

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

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

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

# **ГЕНЕТИКА**

Методические указания для студентов  
по специальности «Производство продукции животного  
происхождения»

Витебск  
ВГАВМ  
2025

УДК 636.082(075.8)

ББК 45.3я73

Г34

Рекомендовано к изданию методической комиссией биотехнологического факультета УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины» от 21 мая 2025 г. (протокол № 5)

**Авторы:**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. В. Вишневец*;  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *В. Ф. Соболева*;  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Т. В. Видасова*;  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *О. А. Яцына*;  
магистр сельскохозяйственных наук, ассистент *Б. С. Сипайло*

**Рецензенты:**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *С. Л. Карпеня*;  
кандидат биологических наук, доцент *И. А. Никитина*

**Генетика** : методические указания для студентов биотехнологического факультета по специальности 6-05-0811-02 «Производство продукции животного происхождения» / *А. В. Вишневец, В. Ф. Соболева, Т. В. Видасова* [и др.]. – Витебск : ВГАВМ, 2025. – 64 с. – ISBN 978-985-591-247-8.

Методические указания написаны в соответствии с учебным планом для высших учебных заведений по специальности 6-05-0811-02 «Производство продукции животного происхождения». Содержат сведения о теоретических основах генетики и методики выполнения практических занятий по конкретным темам.

**УДК 636.082(075.8)**

**ББК 45.3я73**

**ISBN 978-985-591-247-8**

© УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
<b>Тема 1.</b> Введение в генетику	6
<b>Тема 2.</b> Цитологические основы наследственности	8
<b>Тема 3.</b> Закономерности наследования признаков при половом размножении	13
<b>Тема 4.</b> Хромосомная теория наследственности	27
<b>Тема 5.</b> Генетика пола	31
<b>Тема 6.</b> Молекулярные основы наследственности	33
<b>Тема 7.</b> Генетика микроорганизмов	38
<b>Тема 8.</b> Мутационная изменчивость организмов	39
<b>Тема 9.</b> Генетические основы индивидуального развития	43
<b>Тема 10.</b> Группы крови и наследственный полиморфизм белков	45
<b>Тема 11.</b> Генетические процессы в популяциях	49
<b>Тема 12.</b> Генетика аномалий и болезней, повышения наследственной устойчивости животных к болезням	54
<b>Тема 13.</b> Генетика поведения животных	58
Литература	60

## ВВЕДЕНИЕ

Генетика – это наука о наследственности и изменчивости организмов. Изучение курса генетики позволит будущим специалистам приобрести знания о материальных основах наследственности и изменчивости, закономерностях наследования признаков.

**Цель дисциплины:** дать студенту теоретические знания о цитологических и молекулярных основах наследственности, о закономерностях наследования хозяйственно полезных признаков, научить решать теоретические и практические задачи, связанные с селекцией организмов в животноводстве.

**Задачами дисциплины являются:**

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

В результате изучения дисциплины студент должен **знать:**

- основные методы, используемые при изучении наследственности и изменчивости, значение наследственности и изменчивости в эволюции;
- цитологические и молекулярные основы наследственности, закономерности наследования признаков при половом размножении;
- хромосомную теорию наследственности, сцепленное с полом наследование признаков;
- генетические основы индивидуального развития, природу возникновения разных видов изменчивости и их значение;
- иммуногенетический и биохимический полиморфизм белков, генетику аномалий и болезней, наследственную устойчивость животных к некоторым болезням;
- о генетических процессах в популяции, теории, объясняющие явление гетерозиса и инбредной депрессии, характер наследования хозяйственно полезных признаков;

**уметь:**

- определять характер наследования признаков при моно- и дигибридном скрещивании, при взаимодействии неаллельных генов и решать задачи по этим разделам;
- использовать на практике данные по иммуногенетике и биохимическому полиморфизму для генетической экспертизы происхождения животных;
- производить моделирование синтеза ДНК, РНК и белка;

- применять закон Харди-Вайнберга для установления процессов, происходящих в популяции, определять степень инбридинга животных;

**владеть:**

- знаниями о современном состоянии генетики как науки о наследственности и изменчивости;

- знаниями о закономерностях наследования признаков от родителей потомками.

Примерными учебными планами на изучение дисциплины «Генетика» по специальностям 6-05-0811-02 «Производство продукции животного происхождения» отводится 120 часов, в том числе 72 часа аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекции – 36 часов, лабораторные занятия – 36 часов. Рекомендуемая форма текущей аттестации – экзамен.

## Тема 1. ВВЕДЕНИЕ В ГЕНЕТИКУ

**Цель занятия:** ознакомиться с основными этапами развития генетики.

**Контрольные вопросы:**

1. Предмет генетики. Понятие наследственности и изменчивости.
2. Методы генетики.
3. Основные этапы развития генетики.
4. Значение генетики для практики животноводства и ветеринарии.

### Теоретическая часть

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

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

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

**Методы генетики:**

- гибридологический – разработан Г. Менделем, включает систему скрещиваний заранее подобранных родительских пар, различающихся по одной, двум и более контрастным признакам для изучения их наследования;
- рекомбинационный – изучение кроссинговера для построения карт хромосом;
- цитогенетический – изучение строения хромосом, хромосомных перестроек;
- генеалогический – изучение наследования признаков по анализу родословной;
- близнецовый – изучение влияния определенных факторов внешней среды на генотип особи;
- мутационный – установление влияния мутагенных факторов на генотип особи;
- популяционно-статистический – изучение наследственности в популяциях;
- онтогенетический – установление степени влияния генов и условий среды на развитие изучаемого признака в онтогенезе;
- биометрический – использование математических приемов для статистической обработки количественных и качественных признаков.

**Основные этапы развития генетики**

1. Этап классической генетики – с 1900 по 1925 г.
  2. Этап искусственного мутагенеза – с 1926 по 1953 г.
  3. Этап современной генетики – начиная с 1953 г.
- Значимые открытия генетики представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Значимые открытия генетики**

Год	Событие
1865	Открытие закономерностей наследственности, установление роли генов (Г. Мендель)
1868	Открытие нуклеиновых кислот, выделение нуклеина (Ф. Мишер)
1892	Открытие вирусов (Д.И. Ивановский)
1901	Открытие мутационной теории (Г. Де Фриз)
1902-1903	Открытие хромосом как единиц наследственности (Т. Бовери и У. Сеттон)
1906	Открытие сцепленного наследования генов (В. Бэтсон, Р. Пеннет)
1909	Установлено явление кроссинговера (Ф. Янсенс)
1913	Установлено линейное расположение генов в хромосоме (Т. Морган)
1941-1942	Установлено участие РНК в синтезе белка (Г. Касперсон и Ж. Браше)
1944	Установлено, что ДНК обладает генетической информацией (О.Т. Эвери, К. Мак-Леод, М. Мак-Карти)
1953	Установлена структура молекулы ДНК (Дж. Уотсон и Ф. Крик)
1961-1965	Расшифрован генетический код (М. Ниренберг, Дж. Маттеи, С. Очоа, Х. Корана)
1961	Предложена схема регуляции активности генов (Ф. Жакоб и Ж. Моно)
1962	Доказано, что положение аминокислоты при синтезе белка определяется тРНК (Ф. Шапвиль)
1977	Разработка метода секвенирования генома (метод «обрыва цепи») (Ф. Сэнгер)
1980	Получена рекомбинантная ДНК (П. Берг, У. Джилберт, Ф. Сэнгер)
1993	Открытие полимеразной цепной реакции (ПЦР) (К. Б. Мюллис, М. Смит)
1996	Клонировано первое млекопитающее путем пересадки ядра соматической клетки в цитоплазму яйцеклетки - овца Долли (Я. Вильмут с сотр.)
2001	Секвенирование генома человека (Американская компания, связанная с генетическими исследованиями Celera Corporation)
2007	Создан первый экземпляр искусственного генома (Крейг Вентер)
2009	Биологами США декодирован геном коровы (Ричард Гиббс, Тереза Кейси)
2013	Британские учёные объявили об открытии функциональной четырехспиральной формы ДНК человека (в раковых клетках).
2018	Ученые объявили об успешном создании генно-модифицированных свиней, устойчивых к репродуктивно-респираторному синдрому.
2023	Полностью расшифрована Y-хромосома человека.
2024	В геноме человека обнаружили миллион новых экзонов, которые выражаются в зрелой РНК, в геноме человека.
2024	Международная группа ученых внутри эукариотической клетки обнаружили первую азотфиксирующую клеточную органеллу (нитропласт).
2024	Открыта новая система групп крови MAL.
2024	Созданы искусственные вирионы, способные инкапсулировать гены и доставлять их в клетки.
2024	Путем редактирования генов с использованием CRISPR-Cas9 смогли удалить лишнюю копию хромосомы, которая служит причиной синдрома Дауна.

## ТЕМА 2. ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

**Цель занятия:** изучить строение клетки, особенности кариотипов разных видов животных и особенности расхождения хромосом при делении соматических и половых клеток.

### Контрольные вопросы:

1. Клетка как генетическая система. Строение клетки.
2. Основные органоиды цитоплазмы и их биологическая роль. Строение и функции ядра.
3. Морфологическое строение и химический состав хромосом.
4. Понятие кариотипа, гаплоидного и диплоидного набора хромосом, аутосом, половых хромосом. Особенности кариотипов основных видов сельскохозяйственных животных.
5. Митоз. Периоды интерфазы.
6. Мейоз. Стадии мейоза. Биологическое значение.
7. Стадии образования половых клеток. Сперматогенез, стадии сперматогенеза.
8. Овогенез, стадии овогенеза. Оплодотворение.

### Теоретическая часть

Основной единицей живого является клетка. **Клетка** – элементарная биологическая система, способная к самообновлению, самовоспроизведению и развитию. С точки зрения генетики клетки подразделяются на растительные и животные, прокариотические и эукариотические, соматические и половые (рисунок 1).

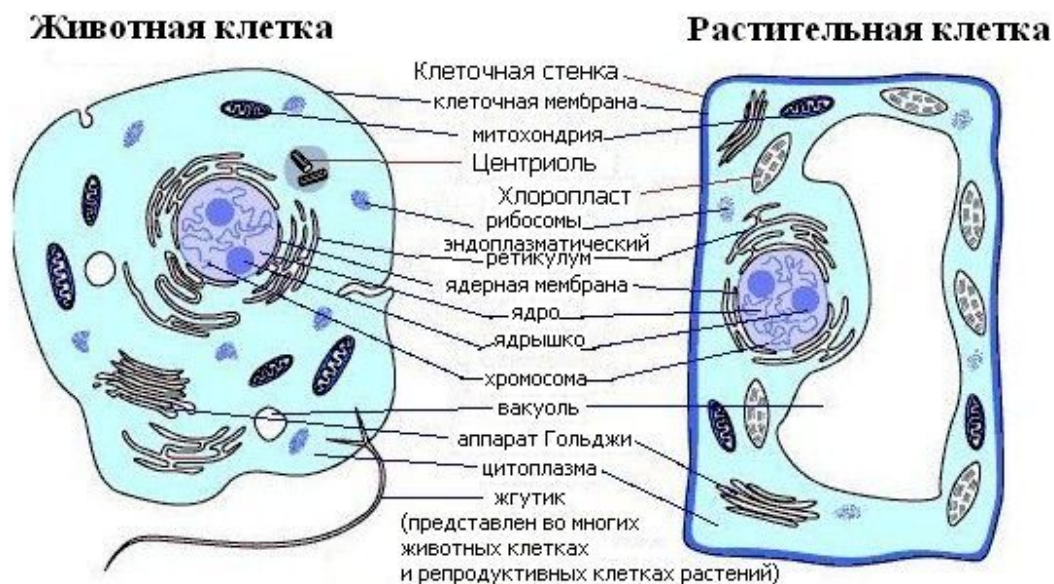


Рисунок 1 – Строение клетки (<http://yandex.by/clck/jsredir>)

**Прокариоты** – одноклеточные доядерные организмы (бактерии, сине-зеленые водоросли). От эукариот они отличаются следующим: отсутствием ядра, хромосом, митохондрий, комплекса Гольджи, эндоплазматической сети,

лизосом, есть мезосома. Способ размножения – простым делением. Наследственный аппарат представлен одной молекулой ДНК (нуклеоид). Содержит одну хромосому и является гаплоидным.

