. Сколько разных генотипов дают белые собаки?
3. Сколько коричневых щенят родится от данной пары собак?
4. Сколько разных фенотипов будет среди щенят в  $F_1$ ?
5. Сколько белых щенят родится от данной пары?

#### № 8.15

Среди овец встречаются длиннохвостые (24 позвонка) и короткохвостые (10 позвонков). Различия в длине хвоста зависят от двух пар генов с однозначным действием. Генотип длиннохвостых овец  $V_1V_1V_2V_2$ , короткохвостых –  $b_1b_1b_2b_2$ . Спаривали гомозиготных длиннохвостых овец с гомозиготными короткохвостыми.

1. Определить генотип гибридов  $F_1$ .

2. Определить число позвонков у ягнят  $F_1$ .
3. Определить дозу гена В у длиннохвостых овец в  $F_2$ .
4. Определить дозу гена b у короткохвостых овец в  $F_2$ .
5. Сколько позвонков будет у гибрида  $F_2$  при генотипе  $B_1b_1b_2b_2$ ?

### ЗАНЯТИЕ 9. Сцепленное наследование

#### № 9.1

1. Сколько сортов гамет образуют гетерозиготы в силу независимого комбинирования хромосом в мейозе?
2. Чем сопровождается разрыв сцепления генов?
3. Чем дальше расположены гены друг от друга, тем меньше сила сцепления или наоборот?
4. В клетках тканей крупного рогатого скота содержится 60 хромосом. Сколько групп сцепления имеется?
5. У кур ген S определяет серебристую пигментацию пера, ген D нормальные размеры тела, ген s золотистую окраску, ген d карликовость. При анализирующем скрещивании получено потомство: 12 серебристых нормальных, 12 золотистых карликовых, 184 золотистых нормальных, 184 серебристых карликовых. Проведите полный генетический анализ, определите процент кроссинговера.

#### № 9.2

1. Сколько сортов гамет образуют гетерозиготы при сцепленном наследовании признаков?
2. Как называются особи с новыми сочетаниями признаков в связи с кроссинговером?
3. Как зависит частота кроссинговера от расстояния между генами?
4. В клетках лошади содержится 64 хромосомы. Сколько групп сцепления имеется?
5. Гены D, E и F локализованы в определенном порядке в одной хромосоме. Между D и E перекрест составляет 8%, а между D и F = 25%. Каков перекрест между генами E и F?

#### № 9.3

1. Какое скрещивание позволяет определить полное и неполное сцепление?

2. Что такое группа сцепления?
3. По какой формуле определяется частота кроссинговера?
4. В клетках свиньи содержится 38 хромосом. Сколько групп сцепления имеется?
5. У кроликов короткие пальцы обусловлены рецессивным геном  $b$ , его доминантный аллель  $B$  определяет нормальную длину пальцев, редкая шерсть обусловлена геном  $f$ , а густая – геном  $F$ . Было проведено анализирующее скрещивание  $BbFf$  и  $bbff$ . Получено следующее расщепление в потомстве: короткопалых с редкой шерстью – 94, с нормальными пальцами и густой шерстью – 96, короткопалых с густой шерстью – 40, с нормальными пальцами и редкой шерстью – 35. Имеется ли сцепление генов? Если да, то каково расстояние между ними?

#### № 9.4

1. В какой стадии мейоза происходит кроссинговер и к чему приводит?
2. Как по фенотипу потомства определить наличие кроссинговера?
3. Что принято за единицу кроссинговера?
4. В клетках человека содержится 46 хромосом. Сколько групп сцепления имеется?
5. Дигетерозигота ( $AaBb$ ) скрещена с двойным рецессивом ( $aabb$ ). Было получено следующее количество потомков:  $A...B..$  – 903,  $aaB..$  – 102,  $A..bb$  – 98,  $aabb$  – 898. Объясните результаты. Какова сила сцепления между генами  $A$  и  $B$ ?

#### № 9.5

1. Как называется обмен гомологичными участками хромосом?
2. Как расположены гены в хромосомах?
3. Что принято за единицу расстояния между генами?
4. В клетках тканей овец содержится 54 хромосомы. Сколько групп сцепления имеется?
5. Гены  $A$ ,  $B$  и  $C$  расположены в одной группе сцепления. Между генами  $A$  и  $B$  кроссинговер происходит с частотой 7,4%, а между  $B$  и  $C$  – с частотой 2,9%. Как расположены гены в хромосоме, если расстояние между  $A$  и  $C$  составляет 10,3 морганиды?

#### № 9.6

1. Что такое сцепленное наследование признаков?
2. Какие гены образуют группу сцепления?
3. От чего зависит сила сцепления между генами в хромосоме?
4. В клетках собаки содержится 78 хромосом. Сколько групп сцепления имеется?
5. У кроликов английская окраска шерсти доминирует над сплошной, а короткая шерсть над длинной. Было проведено скрещивание английских короткошерстных самок со сплошными длинношерстными самцами. Первое поколение возвратно скрещено со сплошными длинношерстными. В потомстве были получены следующие результаты: 602 английских короткошерстных, 90 английских длинношерстных, 98 сплошных короткошерстных, 617 сплошных длинношерстных. Проведите полный генетический анализ. Определите процент кроссоверных особей.