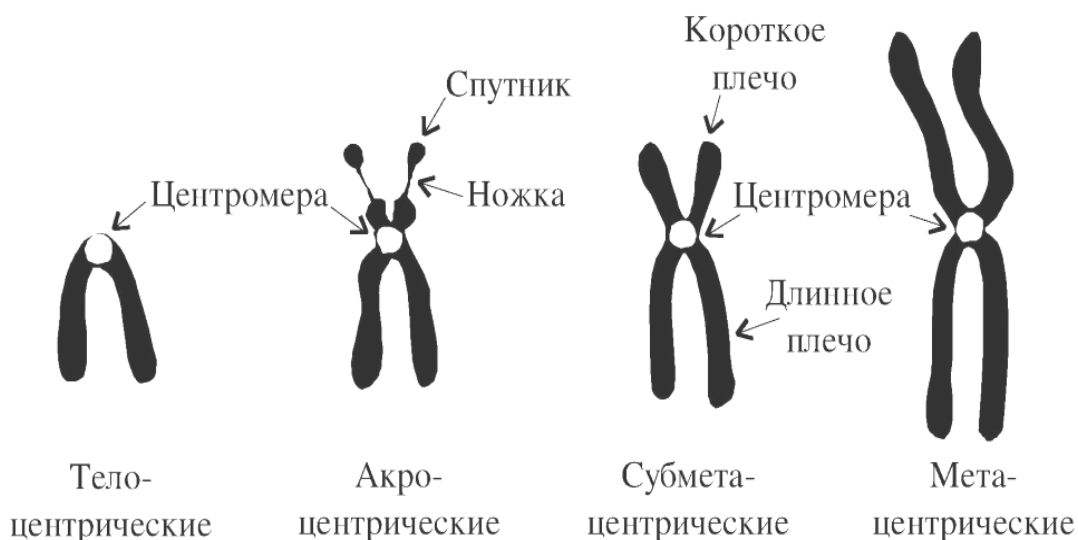
Эукариотические клетки имеют оболочку, цитоплазму с органоидами и обособленное ядро.

**Органоиды цитоплазмы** – постоянные компоненты клетки, выполняют специфические функции. Включения могут быть трофические (связанные с белковым, углеводным и жировым обменом), секреторные, пигментные, витамины и др. Не являются постоянной частью цитоплазмы.

**Ядро** – основной компонент клетки, несущий генетическую информацию. Содержит ядерную мембрану, кариоплазму, хроматин, одно или несколько ядрышек. В кариоплазме находятся хромосомы.

Основные функции ядра – хранение и передача генетической информации. Реализация генетической информации происходит в процессе синтеза собственных белковых форм за пределами ядра – в цитоплазме клетки на рибосомах.

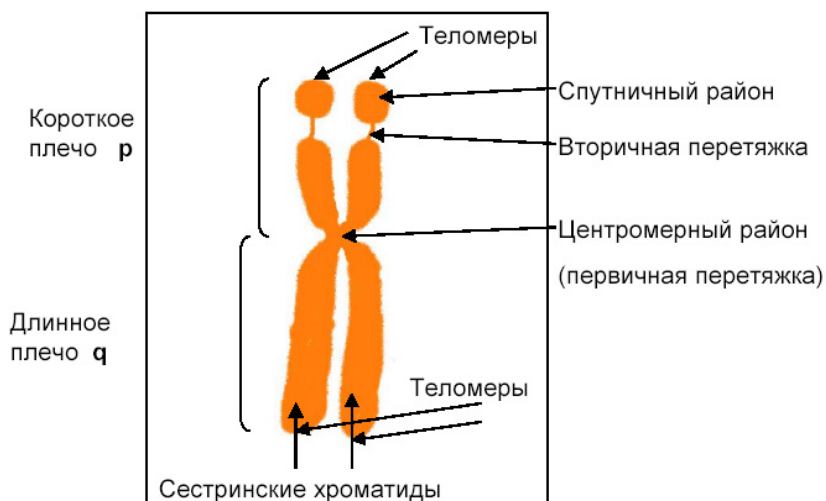
Материальными носителями наследственной информации являются хромосомы ядра клетки. Они состоят из двух нитей – хроматид, расположенных параллельно и соединенных между собой в одной точке, которая называется **центромерой**, или первичной перетяжкой. Выделяют четыре типа хромосом: метацентрические, субметацентрические, акроцентрические, телоцентрические (рисунок 2).



А – метацентрические; Б - субметацентрические; В – акроцентрические; Г – телоцентрические;  
 1 – центромера; 2 – короткое плечо (p); 3 – длинное плечо (q); 4 – спутник

**Рисунок 2 – Разные типы метафазных хромосом (по А. В. Бакаю и др.)**

**Хромосомы** – это самовоспроизводящиеся структуры, состоящие из ДНК и гистоновых белков. Морфологическое строение хромосом представлено на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Морфологическое строение хромосомы (по В. Л. Петухову и др.)**

Химический состав хромосом:

ДНК – 40%, РНК – 1%, белки типа гистонов или протаминов (в половых клетках) – 60-85%.

Число хромосом в клетке постоянно и представляет собой кариотип.

**Кариотип** – совокупность хромосом соматической клетки, т. е. ее диплоидный набор с определенным количеством, размером и формой хромосом, характеризующий данный вид.

В кариотипе различают **аутосомы** (одинаковые у обоих полов) и **половые хромосомы** (разные у мужских и женских особей). Например, кариотип человека содержит 22 пары аутосом и 2 половые хромосомы (**XX** – у женщин и **XY** – у мужчин).

### **Правила кариотипа**

**1. Постоянство** – соматические клетки организма каждого вида имеют строго определенное количество и форму хромосом, которые не изменяются с возрастом и являются таксономическим показателем. Количество хромосом у сельскохозяйственных животных: крупный рогатый скот – 60, лошадь – 64, свинья – 38, овца – 54.

**2. Парность** – в диплоидном наборе каждая хромосома имеет гомологичную хромосому, т. е. идентичную по размерам, расположению центромеры и набору генов.

**3. Индивидуальность** – каждая пара гомологичных хромосом отличается от другой пары гомологов размерами, расположением центромеры и набором генов.

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

### **Особенности кариотипов разных видов сельскохозяйственных животных**

**Крупный рогатый скот домашний** –  $2n=60$ ; все хромосомы акроцентрического типа, половые хромосомы – субметацентрического типа.

**Зебу** –  $2n=60$ ; все хромосомы акроцентрического типа, половые хромосомы – акроцентрического типа. **Як** –  $2n=60$ ; все хромосомы акроцентрического типа, половые хромосомы - метацентрического типа.

**Свиньи домашние** –  $2n=38$ ; 1-7 пары – субметацентрические, 8-12 – метацентрические, 13-18 пары – акроцентрические, половые хромосомы – метацентрического типа, **X** - хромосома крупнее, чем **Y**-хромосома. **Свиньи дикие европейские** – 36 хромосом, 15/17 пары хромосом образуют центрическое слияние. При спаривании с домашними появляются гибриды  $2n=37$  хромосом.

**Лошадь** –  $2n=64$ ; 36 аутосом и мелкая **Y**-хромосома акроцентрического типа, 20 аутосом и **X** - хромосома субметацентрического типа.

**Овца** –  $2n=54$ ; 3 пары крупных аутосом имеют метацентрическую форму, 23 пары акроцентрического типа разной величины, половые хромосомы – субметацентрического типа. **X**-хромосома крупная акроцентрического типа, **Y**-хромосома очень мелкая субметацентрического типа.

**Куры** –  $2n=78$ ; у самцов половые хромосомы **XX**, у самок – **XU**; 1, 2, 4 пары – субметацентрические, 3, 6, 7, 11 – акроцентрические, 8, 9, 10 и половые хромосомы – метацентрического типа.

**Гуси** –  $2n=82$ ; у самцов половые хромосомы **XX**, у самок – **XU**; 5 пар – субметацентрические, 2 пары – акроцентрические, остальные – микрохромосомы, **X** – хромосома субметацентрического типа, **Y**-хромосома очень мелкая и не идентифицирована.

**Утки** –  $2n=80$ ; у самцов половые хромосомы **XX**, у самок – **XU**; 3 пары – субметацентрические, остальные – акроцентрические, 33 пары – микрохромосомы, **X**-хромосома небольшого размера акроцентрического типа, **Y**-хромосома относится к микрохромосомам. Диплоидное число хромосом указано в таблице 2.

**Таблица 2 – Диплоидное число хромосом**

Вид	2n	Вид	2n
Человек	46	Собака	78
Шимпанзе	48	Куры	78
Лошадь	64	Гусь	80
Крупный рогатый скот	60	Утка	80
Зубр, як	60	Индейка	82
Свинья домашняя	38	Горих	14
Коза	60	Дрозофила (плодовая мушка)	8
Кошка	38	Карп	104
Мышь домовая	40	Рак-отшельник	254
Крыса	42	Радиолярия	около 1600

Постоянство кариотипа обеспечивают два вида деления клеток – **митоз** и **мейоз**.

В процессе митоза каждая дочерняя клетка получает такой же набор хромосом, как и в материнской клетке, сохраняется диплоидный набор хромосом.

**Митоз** – сложное деление ядра соматических клеток. Включает **интерфазу** и собственно **митоз**.

Интерфаза – предшествует митозу. В ней выделяют три периода:

- 1) пресинтетический –  $G_1$ ;
- 2) синтетический –  $S$ ;
- 3) постсинтетический –  $G_2$ .

Собственно митоз. Выделяют 4 стадии митоза: **профазу, метафазу, анафазу, телофазу.**

**Мейоз.** Деление половых клеток. Включает два деления: редукционное и эквационное.

I. Редукционное деление. Не происходит деления самих хромосом, как при митозе, а лишь распределение парных хромосом по дочерним клеткам, по одной из каждой пары. Редукционное деление подразделяется на 5 фаз.

1. Профаза I – включает 6 стадий: пролептонема, лептонема, зигонема, пахинема, диплонема, диакинез.

2. Метафаза I.

3. Анафаза I.

4. Телофаза I.

Между первым и вторым делениями мейоза имеется непродолжительный период покоя – **интеркинез**, во время которого не происходит репродукция хромосом.

II. Эквационное (уравнительное) деление – происходит аналогично митозу, где клетки последовательно проходят 4 фазы: профазу II, метафазу II, анафазу II, телофазу II.

Новые сочетания генетической информации возникают при мейозе вследствие кроссинговера. В период мейоза, в отличие от митоза, образуются дочерние клетки (гаметы) с гаплоидным набором хромосом в результате двух делений мейоза (редукционного и эквационного). При слиянии отцовской и материнской гамет восстанавливается в зиготе диплоидный набор хромосом.

Мейоз, оплодотворение и митоз обеспечивают поддержание постоянства числа хромосом. В этом их биологическое значение.

**Гаметогенез** – это процесс развития половых клеток. У самцов этот процесс называется – **спермиогенезом**, а у самок – **овогенезом**.

**Спермиогенез** – происходит в семенниках половозрелых животных, включает 4 стадии: размножения, роста, созревания и формирования.

**Овогенез** – происходит в яичниках, начинается в период эмбриогенеза и завершается в период полового созревания, включает 3 стадии: размножения, роста, созревания.

**Задание 1.** Зарисовать типы метафазных хромосом в таблицу 3.

**Таблица 3 – Типы метафазных хромосом**

Типы метафазных хромосом	Рисунок	Характеристика
1.		
2.		
3.		

**Задание 2.** Дать характеристику кариотипов основных видов сельскохозяйственных животных

**Таблица 4 – Характеристика кариотипов основных видов сельскохозяйственных животных**

Вид животного	Число хромосом (2n)	В том числе			
		аутосомы		половые хромосомы	
		метацентрические и субметацентрические	acrocentric	метацентрические и субметацентрические	acrocentric
Крупный рогатый скот					
Свинья					
Лошадь					
Овца					

### Тема 3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ ПРИ ПОЛОВОМ РАЗМНОЖЕНИИ

**Цель занятия:** изучить схемы и научиться решать задачи на моногибридное скрещивание, при разных типах доминирования, анализирующем скрещивании и наличии летальных генов, дигибридном и полигибридном скрещиваниях, ознакомиться с основными типами взаимодействия генов. Научиться решать задачи на разные типы взаимодействия генов.

#### Контрольные вопросы:

1. Дать определения терминам: генотип, фенотип, доминантность, рецессивность, аллель, моно- и дигибридное скрещивание, гомозиготность и гетерозиготность.
2. Закон единообразия гибридов первого поколения.
3. Закон расщепления гибридов второго поколения.
4. Типы доминирования.
5. Правило чистоты гамет и анализирующее скрещивание.
6. Закон независимого наследования признаков.
7. Новообразование, характер взаимодействия и расщепление во втором поколении.
8. Эпистаз, виды эпистаза, характер взаимодействия и расщепление в  $F_2$ .
9. Комплементарность, характер взаимодействия и расщепление в  $F_2$ .
10. Полимерия, характер взаимодействия и расщепление в  $F_2$ .
11. Дать определение понятиям «экспрессивность», «пенетрантность» и «плейотропия», привести примеры.
12. Гены-модификаторы, их роль в проявлении признаков.

#### Теоретическая часть

**Моногибридным** называется такой тип скрещивания, при котором родительские формы различаются по одной паре альтернативных признаков.

**Альтернативными** называют признаки, которые имеют несколько качественных состояний, например, цвет семян гороха (желтый и зеленый).

**Ген** – наследственный задаток.

**Генотип** – совокупность генов, полученных организмом от родителей.

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

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

**Фенотип** – совокупность всех признаков и свойств организма, доступных наблюдению и анализу.

**Доминантный признак (А)** – признак, проявившийся у гибридов первого поколения.

**Рецессивный признак (а)** – признак, оставшийся у гибрида скрытым.

**Аллели** (аллельные гены) – это гены альтернативных признаков, расположенные в одинаковых точках (локусах) парных гомологичных хромосом.

При изучении наследования признаков составляются схемы скрещивания, скрещивание обозначают знаком умножения (×), который ставится между родителями, родительские формы обозначают буквой **Р** (от слова parentes – родители), женский пол обозначают знаком ♀ (символ планеты Венера), мужской – ♂ (символ планеты Марс). Потомство называют гибридами и обозначают буквой **F** (от слова filii – дети), **F<sub>1</sub>** – гибрид первого поколения, **F<sub>2</sub>** – гибрид второго поколения, **F<sub>3</sub>** – гибрид третьего поколения и т.д.

**Фенотип** – совокупность всех свойств и признаков организма, которые развиваются на основе генотипа в определенных условиях среды. Отдельный признак называется **феном** (цвет глаз, форма носа, объем желудка, количество эритроцитов и др.). Основные закономерности наследования были изучены Г. Менделем. Они присущи всем живым организмам.

**Гаметы** (половые клетки) содержат гаплоидный набор хромосом и образуются в половых железах в процессе мейоза. При выписывании гамет необходимо знать, что:

1) при мейозе из каждой пары гомологичных хромосом в гамету попадает только одна, следовательно, из каждой пары аллельных генов – один ген;

2) если организм гомозиготен (например, АА или аа), то все гаметы, сколько бы их ни образовалось, будут содержать только один ген (А или а), т. е. все они будут однотипны и, следовательно, гомозиготный организм образует один тип гамет;

3) если организм гетерозиготен (Аа), то в процессе мейоза одна хромосома с геном **А** попадет в одну гамету, а вторая гомологичная хромосома с геном **а** попадет в другую гамету, следовательно, гетерозиготный организм по одной паре генов будет образовывать два типа гамет;

4) формула (1) для определения типов гамет:



Возможны два варианта результатов скрещивания:

Ген	Признак	Генотип
A	белая масть свиней	AA или Aa
a	черная масть свиней	aa

белая                  черный  
P: ♀ AA × ♂ aa

G: (A)                  (a)

F<sub>1</sub>:                  Aa  
                         белые

белая                  черный  
P: ♀ Aa × ♂ aa

G: (A) (a)                  (a)

F<sub>1</sub>:                  Aa; aa  
                         белые черные

Если в результате скрещивания получено единообразие гибридов первого поколения, то анализируемый организм является гомозиготным, а если в F<sub>1</sub> произойдет расщепление **1 : 1**, то особь гетерозиготна.

**Правило чистоты гамет:** у гетерозиготной особи гены не смешиваются друг с другом, а передаются в половые клетки в «чистом» (неизменном) виде.

**Третий закон Менделя (закон независимого наследования признаков)** – во втором поколении дигибридного скрещивания каждая пара альтернативных генов и признаков, определяемых ими, ведет себя независимо от других пар аллельных генов и признаков, по фенотипу наблюдается расщепление **9 : 3 : 3 : 1**.

Схема наследования представлена ниже:

Ген	Признак	Генотип
A	желтые семена	AA или Aa
a	зеленые семена	aa
B	гладкие семена	BB или Bb
b	морщинистые семена	bb

желтые,                                  зеленые,  
гладкие                                  морщинистые  
P: ♀ AABV × ♂ aabb

G: (AB)                                  (ab)

F<sub>1</sub>:                                  AaBb – желтые, гладкие

P: ♀ AaBb × ♂ AaBb

G: (AB) (Ab) (aB) (ab)                  (AB) (Ab) (aB) (ab)

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

Соотношение фенотипов во втором поколении:

- 9 особей (A-B-) – желтые, гладкие семена;
- 3 особи (aaB-) – зеленые, гладкие семена;
- 3 особи (A-bb) – желтые, морщинистые семена;
- 1 особь (aabb) – зеленые морщинистые семена.

**Летальные гены** – это гены, которые вызывают нарушения в развитии организма, что приводит его к гибели или уродству. Они бывают летальными, сублетальными, субвитаальными. Гены, которые вызывают 100% гибели особей до достижения ими половой зрелости, называют **летальными**, более 50% – **сублетальными**, менее 50% – **субвитаальными**. Летальные гены могут быть доминантными и рецессивными, а также обладать **плейотропным** действием.

#### **Типы доминирования:**

- 1) **полное доминирование** – когда один аллель полностью подавляет действие другого, проявляется признак родителя с доминантным признаком;
- 2) **неполное доминирование** – когда при скрещивании признак уклоняется в сторону родителя с доминирующим признаком;
- 3) **промежуточное доминирование** – потомство в первом поколении сохраняет единообразие, но оно не похоже полностью ни на одного из родителей, как это было при полном доминировании, а обладает признаком промежуточного характера;
- 4) **кодоминирование** – когда у потомка проявляются оба родительских признака в равной степени. По типу кодоминирования наследуется большинство антигенных факторов систем групп крови, разные типы белков и ферментов у животных и человека;
- 5) **сверхдоминирование** – когда у потомков первого поколения проявляется гетерозис – явление превосходства потомства над родительскими формами по жизнеспособности, плодовитости и продуктивности.

**Полигибридным скрещиванием** называется такое скрещивание, в котором участвуют особи, различающиеся по нескольким парам признаков.

Иногда на формирование признака влияют две или несколько пар неаллельных генов. Проявление признака в этом случае зависит от характера их

взаимодействия в процессе развития организма, и соотношение фенотипов во втором поколении будет иным. Наблюдаются следующие типы взаимодействия генов: **комплементарное взаимодействие, эпистаз, полимерия.**

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

Комплементарное взаимодействие представлено новообразованием и дополнительными факторами.

**Новообразование** – это такой тип взаимодействия генов, когда при их сочетании в одном организме развивается совершенно новая форма признака.

У кур гены розовидного и стручковидного гребня не являются аллельными, оба эти гребня доминируют над листовидным. При скрещивании кур породы виандот, имеющих розовидный гребень, с петухами породы брама со стручковидным гребнем у потомков первого поколения в результате взаимодействия двух доминантных генов, появляется новая форма - ореховидный гребень.

**Дополнительные факторы** – это такой тип взаимодействия генов, при котором признак образуется при наличии двух доминантных неаллельных генов, каждый из которых не имеет самостоятельного фенотипического проявления. Такие гены называются **комплементарными.**

При скрещивании кур пород минорка и шелковистые, белых по фенотипу, первое поколение получается окрашенным. Для развития окраски необходимо, чтобы в организме синтезировались *тирозин* – предшественник меланина и фермент *тирозингидроксилаза*, без которого пигмент не образуется. Белые минорки способны синтезировать тирозин, но не способны синтезировать фермент. Белые шелковистые куры обладают способностью синтезировать фермент, но не могут синтезировать тирозин. При скрещивании таких кур между собой потомство получается окрашенным, так как произошло образование пигмента из-за включения в генотип птиц первого поколения обоих доминантных генов. Во втором поколении наблюдается расщепление **9 (окрашенных) : 7 (белых).**

**Эпистаз** – при этом типе взаимодействия доминантный ген одной пары аллелей подавляет действие другого неаллельного доминантного гена. Ген, подавляющий развитие другого признака, называется **эпистатичным**, а подавляемый – **гипостатичным.** У лошадей серая масть связана с доминантным геном раннего поседения, который подавляет все другие масти.

Эпистаз может быть доминантным и рецессивным. При доминантном – один доминантный ген подавляет действие другого доминантного гена. При рецессивном – оба гена и подавляющий, и подавляемый – рецессивные.

**Полимерия** – это тип взаимодействия генов, при котором на один и тот же признак влияют несколько пар разных, но сходно действующих генов, каждый из которых усиливает развитие признака. При этом, чем больше генов, тем признак ярче выражен. Гены, действующие в одном направлении и усиливающие развитие признака, называются **аддитивными.**

Полимерный тип наследования имеет большое значение для наследования количественных признаков, к которым относятся признаки, характеризующие

продуктивность животных (удой, жирность молока, масса яиц, живая масса и т.д.). Эти признаки наследуются по типу постоянно-промежуточного наследования, т. е. в первом поколении признак наследуется промежуточно по средней величине признака. Во втором поколении – тоже промежуточно между родительскими формами, но изменчивость резко возрастает. Полигенно наследуется в некоторых случаях резистентность к отдельным факторам внешней среды.