#### № 9.7

1. Как определить число групп сцепления у вида?
2. Что такое неполное сцепление генов?
3. Для чего используют частоту кроссинговера?
4. В клетках мыши содержится 40 хромосом. Сколько групп сцепления имеется?
5. Гены  $A$ ,  $B$  и  $C$  расположены в одной группе сцепления в указанном порядке. Процент перекреста между  $A$  и  $B$  равен 20, а между  $B$  и  $C$  – 30. Каково расстояние между генами  $A$  и  $C$ ?

#### № 9.8

1. Что является причиной нарушения сцепления?
2. Чем характеризуется полное сцепление?
3. Как зависит частота кроссинговера от расстояния между генами?
4. В клетках кролика содержится 44 хромосомы. Сколько групп сцепления имеется?
5. У кроликов пятнистость и короткошерстность доминируют над сплошной окраской и ангорской шерстью. От скрещивания пятнистых короткошерстных крольчих с кроликами, имеющими сплошную окраску ангорскую шерсть, получено потомство: сплошной окраски ангорской длиной – 150, пятнистых с короткой шерстью – 157,

сплошной окраски короткой шерстью – 24 и пятнистых с ангорской шерстью – 26. Как наследуются признаки? Какие типы гамет образуются у родителей? Какие генотипы имеют потомки?

#### № 9.9

1. У каких организмов всегда наблюдается полное сцепление признаков?
2. Какое число гамет больше кроссоверных или некроссоверных?
3. Как называются особи с новыми сочетаниями признаков, отличными от родительских?
4. В клетках курицы содержится 78 хромосом. Сколько групп сцепления имеется?
5. Начертите наиболее вероятную карту группы сцепления генов А, В, D, Е, если известно, что расстояние между ними следующее: А – В = 25%, D – Е = 10%, А – D = 10%, D – В = 15%. Определите по построенной карте расстояние между генами Е и В.

#### № 9.10

1. Чем отличается полное сцепление от неполного?
2. Какой тип кроссинговера называется «одинарным»?
3. В клетках осла содержится 62 хромосомы. Сколько групп сцепления имеется?
4. Чему равна 1 морганида?
5. Гены D, Е и F образуют группу сцепления в одной хромосоме. Между D и Е перекрест составляет 18%, а между D и F = 15%. Каков перекрест между генами Е и F и в каком порядке гены расположены в хромосоме?

#### № 9.11

1. Как фенотипически определяется наличие полного сцепления?
2. Какой тип кроссинговера называется «двойным»?
3. Каких особей бывает больше кроссоверных или некроссоверных?
4. В клетках норки содержится 30 хромосом. Сколько групп сцепления имеется?
5. У кур коротконогость Ср доминирует над нормальными ногами ср, а розовидный гребень R над листовидным г. От кур с листовид-

ным гребнем, нормальными ногами и коротконогого петуха с розовидным гребнем получено потомство: 112 коротконогих с листовидным гребнем, 118 с нормальными ногами и розовидным гребнем, 9 коротконогих с розовидным гребнем, 11 с нормальными ногами и листовидным гребнем. Определите расстояние между генами Ср и R в хромосоме. Проведите генетический анализ, определив генотипы родителей и потомков.

#### № 9.12

1. Как фенотипически определяется нарушение сцепления?
2. На основании чего строят карты хромосом?
3. Всегда ли в ходе мейоза происходит кроссинговер?
4. В клетках нутрии содержится 42 хромосомы. Сколько групп сцепления имеется?
5. Расстояние между генами А и В – 5 м, между В и С – 10 м, А и С – 15 м, С и Е – 8 м. В каком порядке расположены гены в хромосоме?

#### № 9.13

1. Что происходит с генами при кроссинговере?
2. Перечислите основные положения хромосомной теории наследственности.
3. Что, кроме генотипа особи, позволяет определить анализирующее скрещивание?
4. В клетках утки содержится 80 хромосом. Сколько групп сцепления имеется?
5. У кур коротконогость Ср доминирует над нормальными ногами ср, а розовидный гребень R над листовидным г. Куры с длинными ногами и простым гребнем при скрещивании с коротконогим петухом с розовидным гребнем, получившим эти признаки от разных родителей, дали следующее потомство: 5 коротконогих с розовидным гребнем, 103 коротконогих с простым гребнем, 89 длинноногих с розовидным гребнем, 12 длинноногих с простым гребнем. Определите генотипы родителей и расстояние между генами, обуславливающими эти признаки, если они сцеплены.

#### № 9.14

1. Можно ли по фенотипу потомства определить случаи полного и неполного сцепления?

2. Чем объясняется линейное расположение генов в хромосомах?
3. Чем определяется сила сцепления между генами в хромосомах?
4. В клетках гуся содержится 82 хромосомы. Сколько групп сцепления имеется?
5. Начертите наиболее вероятную карту группы сцепления генов С, В, D, E, если известно, что расстояние между ними следующее:  $C - B = 15\%$ ,  $D - E = 12\%$ ,  $C - D = 11\%$ ,  $D - B = 10\%$ . Определите по построенной карте расстояние между генами E и B.

#### № 9.15

1. Что наблюдается чаще – полное или неполное сцепление признаков?
2. Кто впервые открыл явление сцепленного наследования?
3. Что является показателем расстояния между генами в хромосоме?
4. В клетках тканей окуня содержится 48 хромосом. Сколько групп сцепления имеется?
5. Гены расположены в хромосоме в следующем порядке: А С В. Расстояние между А и В – 15 м., между В и С – 5 м. Чему равно расстояние между генами А и С?

### ЗАНЯТИЕ 10. Наследование признаков, сцепленных с полом

#### № 10.1

1. Как называются хромосомы, по которым различаются мужские и женские особи одного вида?
2. Приведите схему наследования пола у млекопитающих.
3. Как называется процесс слияния мужских и женских половых клеток с образованием зиготы?
4. У кур породы плимутрок доминантный ген серой окраски оперения (В) локализован в X – хромосоме, его рецессивный аллель (b) вызывает черную окраску оперения. Определить фенотипы курочек и петушков, если спаривать черную курицу с гомозиготным серым петухом.

#### № 10.2

1. Как называются хромосомы, одинаково представленные у мужских и женских особей одного вида?
2. Как называется пол, образующий гаметы двух сортов по половым хромосомам?
3. Сколько типов гамет по половым хромосомам образуют особи женского пола птиц?
4. У дрозофилы рецессивный ген s укороченного тела, локализован в X – хромосоме. Определить фенотипы самок и самцов, если скрещены между собой самка, имеющая нормальное (S) тело, гетерозиготная по гену укороченного тела, и самец с укороченным телом.

#### № 10.3

1. Каков состав половых хромосом у особей женского пола дрозофил, млекопитающих.
2. Как называется пол, образующий гаметы одного сорта по половым хромосомам?
3. Как наследуется пол у птиц?
4. У некоторых пород кур встречается рецессивный сцепленный с полом ген n, который вызывает недоразвитость оперения. Половина бесперых курочек вылупляется, но выживает только половина из них. Определить фенотип цыплят, если скрещены между собой гетерозиготные петухи и куры с нормальным (N) оперением.

#### № 10.4

1. Каков набор хромосом у особей женского пола человека?
2. У какого вида организмов пол определяется числом аутосом?
3. В каких случаях у млекопитающих при оплодотворении развивается самка?
4. У дрозофилы рецессивный ген s укороченного тела, локализован в X – хромосоме. Определить фенотипы самок и самцов, если скрещены между собой самка с укороченным телом и самец, имеющий нормальное (S) тело.

#### № 10.5

1. Каков набор половых хромосом у особей мужского пола дрозофил?

2. Приведите структуру половых хромосом мужского пола у человека, птиц, клопов и кузнечиков.
3. В каких случаях у млекопитающих при оплодотворении развивается самец?
4. У кур породы плимутрок доминантный ген серой окраски оперения (В), локализован в X – хромосоме, его рецессивный аллель (b) вызывает черную окраску оперения. Определить фенотипы курочек и петухов, если спаривать серую курицу с гомозиготным черным петухом.

#### № 10.6

1. Каков набор хромосом у особей мужского пола у человека, млекопитающих?
2. Какой пол называется гетерогаметным?
3. Как называются признаки, гены которых расположены в половых хромосомах?
4. У кур полосатость оперения обусловлена доминантным сцепленным с полом геном С. Его рецессивный аллель – с, вызывает белую окраску оперения. При скрещивании белой курицы с гетерозиготным полосатым петухом было получено 20 цыплят. Определить фенотип курочек и петухов.

#### № 10.7

1. Какой пол у птиц гомогаметный?
2. Приведите структуру половых хромосом у бабочек, птиц и пресмыкающихся мужского пола.
3. Заболевает ли мальчик гемофилией, если получил рецессивный ген от матери?
4. Предполагается, что у крупного рогатого скота есть рецессивный аллель с, сцепленный с полом, вызывающий бесшерстность и отсутствие зубов у телят. Определить фенотип телочек и бычков, если скрещены между собой гетерозиготные по гену с коровы и нормальные (С) быки.

#### № 10.8

1. Приведите структуру половых хромосом у бабочек, птиц и пресмыкающихся женского пола.

2. Какой пол называется гомогаметным?
3. Заболевает ли девочка гемофилией, если получила рецессивный ген от матери?
4. У некоторых пород кур встречается рецессивный сцепленный с полом ген n, который вызывает недоразвитость оперения. Половина бесперых курочек вылупляется, но выживает только половина из них. Определить фенотип цыплят, если скрещены между собой гомозиготные петухи и куры с нормальным (N) оперением.

#### № 10.9

1. Какие признаки называются сцепленными с полом?
2. Что означает крисс-кросс наследование сцепленных с полом признаков?
3. Будут ли здоровыми дети, если мать с нормальной свертываемостью крови, а отец болен гемофилией?
4. У ряда млекопитающих гемофилия вызывается геном h, локализованным в X – хромосоме. Аллель H обуславливает нормальную свертываемость крови. Ожидается ли в потомстве появление больных детей, если отец и мать имеют нормальную свертываемость крови, но мать гетерозиготна по гену гемофилии.