**Экспрессивность** – это степень выраженности признака. Внешняя среда и гены-модификаторы могут изменять экспрессию гена, т. е. выражение признака.

**Пенетрантность** – это доля особей, у которых проявляется ожидаемый фенотип. Это способность гена к фенотипическому проявлению. При полной пенетрантности (100%) мутантный ген проявляет свое действие у каждой особи. При неполной пенетрантности (меньше 100%) ген проявляется фенотипически не у всех особей.

Экспрессивность и пенетрантность гена в значительной степени зависят от влияния генов-модификаторов и условий развития особи.

**Гены-модификаторы** – это гены, не проявляющие собственного действия, но ослабляющие или усиливающие действие основного гена.

Пример: белая пятнистость у голштино-фризов определяется генами-модификаторами, которые вызывают вариацию проявления пятнистости от почти полной пигментации до почти полного ее отсутствия.

**Плейотропия** – это влияние одного гена на развитие двух и более признаков (множественное действие гена). Явление плейотропии объясняется тем, что гены плейотропного действия контролируют синтез ферментов, которые участвуют в обменных процессах организма и тем самым влияют на развитие других признаков. Пример: у норок изменение окраски волосяного покрова вызывается рецессивными генами, которые могут снижать плодовитость и жизнеспособность.

### **Методика постановки скрещиваний и используемые линии дрозофилы**

Для скрещивания целесообразно использовать виргинных (неоплодотворенных) самок, так как жизнеспособная сперма от предыдущей копуляции сохраняется в половых путях самки дрозофилы в течение нескольких суток. Виргинных самок соответствующей линии (3-5 шт.) помещают в одну пробирку с самцами другой линии. Эти мухи составляют родительское поколение. Родительские особи остаются в пробирках в течение 4-5 суток, после чего их удаляют из емкостей, а из отложенных яиц развивается новое поколение скрещивания. Подсчет результатов скрещивания производится в течение 5-7 дней. Опыты ставятся в термостате при температуре 24-25°C.

Для моногибридного скрещивания используются линии, маркированные аутосомным геном, которые скрещиваются (реципрокно) с особями линии дикого типа (таблица 5). Для скрещивания отбираются виргинные самки. Параллельно ставят анализирующее скрещивание. При скрещивании гибридов  $F_1$  между собой виргинных самок не отбирают, при анализирующем скрещивании подсчет его результатов обязательно производится в  $F_2$  и  $F_3$ .

**Таблица 5 – Рекомендуемые линии**

№ п/п	Лабораторное название	Генотип	Гены	Локус	Фенотипическое проявление гена	Фенотип линии
1	Berlin				нормальные аллели всех генов	дикий тип
2	Canton S (c-s)				нормальные аллели всех генов	дикий тип
3	w	w	w (white)	1 – 1,5	белые глаза	белые глаза
4	st	st	st (scarlet)	3 – 44,0	багряно-красный цвет глаз, глаза бесцветные	ярко-красные глаза
5	y	y	y (yellow)	1 – 1,0	желтое тело	желтое тело, светлые крылья, желтые лапки
6	b	b	b (black)	2 – 48,5	черное тело, жилки ножек темные	черное тело

### Моногибридное скрещивание у дрозофилы

#### Этапы:

1. Отобрать виргинных самок.
2. Поставить скрещивание в соответствии с разработанным заданием.
3. Получить F<sub>1</sub> и проанализировать его.
4. Поставить на скрещивание мух F<sub>1</sub>.
5. Получить F<sub>2</sub> и проанализировать его.

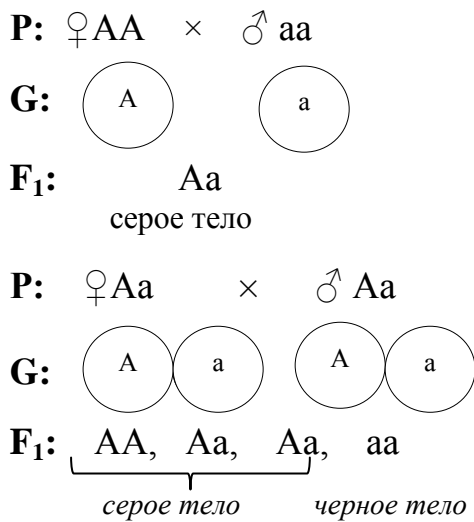
Для постановки опыта в качестве одной из родительских форм следует взять линию дикого типа (Normal) – *berlin* или *canton S* (*серое тело*), а в качестве второй родительской формы можно взять одного из мутантов: *white* (*белые глаза*), *scarlet* (*ярко-красные глаза*), *yellow* (*желтое тело*) и др.

#### Выполнение задания

1. Вначале следует составить схему и определить теоретически ожидаемое наследование признаков в F<sub>1</sub> и F<sub>2</sub>.
2. В соответствии с подобранной комбинацией скрещивания 2–3 виргинных самок поместить вместе с 3–5 самцами в пробирку со свежей средой.
3. Через 10-12 дней после постановки опыта, когда в пробирке будет массовое вылупление мух F<sub>1</sub>, их следует усыпить и проанализировать. Все они как в прямом, так и в обратном скрещивании будут одинаковыми по признаку одного из родителей.
4. В каждой комбинации для получения F<sub>2</sub> следует провести скрещивание внутри себя. С этой целью среди анализируемых мух отобрать 2-3 самок и 3-5 самцов и поместить в пробирки со свежей средой. В каждой комбинации для получения F<sub>2</sub> поставить по 2-3 и более пробирки.

#### Схема моногибридного скрещивания *berlin* × *canton S*

Ген	Признак
<b>A</b>	серое тело
<b>a</b>	черное тело
<i>серое</i>	<i>черное</i>



По фенотипу – 3:1

По генотипу – 1:2:1

5. Через 10-12 дней в пробирках отмечается массовое вылупление мух F<sub>2</sub>. Их следует усыпить в эфиризаторе и проанализировать на матово-белом стекле. При внимательном просмотре отделить и подсчитать мух с черным телом (black). В соответствии со схемой опыта их будет примерно 1/4 от общего числа. Затем отделить и подсчитать мух с нормальным цветом тела. Их будет примерно 3/4 от общего числа. Результаты подсчета занести в таблицу 6.

**Таблица 6 – Результаты гибридологического анализа при моногибридном скрещивании дрозофил *berlin* × *canton S***

Гибрид F <sub>2</sub>	Проанализировано		
	всего	в том числе	
		серое тело	черное тело
<i>berlin</i> × <i>canton S</i>			

Вывод:

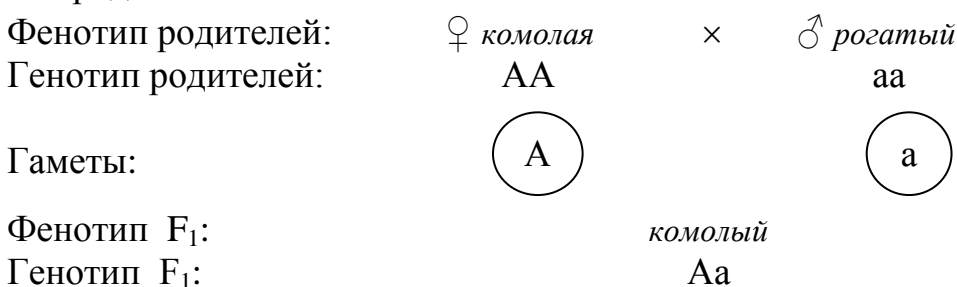
*Методика решения задач на моногибридное скрещивание*

При решении задачи, на основании ее условия, заполняется решетка с указанием признаков и генов, их обуславливающих.

Например:

Ген	Признак
A	комольй
a	рогатый

Затем составляется схема скрещивания с указанием генотипов и фенотипов родителей и потомков.



Потомство ( $F_1$ ) по фенотипу комолое, по генотипу гетерозиготное. Если родитель с доминантным признаком является гетерозиготным ( $Aa$ ), тогда у него образуется 2 сорта гамет ( $A$  и  $a$ ) и два типа потомков ( $Aa$  и  $aa$ ). Кроме того, оба родителя могут быть гетерозиготны или признак наследуется не при полном доминировании. Поэтому для успешного решения задач надо хорошо знать наследование признаков при разных типах доминирования и анализирующем скрещивании.

При решении задач по наследованию летальных генов надо иметь в виду, что в большинстве случаев летальные гены рецессивны и их действие обнаруживается при переходе в гомозиготное состояние, главным образом при родственном спаривании.

Пример:

Ген	Признак
$V$	нормальное развитие челюсти
$v$	отсутствие нижней челюсти

Фенотип родителей:	♀ нормальная	×	♂ нормальный	
Генотип родителей:	$Vv$		$Vv$	
Гаметы:	$V$	$v$	$V$	$v$
Фенотип $F_1$ :	норм.	норм.	норм.	отсутствие челюсти
Генотип $F_1$ :	$VV$	$Vv$	$Vv$	$vv$

Если оба родителя гетерозиготны, то 25% приплода, гомозиготного по рецессивному гену ( $vv$ ), погибает на ранней стадии развития.

В отдельных случаях доминантные гены, обуславливающие в гетерозиготном состоянии желательные признаки, в гомозиготном состоянии могут вызывать аномалии и даже гибель животных на той или иной стадии их развития. Так, например, при скрещивании серых овец с серыми баранами каракульской породы было обнаружено, что они всегда гетерозиготны ( $Cc$ ) и в их потомстве появляется 25% черных ягнят ( $cc$ ). Среди полученных серых ягнят 25% всего приплода с переходом на питание грубым кормом заболело хроническим тимпанитом и погибало. Оказалось, что в гомозиготном состоянии ген серой окраски ( $CC$ ) обладал летальным действием, связанным с нарушением парасимпатической нервной системы. Чтобы избежать гибели ягнят, надо серых овец ( $Cc$ ) скрещивать с черными баранами.

#### *Методика решения задач на дигибридное скрещивание*

Задача. У крупного рогатого скота черная масть доминирует над красной, а комолость – над рогатостью. Какими будут потомки первого поколения по фенотипу от скрещивания гомозиготных родителей: черного комолого быка и красной рогатой коровы? Какое будет наблюдаться расщепление во втором поколении при скрещивании гетерозигот между собой?



В период образования половых клеток при мейозе из каждой пары гомологичных хромосом в гамету придет только одна.

Например: при генотипе  $AaBb$  образуется один сорт гамет ( $Ab$ ), при генотипе  $AABB$  – ( $AB$ ), при генотипе  $aabb$  – ( $ab$ ). У особей, гетерозиготных по одному признаку  $AaBB$ , образуется 2 сорта гамет ( $AB$ ) и ( $aB$ ), у особей, гетерозиготных по двум парам признаков  $AaBb$ , образуется 4 сорта ( $AB, Ab, aB, ab$ ). При скрещивании гибридов первого поколения ( $AaBb \times AaBb$ ) каждый из сперматозоидов может оплодотворить любую из яйцеклеток с одинаковой вероятностью. Получается 16 возможных сочетаний гамет отца и матери.

При скрещивании особей, различающихся по двум парам признаков, Г. Мендель доказал, что расщепление по генотипу и фенотипу во втором поколении является результатом независимого комбинирования генов и признаков. На основании этого был установлен закон независимого наследования признаков.