#### № 10.10

1. Какие хромосомы называются аутосомами?
2. Зависит ли наследование сцепленных с полом признаков от направления скрещивания?
3. Подчиняются ли признаки, сцепленные с полом законам Менделя?
4. У дрозофилы рецессивный ген s укороченного тела, локализован в X – хромосоме. Определить фенотипы самок и самцов, если скрещены между собой самка, имеющая нормальное (S) тело, гомозиготная по гену укороченного тела, и самец с укороченным телом.

#### № 10.11

1. Какова функция Y хромосомы у млекопитающих?
2. Какой набор хромосом имеют самки пчел?
3. Каковы особенности наследования признаков, сцепленных с полом?

4. Мужчина, больной гемофилией (h), вступает в брак с нормальной (H) женщиной, отец которой страдал гемофилией. Определите вероятность рождения в этой семье здоровых детей.

#### № 10.12

1. Каков набор хромосом у особей мужского пола пчел?
2. Как влияет генетическая неактивность У хромосомы на проявление признаков гетерогаметного пола?
3. Сколько типов гамет по половым хромосомам у особей мужского пола млекопитающих?
4. У кур полосатость оперения обусловлена доминантным сцепленным с полом геном С. Его рецессивный аллель – с, вызывает белую окраску оперения. При скрещивании белой курицы с гомозиготным полосатым петухом было получено 20 цыплят. Определить фенотип курочек и петухов.

#### № 10.13

1. Каково соотношение мужского и женского полов у млекопитающих?
2. К каким нарушениям приводит нерасхождение половых хромосом при образовании гамет?
3. Что такое оплодотворение?
4. У кур доминантный ген рябой окраски сцеплен с полом. Его рецессивный аллель вызывает черную окраску. От неизвестного петуха и курицы получено потомство, среди которого все петушки и около половины курочек имеют рябую окраску, оставшаяся часть курочек – черные. Каков фенотип и генотип родителей?

#### № 10.14

1. Какова основная функция половых хромосом?
2. Приведите структуру половых хромосом у пчел.
3. Заболевает ли девочка гемофилией, если получила рецессивный ген от отца?
4. У кур породы плимутрок доминантный ген серой окраски оперения (В) локализован в Х – хромосоме, его рецессивный аллель (b) вызывает черную окраску оперения. Определить фенотипы курочек и петушков, если спаривать черную курицу с гетерозиготным серым петухом.

#### № 10.15

1. В связи с чем сцепленные с полом признаки имеют особенности наследования?
2. Какой пол у птиц гетерогаметный?
3. Заболевает ли мальчик гемофилией, если получил рецессивный ген от отца?
4. У кур породы плимутрок доминантный ген серой окраски оперения (В) локализован в Х – хромосоме, его рецессивный аллель (b) вызывает черную окраску оперения. Определить фенотипы курочек и петухов, если спаривать серую курицу с гетерозиготным черным петухом.

### ЗАНЯТИЕ 11. Строение и синтез нуклеиновых кислот

#### № 11.1

1. Какие вещества образуют нуклеотид?
2. В одной молекуле ДНК тиминный нуклеотид (Т) составляет 16% от общего количества нуклеотидов. Определите количество (в%) каждого из остальных видов нуклеотидов.
3. Одна из цепочек молекулы ДНК имеет следующее строение: ЦГГ ААТ ЦГТ ГАТ ЦАГ ГАЦ АЦА... Каким образом будут расположены нуклеотиды во второй цепочке этой же молекулы ДНК?

#### № 11.2

1. Какие нуклеотиды образуют молекулы РНК?
2. В молекуле ДНК адениновый нуклеотид (А) составляет 32% от общего количества нуклеотидов. Чему равно количество (в%) каждого из остальных видов нуклеотидов?
3. Какова будет структура фрагмента ДНК после репликации, если одна из ее цепей состоит из следующих нуклеотидов: ГТГ ЦЦЦ АЦГ АТГ ААЦ ЦЦГ?

#### № 11.3

1. Какие соединения входят в состав молекулы РНК?
2. От общего количества нуклеотидов в молекуле ДНК цитозинный (Ц) составляет 38%. Определите количество (в%) каждого из остальных видов нуклеотидов.

3. Одна из цепей фрагмента молекулы ДНК имеет такую структуру: АГЦ ЦЦГ ГГЦ ААЦ ТТА АЦГ... Укажите состав противоположной цепи.

№ 11.4

1. Какие нуклеотиды образуют молекулу ДНК?
2. В одной молекуле ДНК гуаниновый нуклеотид (Г) составляет 23%. Чему равно количество каждого из остальных видов нуклеотидов?
3. Одна из цепей молекулы ДНК имеет следующее строение: ТАГ ААЦ ТАА ГАТ АЦГ ЦАТ... Каково строение комплементарной цепи? Укажите водородные связи.

№ 11.5

1. Чем отличаются нуклеотиды РНК от нуклеотидов ДНК?
2. Сколько содержится тиминных, адениновых и цитозинных нуклеотидов (в отдельности) в молекуле ДНК, если в нем 880 гуаниновых нуклеотидов составляют 22% от их общего количества?
3. Какова будет структура фрагмента ДНК после репликации, если одна из ее цепей состоит из следующих нуклеотидов: АГЦ АЦГ ГАЦ ЦГЦ ГАТ ГЦА?