#### Методика решения задач на взаимодействие генов

**Задача:** У большинства пород кур окрашенное оперение, детерминирует ген  $C$ , белое оперение – его аллель  $c$ . У породы *леггорн* имеется эпистатический ген  $P$ , подавляющий развитие пигмента даже при наличии гена  $C$ . Его аллель  $p$  такого эффекта не оказывает и действие гена  $C$  проявляется. Скрещены две белые дигетерозиготные особи. Определите расщепление по фенотипу у потомков.

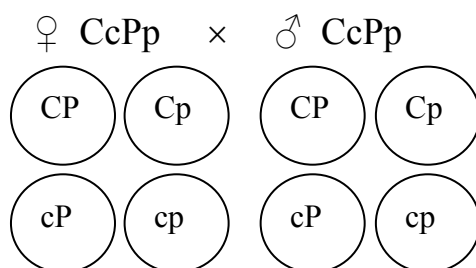
**Решение:**

Ген	Признак	Генотип
$C$	окрашенное оперение	$C-pp$
$c$	белое оперение	$C-P-; ccP-; ccPp$

Фенотип родителей:

Генотип родителей:

Гаметы:



Фенотип  $F_1$

белые окрашенные белые белые

Генотип  $F_1$ :

9  $C-P-$  3  $C-pp$  3  $ccP-$  1  $ccpp$  (соотношение 13 : 3)

**Задание 1.** Составить схемы скрещивания по каждому типу доминирования.

**Задание 2.** Решить задачи на дигибридное скрещивание (сборник задач).

**Задание 3.** Напишите схему скрещивания при взаимодействии генов типа «новообразование», покажите соотношение фенотипов в  $F_2$ .

Ген	Признак
$R$	розовидный гребень
$r$	листовидный
$C$	стручковидный
$c$	листовидный

Фенотип родителей: ♀ розовидный × ♂ стручковидный  
 Генотип родителей: RRcc rrCC  
 Гаметы:  $\text{Rc}$   $\text{rC}$

Фенотип F<sub>1</sub>: ореховидный  
 Генотип F<sub>1</sub>: RrCc

		F <sub>1</sub>		×		F <sub>1</sub>	
♀	♂						

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

**Задание 4.** Напишите схему скрещивания при типе взаимодействия генов «эпистаз». Покажите соотношение по фенотипу в F<sub>2</sub>.

Ген	Признак
C	раннее поседение
c	отсутствие раннего поседения
B	воронья масть
b	рыжая масть





Фенотип родителей: серая рыжий  
 Генотип родителей: ♀ CCBV × ♂ ccvv  
 Гаметы:  $\text{CV}$   $\text{cv}$   
 Фенотип F<sub>1</sub>:  $\text{CcVv}$   
 Генотип F<sub>1</sub>:  $\text{CcVv}$

		F <sub>1</sub>		×		F <sub>1</sub>	
♀	♂						

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

**Задание 5.** Напишите схему скрещивания при типе взаимодействия генов «комплементарность», покажите соотношение по фенотипу в F<sub>2</sub>.

Ген	Признак
C	способность синтезировать белок (тирозин)
c	неспособность синтезировать белок
O	способность синтезировать фермент (тирозингидроксилазу)
o	неспособность синтезировать фермент





Фенотип родителей: белая                      белый  
 Генотип родителей: ♀ СС<sub>оо</sub> × ♂ сс<sub>ОО</sub>  
 Гаметы:    
 Фенотип F<sub>1</sub>:    
 Генотип F<sub>1</sub>:

	F <sub>1</sub>	×	F <sub>1</sub>		
♀	♂				

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

**Задание 6.** Напишите схему скрещивания при типе взаимодействия генов «полимерия», покажите соотношение по фенотипу в F<sub>2</sub>.

Ген	Признак
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	окраска цветков темно-красная
a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	окраска цветков белая

Фенотип родителей: темно-красная                      белая  
 Генотип родителей: ♀ A<sub>1</sub>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>A<sub>2</sub> × ♂ a<sub>1</sub>a<sub>1</sub>a<sub>2</sub>a<sub>2</sub>  
 Гаметы:    
 Фенотип F<sub>1</sub>:    
 Генотип F<sub>1</sub>:

	F <sub>1</sub>	×	F <sub>1</sub>		
♀	♂				

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

**Задание 7.** Проведите тригибридное скрещивание. Определите, сколько групп животных будет с новыми сочетаниями признаков, установите их процентное соотношение, определите, какая часть животных из каждой группы будет при скрещивании между собой давать такое же потомство (сборник задач).

Ген	Признак
A	
a	
B	
b	
C	
c	

Фенотип родителей:  
 Генотип родителей: ♀ AABVCC × ♂ aаввсс  
 Гаметы:  
 Фенотип F<sub>1</sub>:  
 Генотип F<sub>1</sub>:

F <sub>1</sub> × F <sub>1</sub>									
♀ ↙ ♂	ABC	ABc	AbC	Abc	aBC	aBc	abC	abc	
ABC									
ABc									
AbC									
Abc									
aBC									
aBc									
abC									
abc									

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

#### Тема 4. ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

**Цель занятия:** изучить особенности наследования признаков при полном и неполном сцеплении генов и расчет процента перекреста.

**Контрольные вопросы:**

1. Понятие о сцепленном наследовании и группах сцепления.
2. Генетический анализ полного сцепления.
3. Генетический анализ неполного сцепления.
4. Виды кроссинговера.
5. Карты хромосом и принципы их построения.
6. Основные положения хромосомной теории.

**Теоретическая часть**

**Сцепленные гены** – гены, располагающиеся в одной хромосоме и наследующиеся вместе. Гены одной пары образуют группу сцепления. Число групп сцеплений соответствует гаплоидному набору хромосом. Сущность сцепленного наследования признаков была обоснована в 1910 г. Т. Морганом и его сотрудниками. Объектом исследования была муха-дрозофила (рисунок 4).

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

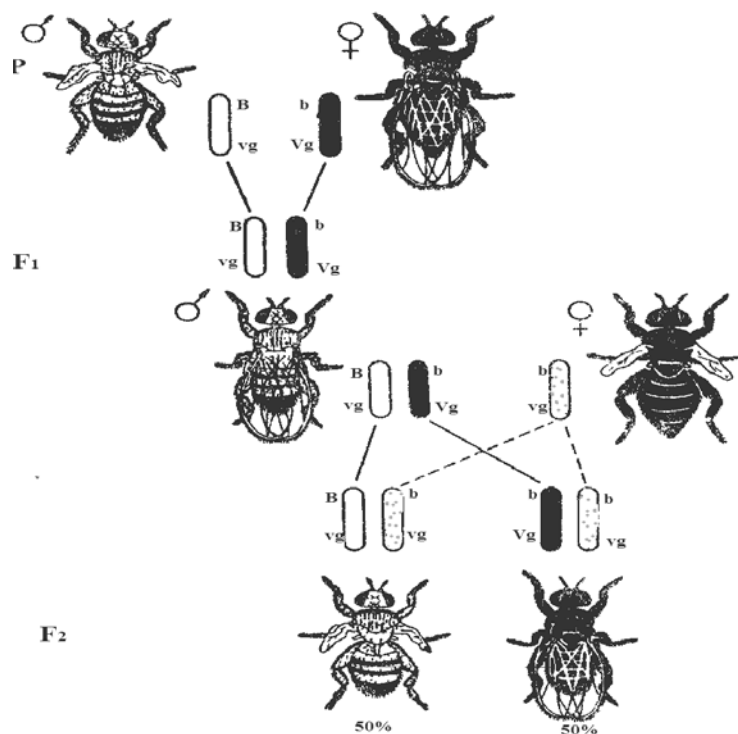


Рисунок 4 – Схема наследования признаков при полном сцеплении (по А. В. Бакаю и др.)

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

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

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

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

При дальнейшем анализе сцепления генов было обнаружено, что в некоторых случаях оно может нарушаться (рисунок 5).

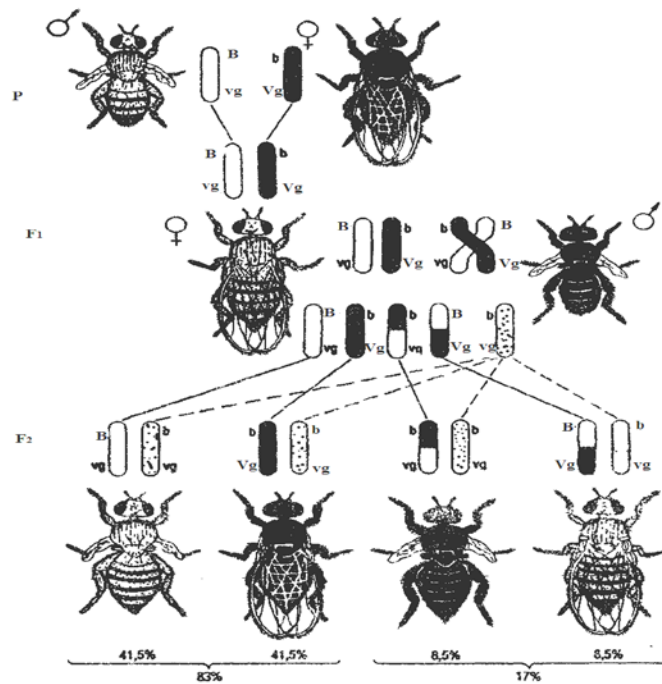


Рисунок 5 – Схема наследования признаков при неполном сцеплении (по А. В. Бакаю и др.)

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

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

**Кроссинговер** – обмен участками гомологичных хромосом в момент конъюгации их в мейозе.

Кроссинговер приводит к нарушению групп сцеплений.

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

### Основные положения хромосомной теории наследственности Т. Моргана

1. Гены в хромосомах расположены линейно на определенном расстоянии друг от друга.
2. Гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются сцепленно и образуют группу сцепления.
3. Число групп сцеплений соответствует гаплоидному набору хромосом.



Схема анализирующего скрещивания ( $F_1 \times$  рецессивная форма):

**Задание 2.** Приведите схему наследования признаков при неполном сцеплении. Схема анализирующего скрещивания ( $F_1 \times$  рецессивная форма).

Фенотип родителей: ♀ × ♂

Генотип родителей:

Гаметы:

Фенотип  $F_2$ :

Генотип  $F_2$ :

**Задание 3.** Определите процент перекреста между сцепленными генами.

Условие задачи:

Какие типы гамет образуются у организмов, имеющих генотипы:

$\frac{AB}{ab}$ ,  $\frac{Ab}{aB}$ ,  $\frac{aB}{AB}$ ,  $\frac{AbCd}{aBcD}$  (кроссинговер отсутствует)?

## Тема 5. ГЕНЕТИКА ПОЛА

**Цель занятия:** изучить типы хромосомного определения и детерминации пола и научиться решать задачи по наследованию пола и признаков, сцепленных с полом.

### Контрольные вопросы:

1. Хромосомное определение пола. Типы детерминации пола.
2. Наследование пола. Понятие о первичном соотношении по полу.
3. Нарушения определения пола.
4. Нарушения формирования признаков пола.
5. Проблема искусственного регулирования пола.
6. Понятие признаков, сцепленных с полом.
7. Наследование признаков, сцепленных с полом.
8. Особенности наследования болезней и аномалий развития, сцепленных с полом.
9. Значение признаков, сцепленных с полом, для практики животноводства и ветеринарии.

### Теоретическая часть

Кариотипы мужского и женского организмов отличаются друг от друга одной парой хромосом, названных половыми. У млекопитающих особи женского пола содержат две гомологичные половые хромосомы, названные X-хромосомами, а мужские особи содержат только одну X-хромосому, вторая, не гомологичная ей хромосома, называется Y-хромосомой. Набор половых хромосом женской особи обозначается XX, а мужской – XY. У птиц формула половых хромосом иная: у самцов – XX, а у самок – XY. Таким образом, у млекопитающих гомогаметным полом, образующим один тип гамет (X), является женский, гетерогаметным, образующим 2 сорта гамет (X и Y), является мужской, у птиц, рыб, наоборот, гомогаметный пол – мужской (XX), гетерогаметный – женский (XY).

Признаки, сцепленные с полом, обусловлены генами, локализованными в половых хромосомах. Установлено, что наследование их зависит в основном от

**X-хромосомы, Y-хромосома** имеет небольшие размеры и является генетически инертной, за исключением некоторых генов, контролирующих воспроизводительную функцию и признаки пола. У самцов млекопитающих и самок у птиц гены, локализованные в **X-хромосоме**, не имеют аллельных генов в **Y-хромосоме**. Рecessивные гены у них проявляют свое действие уже в одинарной дозе (гомозиготном состоянии).

**Сцепленными с полом** называются признаки, гены которых находятся в половых хромосомах. Установлено, что наследование их зависит в основном от **X-хромосомы**, так как **Y-хромосома** имеет небольшие размеры, состоит из гетерохроматина и является генетически инертной.

Существует ряд болезней и аномалий развития, которые сцеплены с полом. Например, гемофилия у собак и лошадей, дальтонизм у человека, патология развития конечностей у бычков и у свиней, отсутствие зубов и шерстного покрова у телят (в гомозиготном состоянии этот ген летален у самок). Сцеплены с **X-хромосомой** некоторые виды рахита, потемнение эмали зубов и др.

Признаки, сцепленные с полом, имеют большое значение для практики животноводства. В птицеводстве для разделения суточных цыплят по полу эффективно используется сцепленная с полом окраска оперения.

Так, при скрещивании золотистых петухов с серебристыми курами, из яиц вылупились желтые курочки, белые – петушки. В других вариантах, при скрещивании полосатых и неполоватых кур, цыплята-петушки имели светлое пятно на затылке, а курочки - нет.

*Методика решения задач на наследование признаков, сцепленных с полом*

Задача: У человека несвертываемость крови (гемофилия) детерминирована сцепленным с полом recessивным геном **h**. Родители здоровы, их сын болен гемофилией. Требуется определить, кто из родителей мог передать ген гемофилии.

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

Решение:

Ген	Признак	Генотип
$x^H$	нормальная свертываемость крови	$x^H x^H$ ; $x^H x^h$ ; $x^H Y^-$
$x^h$	гемофилия	$x^h x^h$ ; $x^h Y^-$

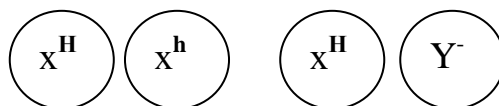
Фенотип родителей:

здоровая                      здоров

Генотип родителей:

♀  $x^H x^h$                       ×                      ♂  $x^H Y^-$

Гаметы:



Фенотип  $F_1$ :

здоровая                      здоровая                      здоров                      сын с гемофилией

Генотип  $F_1$ :

♀  $x^H x^H$                       ♀  $x^H x^h$                       ♂  $x^H Y^-$                       ♂  $x^h Y^-$

носительница  
гемофилии

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

Так как у отца всего одна **X**-хромосома, он имеет только один ген свертываемости крови, а именно **H**, и не является переносчиком гена гемофилии. Мать, будучи здоровой и имея в одной **X**-хромосоме ген **H**, может быть гетерозиготной носительницей гемофилии.

Больным ребенком-гемофиликом у таких родителей мог быть только сын, так как свою единственную **X**-хромосому с геном гемофилии он получает от матери. Дочери, получая **X**-хромосомы от матери и отца, благодаря отцу всегда будут здоровыми. Однако часть дочерей может быть носительницами гемофилии.

**Задание 1.** Заполните таблицу наследования пола с указанием половых хромосом

**Таблица 7 – Наследование пола с указанием половых хромосом**

Млекопитающие		Птицы		Насекомые	
P	♀ × ♂	P	♀ × ♂	P	♀ × ♂
G		G		G	
F		F		F	

**Задание 2.** Составьте таблицу нарушений определения пола у сельскохозяйственных животных

**Таблица 8 – Нарушения определения пола у сельскохозяйственных животных**

Аномальный набор половых хромосом	Фенотипическое проявление аномалии	Вид животных
1.		
2.		

**Задание 3.** Решение задач на сцепленное с полом наследование признаков (сборник задач).

## Тема 6. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

**Цель занятия:** изучить структуру и химический состав нуклеиновых кислот, научиться решать задачи на моделирование синтеза ДНК, РНК и белка; изучить особенности строения генов эукариот и прокариот.

### Контрольные вопросы:

1. Доказательство роли ДНК в наследственности.
2. Биологическая роль нуклеиновых кислот.
3. Структура ДНК по Уотсону и Крику. Строение и химический состав ДНК.
4. Репликация (удвоение) ДНК.

5. Химический состав, структура и виды РНК.
6. Генетический код и его свойства.
7. Синтез белка в клетке. Транскрипция. Процессинг и сплайсинг.
8. Синтез белка в клетке. Трансляция.
9. Центровая теория гена.
10. Современное представление о строении генов.
11. Свойства генов.
12. Функции генов.
13. Различия в строении генов у прокариот, эукариот и вирусов.

### Теоретическая часть

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

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

Азотистые основания нуклеотидов обеих цепей ДНК заключены внутри между витками спирали и соединены водородными связями. При этом аденин одной цепи связан только с тимином другой цепи, а гуанин – только с цитозином. Цепи ДНК комплементарны, они взаимно дополняют друг друга (рисунок 7).

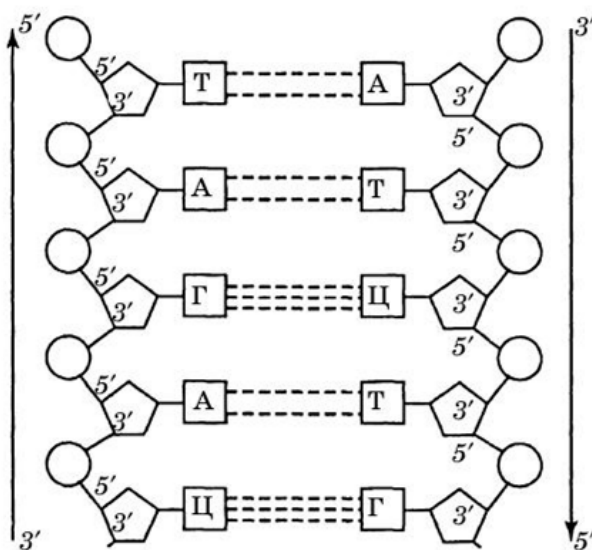
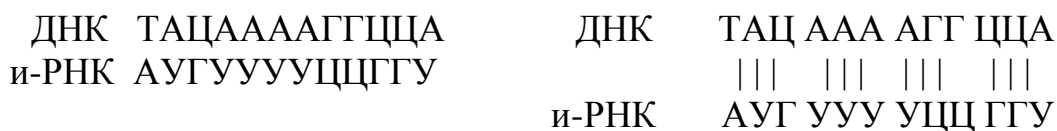


Рисунок 6 – Схема строения отрезка развернутой двухцепочечной молекулы ДНК (по С. М. Гершензону)

ДНК находится в хромосомах и перед каждым удвоением хромосом и делением клетки происходит ее репликация (удвоение).

Под действием ферментов двойные цепи ДНК расплетаются и каждая цепь достраивает вторую, комплементарную ей цепь.

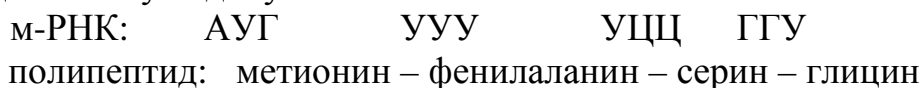
При синтезе белка наследственная информация, записанная в ДНК (гене), точно переписывается (транскрибируется) в нуклеотидную последовательность и-РНК при помощи фермента РНК-полимеразы.



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

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

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



**Генетический код** – это система записи наследственной информации в молекулах нуклеиновых кислот в виде определенной последовательности нуклеотидов. Он был полностью расшифрован в 1966 году. Была определена природа связи между структурой гена и соответствующего белка.

Установлено, что 61 кодон кодирует 20 аминокислот, 3 кодона не соответствуют никакой аминокислоте и определяют конец синтеза белка.

**Генетический код** обладает триплетностью, универсальностью, вырожденностью, неперекрываемостью и коллинеарностью. В генетическом коде кодон АУГ является инициатором синтеза белка, если он находится в начале м-РНК. Если же он находится в середине цепи, то кодирует аминокислоту метионин. Кодоны УАГ, УАА и УГА являются терминаторами синтеза белка. В кодонах для одной аминокислоты первые два нуклеотида одинаковые, а третий варьирует.

### Синтез белка в клетке

Синтез белка в клетке происходит в I стадию интерфазы до начала репликации ДНК. В процессе синтеза белка различают этапы транскрипции и трансляции.

**Транскрипция** – это процесс переписывания наследственной информации с гена на и-РНК. Происходит в ядре клетки в направлении 5'-3'.

В генах эукариот есть участки, не содержащие информации – интроны, участки ДНК, несущие информацию называются – экзоны. Поэтому после синтеза и-РНК должна пройти процесс созревания – **процессинг**.

**Трансляция** – это процесс перевода последовательности нуклеотидов в и-РНК в последовательность аминокислот в молекуле белка.

Процесс трансляции включает 2 этапа:

1. Активирование аминокислот.
2. Синтез белковой молекулы.

Процесс непосредственно синтеза белка происходит в 3 стадии:

- 1) инициация (начало синтеза);
- 2) элонгация (удлинение цепи);
- 3) терминация (окончание синтеза).

**Таблица 9 – Генетический код**

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

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

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

При изучении мутаций гена *scute*, влияющего на развитие щетинок на теле дрозофилы, было обнаружено явление **ступенчатого аллелизма**, это явилось доказательством того, что ген не является единицей мутации, он дробим и имеет сложную структуру.

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

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

*Методика решения задач на моделирование синтеза белка*

**Задача:** Фрагмент молекулы ДНК, кодирующий часть полипептида, имеет следующее строение: АТАГТЦЦААГГА. Определите последовательность аминокислот в полипептиде.

**Решение.** Известна одна цепь ДНК, с которой считывается и-РНК. Разбиваем цепь ДНК на триплеты. Строим и-РНК по условию задачи:

АТА	ГТЦ	ЦАА	ГГА
УАУ	ЦАГ	ГУУ	ЦЦУ

По таблице генетического кода (таблица 3) последовательно находим для каждого триплет соответствующую аминокислоту и строим участок искомого полипептида:

ДНК:	АТА	ГТЦ	ЦАА	ГГА
и – РНК:	УАУ	ЦАГ	ГУУ	ЦЦУ

Аминокислота: тирозин - глутамин - валин - пролин  
 Полипептид: Тир - Глн - Вал - Про

**Задание 1.** Решение задач на моделирование синтеза ДНК и белка по индивидуальным заданиям.

**Задание 2.** Приведите схему строения фрагмента молекулы ДНК.

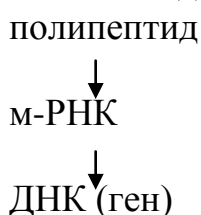
**Задание 3.** По индивидуальным заданиям в соответствии с последовательностью аминокислот в полипептиде определите состав кодонов и-РНК, состав триплетов на участке ДНК (гене):

Полипептид  
 и-РНК  
 ДНК

**Задание 4.** Смоделируйте синтез гена химическим путем.

Последовательность аминокислот в молекуле полипептида следующая:

а) определите структуру гена (используем начальные кодоны из генетического кода (таблица 4).