№ 11.6

1. Сколько пар оснований в двойной спирали ДНК? Назовите их.
2. В молекуле ДНК обнаружено 4800 адениновых нуклеотидов, составляющих 30% от общего количества. Чему равно (в отдельности) число тиминных, гуаниновых и цитозинных нуклеотидов?
3. На участке одной молекулы ДНК нуклеотиды располагаются в следующей последовательности: ТГА ЦЦА ТАГ ТЦА АГЦ ТАЦ... Какова последовательность нуклеотидов в комплементарной цепи?

№ 11.7

1. В чем заключается принцип комплементарности азотистых оснований в цепи ДНК?
2. От общего количества нуклеотидов в молекуле ДНК 18% (3600) составляет тиминный. Сколько содержится адениновых, гуаниновых и цитозинных нуклеотидов (в отдельности) в этой молекуле ДНК?

3. Участок гена имеет следующее строение: ГГЦ ГЦТ ЦАА ААТ ЦГЦ... Как будут расположены нуклеотиды в синтезируемой на этом участке молекулы и-РНК?

№ 11.8

1. В чем заключаются функции молекул ДНК и РНК?
2. Сколько содержится тиминных, адениновых и гуаниновых нуклеотидов (в отдельности) в молекуле ДНК, если в ней обнаружено 350 цитозинных нуклеотидов, составляющих 22% от общего количества?
3. Участок гена имеет следующее строение: ЦАЦ ГТГ ТАТ ГАГ ТАГ АТА... Какова последовательность нуклеотидов в синтезируемой на этом участке молекуле и-РНК?

№ 11.9

1. Где и как синтезируется молекула ДНК?
2. В и-РНК от общего числа нуклеотидов 28% приходится на аденин (А), 6% - на гуанин (Г), 40% - на урацил (У). Каков нуклеотидный состав участка двухцепочной ДНК, информация с которого «переписана» данной и-РНК?
3. Последовательность нуклеотидов на участке гена следующая: ТАА ЦАА ТАГ ААЦ АЦГ ТЦА... Как расположатся нуклеотиды в синтезируемой на нем молекуле и-РНК?

№ 11.10

1. Где и как синтезируется молекула РНК?
2. Какой нуклеотидный состав участка двухцепочной ДНК, с которого «переписана» информация на и-РНК, содержащую 18% гуанина (Г). 30% аденина (А) и 20% урацила (У)?
3. Структурный ген ДНК содержит следующие нуклеотиды: ТГГ АГЦ ГЦЦ АЦГ ТГА ЦЦГ... Изобразите последовательность цепи и-РНК, синтезированной на этом участке.

№ 11.11

1. Назовите типы РНК и их функции.
2. Определите количество отдельных нуклеотидов в молекуле ДНК, если тиминный составляет 40% от общего их количества.

3. Как будут расположены нуклеотиды и-РНК, которая синтезировалась на участке гена, включающего следующую последовательность: АГЦ ТТА ЦЦЦ ГТГ ЦАА ГАТ...?

№ 11.12

1. Какие функции выполняют молекулы ДНК и РНК?
2. В молекуле ДНК цитозинный нуклеотид составляет 15% от общего числа нуклеотидов. Чему равно количество остальных нуклеотидов?
3. Структурный ген ДНК содержит следующие нуклеотиды: ЦГТ ГАЦ ЦГТ ААТ ЦАГ ЦГТ... Изобразите последовательность цепи и-РНК синтезированной на этом участке.

№ 11.13

1. В каком органоиде клетки и в какой момент осуществляется синтез ДНК?
2. Каков нуклеотидный состав участка двухцепочной ДНК, с которого «переписана» информация на и-РНК, содержащую 16% гуанина (Г), 32% аденина (А) и 24% урацила (У)?
3. Структурный ген ДНК содержит следующие нуклеотиды: ТГГ АГЦ ГЦЦ АЦГ ТГА ЦЦГ... Изобразите последовательность цепи и-РНК, синтезированной на этом участке.

№ 11.14

1. В чем заключается различие молекул ДНК и РНК?
2. Сколько содержится тиминных, адениновых и гуаниновых нуклеотидов (в отдельности) в молекуле ДНК, если в ней обнаружено 550 цитозинных нуклеотидов, составляющих 42% от общего количества?
3. Участок гена имеет следующее строение: ЦГЦ АТГ ТТТ ГЦГ ТАГ АТА... Какова последовательность нуклеотидов в синтезируемой на этом участке молекуле и-РНК?

№ 11.15

1. Какие соединения входят в состав молекулы ДНК?

2. От общего количества нуклеотидов в молекуле ДНК цитозинный (Ц) составляет 28%. Определите количество в (%) каждого из остальных видов нуклеотидов.
3. Одна из цепей фрагмента молекулы ДНК имеет такую структуру: АГЦ ЦЦГ ГГЦ ААЦ ТТА АЦГ... Укажите состав противоположной цепи.

**ЗАНЯТИЯ 12–13. Синтез белка.  
Моделирование генных мутаций**

№ 12.1

1. Чем определяется порядок чередования аминокислот в молекуле белка?
2. Перечислите свойства генетического кода.
3. Изобразите модель транскрипции и трансляции генетической информации при следующей последовательности нуклеотидов матричной цепи ДНК: ЦЦЦ ААА ГЦГ ТГА ГГГ ЦЦГ... Как изменится структура белка при добавлении между 7 и 8 нуклеотидами еще одного (А)?