## Тема 7. ГЕНЕТИКА МИКРООРГАНИЗМОВ

**Цель занятия:** ознакомиться со строением и размножением микроорганизмов и видами обмена генетической информацией.

### **Контрольные вопросы:**

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

### **Теоретическая часть**

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

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

**Размножение бактерий.** Бактерии размножаются путем деления. Наиболее важным является процесс воспроизведения нуклеоида. Репликация ДНК идет полуконсервативным способом с участием ДНК-полимеразы, происходит в период роста бактерии, начинается с определенного участка и идет в одном направлении. В репликации участвуют ферменты ДНК-полимеразы. На каждой цепи образуется дочерняя по принципу комплементарности. После репликации дочерние ДНК отодвигаются, между ними образуется межклеточная перегородка, формируются органоиды, затем клетки отделяются друг от друга.

**Строение вирусов.** Вирус имеет различную форму, в виде палочек, шаров, но в основном они в виде многогранника. Вирус содержит нуклеиновую кислоту, ДНК или РНК, при этом ДНК может быть двухцепочечной или одноцепочечной, также и РНК может содержать одну или две цепи. Молекулы ДНК и РНК вируса могут быть линейными и кольцевыми, они окружены белковой оболочкой – капсидом. Вирусы, которые паразитируют в клетках бактерий, называются **бактериофаги**. Это простейшие организмы, содержащие в основном ДНК, а вирусы растений – РНК. Бактериофаг состоит из головки с ДНК, хвоста с отростками, снаружи покрыт белковой оболочкой (капсидом). ДНК содержится в головке фага. Размер фага колеблется от 20 до 200 нм. В генетике часто используются фаги  $T_4$  и  $\lambda$  (лямбда).

**Размножение вирусов.** Вирусы способны размножаться только внутри клетки, так как у него нет собственной белок-синтезирующей системы, вне

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

#### **Виды обмена генетическим материалом у бактерий:**

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

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

Конъюгация – это передача наследственного материала при скрещивании бактерий.

**Задание 1.** Зарисовать схему репликации бактериальной ДНК.

**Задание 2.** Зарисовать схемы обмена генетическим материалом у бактерий: трансформации, трансдукции, конъюгации.

### **Тема 8. МУТАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОРГАНИЗМОВ**

**Цель занятия:** изучить классификацию мутаций и механизмы действия основных групп мутагенов и антимутагенов; ознакомиться с процессом репарации.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Понятие о мутации и мутационном процессе. Классификация мутаций.
2. Характеристика геномных, хромосомных и генных мутаций.
3. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости Н.И. Вавилова.
4. Индуцированный мутагенез.
5. Роль репарирующих систем в мутационном процессе. Виды репарации.
6. Источники радиации и загрязнения внешней среды радионуклидами.
7. Пути поступления радионуклидов в организм животных.
8. Влияние ионизирующей радиации на организм сельскохозяйственных животных.

#### **Теоретическая часть**

**Изменчивость** – это возникновение различий между организмами по ряду признаков и свойств. Изменчивость свойственна всем живым организмам. Изменчивость организмов является одним из важнейших проявлений жизни, она выражается в различиях между особями по признакам тела или отдельных его органов и функций. Различия между особями одного вида могут зависеть от изменений генов и внешних условий, в которых происходит развитие организма.

**Виды изменчивости:** мутационная, комбинативная, коррелятивная, модификационная, реализационная.

**Мутация** – это стойкое изменение в структуре ДНК и кариотипе, которое ведет к изменению признака.

**Мутагенез** – это процесс возникновения и развития мутаций.

**Полиплоидия** – увеличение гаплоидного числа хромосом в четное или нечетное число раз. Исходным набором хромосом любого полиплоидного ряда является гаплоидное их число  $n$ , кратное увеличение этого числа образует полиплоидный ряд. Диплоидное число хромосом особи  $2n$  – диплоиды. При полиплоидии могут получаться особи  $3n$  – триплоиды,  $4n$  – тетраплоиды,  $5n$  – пентаплоиды,  $6n$  – гексаплоиды,  $7n$ ,  $8n$  и т. д. Полиплоидия встречается в основном у растений.

**Виды полиплоидии:** автополиплоидия (возникает при увеличении числа хромосом у растений одного вида), аллополиплоидия (возникает при скрещивании растений разных видов). Аллополиплоиды, имеющие удвоенный набор хромосом двух исходных видов растений, называются **амфидиплоиды**. Если аллополиплоид содержит удвоенное число хромосом трех видов растений, он называется **аллотриплоид**.

Полиплоиды получают с помощью химических мутагенов (гетероауксин, колхицин, аценафтен и др.), которые задерживают деление клетки, но способствуют делению ядра. При этом увеличивается число хромосом и количество цитоплазмы, что приводит к увеличению размера листьев, цветов, плодов, но снижается плодовитость и удлиняется вегетационный период.

Полиплоидия используется в селекции для получения новых высокоурожайных сортов растений.

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

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

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

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

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

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

**Гаплоиды** – это организмы с половинным набором хромосом по сравнению с исходными формами. Характерной особенностью гаплоидов является уменьшение размеров всех клеток и органов. Поскольку у гаплоидов одинарный набор хромосом, то у них могут проявляться не только доминантные, но и рецессивные гены.

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

**Генные мутации** – это изменения структуры гена. Они бывают:

гипоморфные, гиперморфные, антиморфные, неоморфные, аморфные.

В результате генных мутаций происходит замена нуклеотидов внутри кодонов, появляются вставки и делеции, что приводит к мутациям сдвига рамки чтения. Генные мутации являются причиной появления аллельных генов.

## **Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости**

**Н. И. Вавилова**

1. Роды и виды, генетически близкие, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида, можно предвидеть существование параллельных форм у других видов и родов. Чем ближе генетически расположены в общей системе роды и виды, тем полнее сходство в рядах их изменчивости.

2. Целые семейства растений в общем характеризуются определенным циклом изменчивости, проходящей через все роды и виды, составляющие семейство.

**Индукцированный мутагенез** – это процесс возникновения мутаций под действием специальных факторов – мутагенов. Мутагены бывают физические, химические, биологические.

**Репарация** – это процесс восстановления специальными ферментами поврежденной молекулы ДНК.

**Фоторепарация (фотореактивация)** – это восстановление измененных участков ДНК под влиянием фотореактивирующих ферментов на свету. Фоторепарация действует в основном у растений.

**Темновая репарация** – это восстановление структуры ДНК в темноте. При поражении молекулы ДНК восстановление происходит в несколько этапов при участии 4-х ферментов:

1) **эндонуклеаза**, находит поврежденный участок и надрезает нить ДНК в начале и в конце поврежденного участка;

2) **эксонуклеаза**, расширяет поврежденный участок и удаляет от 500 до 1000 нуклеотидов;

3) **ДНК-полимераза**, достраивает цепи ДНК по правилу комплементарности;

4) **лигаза**, устраняет разрывы.

В результате репарации полностью восстанавливается поврежденная молекула ДНК, и она приобретает первоначальную структуру. Репарирующие ферменты удаляют не только повреждения, вызванные ультрафиолетовыми лучами, но и много других структурных повреждений ДНК, связанных с разрывом полинуклеотидных цепей, удалением некомплементарных нуклеотидов.

Если в молекуле ДНК одновременно повреждаются на одном и том же участке две цепи, то репарация невозможна и могут возникнуть мутации.

Возможность исправления структурных повреждений, возникающих под действием мутагенов, зависит от генотипа организма, от условий среды,  $t^0$ , света и т.д.

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

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

Радиоактивность – это самопроизвольное превращение (распад) атомных ядер некоторых химических элементов, приводящее к изменению их атомного номера и массового числа. Распад радиоактивных ядер сопровождается ионизирующим излучением, в результате радиоактивного распада могут испускаться-

ся  $\gamma$ -кванты, электроны, позитроны,  $\alpha$ -частицы. Радиоактивный распад не может быть остановлен или ускорен каким-либо способом.

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

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

Радиобиологические эффекты, которые возникают при воздействии ионизирующих излучений на живые организмы, обусловлены поглощенной энергией излучения, т.е. количеством энергии, поглощенной 1 см<sup>3</sup> ткани. Поглощенную энергию измеряют, определяя ионизацию в воздухе, а затем пересчитывают на ткань. В качестве дозы ионизирующего излучения служат специальные единицы – рентгены.

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

Для учета биологической эффективности различных излучений введено понятие эквивалентная доза. Эквивалентная доза характеризует биологический эффект облучения организма ионизирующим излучением. Единица измерения эквивалентной дозы имеет специальное название – зиверт (Зв, Sv).

Используется также внесистемная единица эквивалентной дозы – бэр (аббревиатура от «биологический эквивалент рентгена»). 1 бэр = 0,01 Зв, 1бэр =  $1 \cdot 10^{-2}$  Дж/кг.

Важной дозиметрической величиной является мощность дозы. Скорость накопления эквивалентной дозы называется мощностью эквивалентной дозы и измеряется в Зв/с (а также в Зв/час, Зв/год и т. д.). Например, среднемировая мощность эффективной дозы, накапливаемая при облучении от естественных источников на душу населения, равна 2,4 мЗв/год.

В качестве единиц мощности дозы используют Р/с, бэр/с, Зв/с. Производные указанных единиц мощности дозы: миллибэр в час (мбэр/ч), микробэр в час (мкбэр/ч), рентген в час (Р/ч), миллирентген в час (мР/ч), микрорентген в час (мкР/ч).

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

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

**Задание 1.** Записать основные классы химических мутагенов и привести примеры.

**Задание 2.** Решение задач по генной инженерии по индивидуальным заданиям.

1. Определить последовательность аминокислот в полипептиде, который кодируется участком молекулы ДНК (геном) следующего нуклеотидного состава (таблица 9):

ДНК  
м-РНК  
полипептид

2. Как изменится последовательность аминокислот в полипептиде:

а) при замене нуклеотида в одном из триплетов гена:

ДНК  
м-РНК  
полипептид

б) при вставке нуклеотида:

ДНК  
м-РНК  
полипептид

в) при утере нуклеотида:

ДНК  
м-РНК  
полипептид

**Задание 3.** Решить задачу на восстановление поврежденного участка ДНК с использованием генетического кода (таблица 9) по индивидуальным заданиям.

## **Тема 9. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ**

**Цель занятия:** ознакомиться с процессом реализации наследственной информации, происходящим при индивидуальном развитии организма.

**Контрольные вопросы:**

1. Понятие об онтогенезе.
2. Влияние генов на развитие признаков.
3. Дифференциальная активность генов на разных этапах онтогенеза.
4. Роль генетической информации на начальных стадиях онтогенеза.
5. Регуляция генной активности у прокариот.
6. Регуляция генной активности у эукариот.
7. Влияние среды на развитие признаков.