№ 12.2

1. Что называется генетическим кодом?
2. Что такое трансляция, где происходит и что при этом образуется?
3. Участок гена состоит из следующих триплетов: ЦАГ ТТТ АЦА ТГГ ТАЦ ГГЦ ТЦГ АГТ... Укажите соответствующие кодоны в и-РНК и последовательность аминокислот в молекуле белка. Что произойдет при замене девятого нуклеотида А на Ц?

№ 12.3

1. Чем отличается кодон от триплета?
2. Какую функцию выполняет и-РНК в ходе синтеза белка?
3. Последовательность нуклеотида на участке гена следующая: ТТЦ ГТЦ ААЦ ГАА ЦАГ ЦТГ... Изобразите модель транскрипции и трансляции генетической информации. Какова будет структура белка при выпадении 11-го нуклеотида?

#### № 12.4

1. Что является матрицей при синтезе белка и где он осуществляется?
2. Какую функцию при синтезе белка выполняет р-РНК?
3. Изобразите модель транскрипции и трансляции генетической информации, если в матричной цепи ДНК нуклеотиды расположены в следующем порядке: ЦЦЦ АТТ ТГГ АТА ААТ АГЦ... Как изменится структура белка при выпадении из цепи первого и последнего нуклеотида?

#### № 12.5

1. Что означает процесс «созревания» и-РНК?
2. Что означает «универсальность» генетического кода?
3. Участок гена состоит из следующих триплетов: АЦЦ АГЦ ААТ ТАЦ АГЦ ААА ТАТ... Укажите соответствующие им кодоны в и-РНК и аминокислоты в цепи синтезируемого белка. Как отразится на составе белка выпадение из цепи 18-го нуклеотида?

#### № 12.6

1. Что такое транскрипция?
2. Что означает координатность генетического кода?
3. Последовательность нуклеотидов на участке гена следующая: ААГ ЦАГ АЦГ ГЦЦ ГЦЦ ААГ... Определите соответствующие нуклеотиды в и-РНК. Какие аминокислоты кодируются ими? Изобразите структуру белка после выпадения из цепи 10-го нуклеотида.

#### № 12.7

1. Что такое кодон?
2. Что означает свойство генетического кода – неперекрывающийся?
3. Изобразите транскрипцию и трансляцию генетической информации с участка гена, имеющего следующие триплеты: ААГ ЦЦЦ АТГ ТГГ АТА ААТ... Как изменится последовательность аминокислот, если в этой цепи произойдет замена 7-го нуклеотида на А?

#### № 12.8

1. Где локализована информация о белке, синтезируемом в клетке?

2. Почему генетический код считается множественным или вырожденным?
3. Фрагмент матричной цепи ДНК имеет следующую структуру: ТТТ АГА ЦГА ТАГ ГТТ ТАТ... Какова первичная структура белка, если он синтезируется согласно этой генетической информации? Как он изменится, если между 1 и 2-м нуклеотидами произойдет вставка А?

#### № 12.9

1. Где осуществляется синтез белка в клетке?
2. В каком случае при биосинтезе происходит включение аминокислот в белковую цепь?
3. Изобразите транскрипцию и трансляцию генетической информации. Если нуклеотиды в матричной цепи ДНК расположены в следующем порядке: ТТГ ГАЦ ГГГ ЦЦГ ГГА ААА. Как изменится белок при вставке между 5 и 6-м нуклеотидами Ц?

#### № 12.10

1. Что является мономерами в молекуле белка?
2. Одним из несколькими кодонами кодируются аминокислоты? Приведите примеры.
3. Участок гена включает следующие триплеты: ГГА АЦА ЦТА ГТТ ААА АТА... Какова структура белка, соответствующего такой генетической информации? Какой станет структура белка, если произойдет замена 12-го нуклеотида на Г?

#### № 12.11

1. Что соответствует каждому триплету молекулы ДНК в молекуле и-РНК?
2. Принимает ли молекула ДНК непосредственное участие в синтезе белка?
3. Фрагмент матричной цепи ДНК имеет следующую структуру: ТТТ АГА ЦГА ТАГ ГТТ ТАТ... Какова первичная структура белка, если он синтезируется согласно этой генетической информации? Как он изменится, если между 2 и 3-м нуклеотидами произойдет вставка Г?

№ 12.12

1. Дайте понятия кодон, триплет.
2. Что является матрицей для синтеза и-РНК и по какому принципу он осуществляется?
3. Участок гена включает следующие триплеты: ГГА АЦА ЦТА ГТТ ААА АТА... Какова структура белка, соответствующего такой генетической информации? Какой станет структура белка, если произойдет замена 12-го нуклеотида на Ц?

№ 12.13

1. В форме чего считывается наследственная информация с матричной цепи ДНК при биосинтезе?
2. Что происходит с молекулой и-РНК после окончания синтеза белка?
3. Участок гена состоит из следующих триплетов: АЦЦ АГЦ ААТ ТАЦ АГЦ ААА ТАТ... Укажите соответствующие им кодоны в и-РНК и аминокислоты в цепи синтезируемого белка. Как отразится на составе белка выпадение из цепи 15-го нуклеотида?