## Теоретическая часть

**Онтогенез** – это процесс индивидуального развития особи от акта оплодотворения до смерти.

**Филогенез** – это история развития вида.

В процессе онтогенеза реализуется наследственная информация, которая присуща генотипу данной особи. Филогенез реализуется в онтогенезе через наследственность, составляет основу онтогенеза и направляет онтогенез по пути, пройденному предками.

Онтогенез животных включает два основных взаимосвязанных процесса – рост и развитие.

**Дифференцировка клеток** – это процесс, при котором во время дробления зиготы клетки постепенно начинают отличаться друг от друга, что приводит к формированию зародыша со специализированными тканями.

Каждая соматическая клетка содержит полный набор генетической информации и обладает **тотипотентностью**, т. е. способна дать начало новому организму. Тотипотентность соматических клеток свойственна растениям. Из одиночных клеток можно в пробирке получить целое растение. У животных тотипотентность сохраняется только на ранних стадиях онтогенеза.

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

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

### Особенности регуляции активности генов у эукариот

Механизмы регуляции генной активности у эукариот значительно сложнее и менее изучены. Это связано со сложной дифференцировкой клеток разных органов и тканей. У эукариот опероны состоят из структурных генов и регуляторов, которые управляют их активностью. Также возможно групповое подавление активности генов белками – **гистонами**, входящими в состав хромосом. У самок млекопитающих инактивируется одна х-хромосома, кроме того, важную роль в регуляции играют гормоны, которые являются индукторами или супрессорами синтеза и-РНК. Имеются и другие механизмы регуляции.

**Критические периоды в развитии.** Критическими называют периоды в развитии эмбриона, когда эмбрион наиболее уязвим к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды. В это время усиливается синтез одних веществ, прекращается синтез других, происходит перестройка обмена веществ. Критические периоды, как правило, наступают после поздней бластулы, когда дальнейшее развитие осуществляется под контролем генетической информации обоих родителей.

У птиц:

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

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

У лошадей: 4-5, 8-11 недели.

Критические периоды обнаружены у хомяков, морских свинок, кроликов и других животных.

**Задание 1.** Зарисовать схему регуляции синтеза и-РНК и белка по принципу «индукции» и «репрессии».

**Задание 2.** Заполнить таблицу номер 10.

**Таблица 10 – Критические периоды у разных видов животных**

Вид животного	Критический период	Процесс

## **Тема 10. ГРУППЫ КРОВИ И НАСЛЕДСТВЕННЫЙ ПОЛИМОРФИЗМ БЕЛКОВ**

**Цель занятия:** изучить основные понятия иммуногенетики. Ознакомиться с оборудованием и принципами определения групп крови и полиморфизма белков. Научиться решать задачи и проводить генетическую экспертизу происхождения животных.

**Контрольные вопросы:**

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

### **Теоретическая часть**

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

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

В 1900 году К. Ландштейнер открыл у человека три группы крови по системе **ABO** на основе изучения специфических реакций эритроцитов, происходящих при переливании крови. В 1907 году Я. Янский открыл четвертую группу крови (таблица 11).

**Таблица 11 – Группы крови у человека по системе АВО**

Группы крови	Антигены	Генотипы	Антитела	В какую группу можно переливать
I	0	00 (только гомозиготна и рецессивна)	$\alpha, \beta$	I, II, III, IV универсальный донор
II	A	AA, AO	$\beta$	II, IV
III	B	BB, BO	$\alpha$	III, IV
IV	AB	AB	-	IV универсальный реципиент

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

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

**Феногруппы** – это сочетание антигенов, которые наследуются вместе.

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

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

Наиболее сложной является у крупного рогатого скота система **B**, которая включает более 40 антигенов, образующих более 500 аллелей. У свиней наиболее сложными считаются системы **E, L, M**, у овец – **B, A, C**.

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

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

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

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

Методика решения задач по наследованию групп крови


**Задача.** Родители гетерозиготны по III группе крови. Определить вероятность рождения ребенка с такой же группой крови.

**Решение:**

Признак	Ген	Генотип
I группа крови (0)	$I^0$	$I^0 I^0$
II группа крови (A)	$I^A$	$I^A I^A, I^A I^0$
III группа крови (B)	$I^B$	$I^B I^B, I^B I^0$
IV группа крови (AB)	$I^A, I^B$	$I^A I^B$

Так как родители гетерозиготны, то у каждого из них образуется по 2 сорта гамет:

Фенотип родителей: III                      III  
 Генотип родителей: ♀  $I^B I^0$  × ♂  $I^B I^0$

Гаметы: 

Фенотип F:                      III    III    III    I  
 Генотип F:                       $I^B I^B$     $I^B I^0$     $I^B I^0$     $I^0 I^0$

У гетерозиготных родителей в потомстве будет наблюдаться расщепление. Следовательно, вероятность рождения ребенка с III группой крови составляет 75%.

**Задача.** Какие группы крови может иметь ребенок, если у отца четвертая группа, резус-положительная, а у матери – первая, резус-отрицательная?

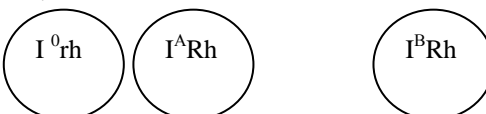
**Решение:**

Признак	Ген	Генотип
I группа крови (0)	$I^0$	$I^0 I^0$
II группа крови (A)	$I^A$	$I^A I^A, I^A I^0$
III группа крови (B)	$I^B$	$I^B I^B, I^B I^0$
IV группа крови (AB)	$I^A, I^B$	$I^A I^B$
Резус-положительность	Rh	RhRh, Rhrh
Резус-отрицательность	rh	rh rh

Генотип отца –  $I^A I^B RhRh$  или  $I^A I^B Rhrh$ , генотип матери –  $I^0 I^0 rh rh$ .

Определяем генотипы детей при различных сочетаниях вступивших в брак родителей:

1. Генотип родителей: ♀  $I^0 I^0 rh rh$  × ♂  $I^A I^B RhRh$

Гаметы: 

Генотип F<sub>1</sub>:                       $I^A I^0 Rhrh, I^B I^0 Rhrh$   
 Фенотип F<sub>1</sub>:                      ARh,                      BRh

2. Генотип родителей: ♀  $I^0I^0 rhrh$  × ♂  $I^A I^B Rhrh$

Гаметы:

$I^0rh$	$I^ARh$	$I^BRh$
	$I^Arh$	$I^Brh$

Генотип  $F_1$ :  $I^B I^0 Rhrh$ ,  $I^A I^0 Rhrh$ ,  $I^A I^0 rhrh$ ,  $I^B I^0 rhrh$   
 Фенотип  $F_1$ : BRh, ARh, Arh, Brh

Таким образом, дети могут иметь группы крови А и В, резус-фактор как положительный, так и отрицательный.

*Методика определения достоверности происхождения*

Задача. Уточнить отцовство по группам крови (таблица 12).

**Таблица 12 – Генетический контроль происхождения потомства крупного рогатого скота**

Животное	Система групп крови							
	А	В	С	F-V	J	L	M	S
Бык №1	A <sub>1</sub> DH	B/I <sub>2</sub> A'E <sub>3</sub> G	C <sub>1</sub> EX <sub>1</sub>	F/F	-	-	-	H -
Бык №2	A <sub>1</sub> HDH	A <sub>1</sub> B'/BO <sub>1</sub>	W/RWX <sub>2</sub>	F/V	-	-	M -	-
Мать	A <sub>2</sub> D	B/BO <sub>2</sub> A	EWL/R <sub>2</sub>	F/V	-	-	-	-
Теленок	DH/D	A'B'/BO <sub>2</sub> A	W/R <sub>2</sub>	V/V	-	-	-	-

*Решение:* По системе А невозможно уточнить отцовство, так как аллель DH есть у обоих быков.

В системе В теленок получил один аллель BO<sub>2</sub>A от матери (такого аллеля нет у предполагаемых отцов), а второй АВ – от быка №2 (этого аллеля нет у первого производителя).

Поэтому можно сделать заключение, что отцом теленка является бык №2. Это заключение подтверждается и наличием у потомка аллеля W в системе С. Также и по системе F-V можно сделать заключение, что бык №1 не может быть отцом теленка, так как он гомозиготен по аллелю F/F, а потомок гомозиготен по противоположному аллелю в этой системе V/V.

*Выводы:* Отец теленка – бык № 2.

**Задание 1.** Решить задачу по наследованию групп крови (сборник задач).

**Задание 2.** Знакомство с оборудованием для определения групп крови и полиморфизма белков.

**Задание 3.** Зарисовать фореграммы полиморфных белков: трансферрина, церулоплазмина и амилазы.

**Задание 4.** Заполнить таблицу 13 по индивидуальному заданию. Проанализировать и сделать соответствующие выводы о достоверности записи о происхождении животных.

Генетический контроль происхождения потомства крупного рогатого скота. Если у теленка имеется антиген по определенной системе групп крови, который отсутствует у обоих родителей, то он не является их потомком (-).

**Таблица 13 – Генетический контроль происхождения потомства крупного рогатого скота**

Кличка, №	Системы групп крови				Белки крови			Достоверность происхождения
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>S</i>	<i>Sp</i>	<i>Am</i>	<i>Tf</i>	
Отец								
Мать 1								
Потомок 1								
Мать 2								
Потомок 2								

## Тема 11. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОПУЛЯЦИЯХ

**Цель занятия:** приобрести навыки по анализу генетической структуры популяции, научиться определять частоты аллелей, генотипов и фенотипов в популяции, научиться решать задачи по определению структуры популяции при свободном спаривании, стабилизирующем скрещивании, на определение степени инбридинга и проявление гетерозиса.

### Контрольные вопросы:

1. Понятие о виде, популяции и чистой линии. Эффективность отбора в популяции и чистой линии.
2. Генетическая структура свободно размножающейся популяции. Закон Харди-Вайнберга.
3. Закон стабилизирующего скрещивания Пирсона.
4. Основные свойства популяции. Основные факторы генетической эволюции в популяциях.
5. Понятие об инбридинге. Методы оценки инбридинга.
6. Возникновение гетерозиса при промышленном скрещивании как результат высокой гетерозиготности.
7. Гипотезы, объясняющие эффект гетерозиса и инбредной депрессии.

### Теоретическая часть

**Вид** – это основная систематическая единица, реально существующая в природе, занимающая определенный ареал и представляющая совокупность родственных по происхождению особей, качественно отличающихся от других видов и не скрещивающихся с ними.

**Популяция** – это совокупность особей одного вида, заселяющих определенную территорию, свободно скрещивающихся между собой и отделенная от других совокупностей особей данного вида одной из форм изоляции. Популяция является главным структурным элементом вида, форма его существования в данных условиях. Каждая популяция характеризуется определенным генофондом, т. е. совокупностью аллелей, входящих в ее состав.

**Чистая линия** – это потомство, полученное только от одного родителя и имеющее полное сходство с ним по генотипу.

Для изучения популяций используются следующие методы: генетический анализ, цитогенетический анализ кариотип, эколого-физиологический метод, математический метод.

**Панмиктической**, или свободно размножающейся популяцией, называется теоретическая популяция, в которой происходит свободное скрещивание особей.

В 1908 году английский математик Г. Харди и немецкий врач В. Вайнберг независимо друг от друга провели математический анализ распределения аллелей в свободно размножающейся популяции. Было установлено, что такая популяция находится в состоянии равновесия, т.е. из поколения в поколение не изменяется и в ней сохраняется определенное соотношение генотипов, выражаемое формулой 3:

$