№ 12.14

1. Какую функцию выполняют рибосомы в ходе синтеза белка?
2. Что означает триплетность генетического кода?
3. Последовательность нуклеотидов на участке гена следующая: ААГ ЦАГ АЦГ ГЦЦ ГЦЦ ААГ... Определите соответствующие нуклеотиды в и-РНК. Какие аминокислоты кодируются ими? Изобразите структуру белка после выпадения из цепи 12-го нуклеотида.

№ 12.15

1. Что такое триплет?
2. Что означает свойство генетического кода – неперекрывающийся?
3. Изобразите транскрипцию и трансляцию генетической информации с участка гена, имеющего следующие триплеты: ААГ ЦЦЦ АТГ ТГГ АГА ААТ... Как изменится последовательность аминокислот, если в этой цепи произойдет замена 7-го нуклеотида на Г?

**ЗАНЯТИЕ 14. Генетические процессы в популяциях**

№ 14.1

1. Дайте понятие «популяция».
2. Пользуясь законом Харди-Вайнберга вычислить концентрацию генотипов АА, Аа, аа (в %), если частота рецессивного аллеля (q) в популяции 0,6?
3. Популяция состоит из 60% особей с генотипом ММ и 40% с генотипом мм. Определить в долях единицы частоты генотипов АА, Аа и аа после установления равновесия в популяции.

№ 14.2

1. Что изучает генетика популяций?
2. Пользуясь законом Харди-Вайнберга вычислить концентрацию генотипов АА, Аа, аа (в %), если частота рецессивного аллеля (q) в популяции 0,1?
3. Популяция состоит из 80% особей с генотипом ММ и 20% с генотипом мм. Определить в долях единицы частоты генотипов АА, Аа и аа после установления равновесия в популяции.

№ 14.3

1. Дайте понятие «идельная» или панмиктическая популяция.
2. Пользуясь законом Харди-Вайнберга вычислить концентрацию генотипов АА, Аа, аа (в долях единицы), если частота концентрации рецессивного аллеля (q) в популяции 0,5?
3. Вычислить частоты (р) аллеля А и частоту (q) аллеля а в популяции АА=4%, Аа=32%, аа=64%.

№ 14.4

1. С помощью какого закона можно описать генетическую структуру популяции?
2. Вычислить частоты генотипов АА, Аа, аа (в долях единицы), если концентрация рецессивного аллеля в популяции равна 0,4, пользуясь законом Харди-Вайнберга.
3. Вычислить частоту (р) аллеля А и частоту (q) аллеля а в популяции АА=7%, Аа=42%, аа=51%.

#### № 14.5

1. Приведите формулу закона Харди-Вайнберга.
2. Пользуясь законом Харди-Вайнберга, вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в долях единицы), если концентрация рецессивного аллеля в популяции равна 0,3.
3. Вычислить частоту (p) аллеля A и частоту (q) аллеля a в популяции AA=16%, Aa=48%, aa=36%.

#### № 14.6

1. Чему равна сумма частот аллелей pA и qa в популяции?
2. Вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в долях единицы), если гомозиготные особи aa составляют в популяции 16%.
3. Вычислить частоту (p) аллеля A и частоту (q) аллеля a в популяции AA=49%, Aa=42%, aa=9%.

#### № 14.7

1. Как вычислить частоту гетерозиготных генотипов в популяции?
2. Вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в %), если гомозиготные особи aa составляют в популяции 9%.
3. Вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в долях единицы), если концентрация рецессивного аллеля в популяции равна 0,2, пользуясь законом Харди-Вайнберга.

#### № 14.8

1. Чем характеризуется равновесное состояние панмиктической популяции?
2. Вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в %), если гомозиготные особи aa составляют в популяции 25%.
3. Вычислить частоту (p) аллеля A и частоту (q) аллеля a в популяции AA=35%, Aa=50%, aa=15%.

#### № 14.9

1. Что понимается под частотой фенотипа в популяции?
2. Вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в %), если гомозиготные особи aa составляют в популяции 15%.
3. Вычислить частоту (p) аллеля A и частоту (q) аллеля a в популяции AA=9%, Aa=42%, aa=49%.

#### № 14.10

1. Как определяется частота фенотипа в популяции?
2. Вычислить частоту (p) аллеля A и частоту (q) аллеля a в популяции AA=50%, Aa=42%, aa=8%.
3. Вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в %), если гомозиготные особи aa составляют в популяции 36%.

#### № 14.11

1. Как вычислить частоту гомозиготных генотипов в популяции?
2. Вычислить частоту (p) аллеля A и частоту (q) аллеля a в популяции AA=64%, Aa=32%, aa=4%.
3. Вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в %), если гомозиготные особи aa составляют в популяции 2%.

#### № 14.12

1. Какой закон определяет генетическую структуру популяции, его формула?
2. Вычислить частоту (p) аллеля A и частоту (q) аллеля a в популяции AA=36%, Aa=48%, aa=16%.
3. Вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в %), если гомозиготные особи aa составляют в популяции 1%.

#### № 14.13

1. Как вычислить частоту генотипов в популяции?
2. Вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в %), если гомозиготные особи aa составляют в популяции 9%.
3. Пользуясь законом Харди-Вайнберга вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в долях единицы), если концентрация рецессивного аллеля в популяции равна 0,3.

#### № 14.14

1. В каком состоянии находится панмиктическая популяция?
2. Вычислить частоты генотипов AA, Aa, aa (в %), если гомозиготные особи aa составляют в популяции 10%.
3. Вычислить частоту (p) аллеля A и частоту (q) аллеля a в популяции AA=25%, Aa=50%, aa=25%.

№ 14.15

1. Что изучает генетика популяций?
2. Пользуясь законом Харди-Вайнберга вычислить концентрацию генотипов AA, Aa, aa (в %), если частота рецессивного аллеля (qa) в популяции 0,1?
3. Популяция состоит из 70% особей с генотипом MM и 30% с генотипом mm. Определить в долях единицы частоты генотипов AA, Aa и aa после установления равновесия в популяции.

**СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

**а) основная литература**

1. Абылкасымов, Д. Ветеринарная генетика: учебное пособие / Д. Абылкасымов, Е. А. Воронина, О. В. Абрампальская. - Тверь: Тверская ГСХА, 2020. - 92 с. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/151290>
2. Мефодьев, Г. А. Генетика с основами биотехнологии: учебное пособие / Г. А. Мефодьев. – Чебоксары: ЧГСХА, 2017. – 118 с. – ISBN 978-5-7677-2605-9. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/139072>

**б) дополнительная литература**

3. Абрамкова, Н. В. Ветеринарная генетика: учебно-методическое пособие / Н. В. Абрамкова. – Орел: ОрелГАУ, 2018. - 70 с. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL:<https://e.lanbook.com/book/118813>
4. Бакай, А. В. Генетика [Текст]: учебник для вузов / А. В. Бакай, И. И. Кочиш, Г. Г. Скрипниченко. - М.: КолосС, 2007. - 448 с. - (Учеб. и учеб. пособия для студентов вузов). - ISBN 978-5-9532-0648-8
5. Практикум по генетике [Текст]: учеб. пособие для вузов / А. В. Бакай [и др.]. - М.: КолосС, 2010. - 301 с. - ISBN 978-5-9532-0661-7.
6. Петухов В.Л., Жигачев А.И., Назарова Г.А. Ветеринарная генетика. - М.: Колос, 1996.-384с.
7. Тихомирова, М. М. Генетический анализ: учебное пособие / М. М. Тихомирова. - Л.: ЛГУ, 1990. - 280 с.
8. Шишкина, Т. В. Генетика растений и животных: учебное пособие / Т. В. Шишкина. - Пенза: ПГАУ, 2018. – 182 с. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/131076>.

### в) периодические издания

9. Биотехнология [Текст] / Теоретический и научно-практический журнал. - М.: ООО «Академия биотехнологии», 1985. – Выходит раз в два месяца. - ISSN 0234-2758
10. Генетика [Текст]. - М.: Издательство «Наука», 1965. – Выходит ежемесячно. - ISSN 0016-6758
11. Цитология [Текст]. - М.: «Наука», 1959. – Выходит ежемесячно. - ISSN 0041-3771
12. Молекулярная биология [Текст]. - М.: «Наука», 1967. – Выходит раз в два месяца. - ISSN 0026-8984

### СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
<b>ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ</b>	<b>4</b>
Занятие 1. Митоз .....	4
Занятие 2. Мейоз .....	9
Занятие 3. Гаметогенез .....	14
<b>ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ ПРИ ПОЛОВОМ РАЗМНОЖЕНИИ</b> .....	<b>18</b>
Занятие 4. Наследование признаков при моногибридном скрещивании .....	18
Занятие 5. Наследование признаков при неполном доминировании и действии летальных генов .....	22
Занятие 6. Наследование признаков при дигибридном скрещивании .....	27
Занятие 7. Анализирующее скрещивание .....	32
Занятие 8. Взаимодействие неаллельных генов .....	35
<b>СЦЕПЛЕННОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ</b> .....	<b>41</b>
Занятие 9. Сцепленное наследование .....	41
Занятие 10. Наследование признаков, сцепленных с полом ....	46
<b>МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ</b> .....	<b>51</b>
Занятие 11. Строение и синтез нуклеиновых кислот .....	51
Занятие 12. Синтез белка .....	55
Занятие 13. Моделирование генных мутаций .....	59
<b>ГЕНЕТИКА ПОПУЛЯЦИЙ</b> .....	<b>62</b>
Занятие 14. Генетические процессы в популяциях .....	62
Глоссарий .....	67
Индивидуальные задания к занятиям .....	69
Список рекомендуемой литературы .....	125

# ВЕТЕРИНАРНАЯ ГЕНЕТИКА

Учебное пособие  
для практических занятий для студентов  
по специальности 36.05.01 «Ветеринария»

б б б

б б б

Лицензия: ЛР. № 020574 от 6 мая 1998 г.

Подписано в печать 30.03.2021 г. Бумага писчая. Печать трафаретная.  
Бумага 60x84 1/16. Усл. печ. л. 8. Тираж 25. Заказ 30.

---

362040, Владикавказ, ул. Кирова, 37.

Типография ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет»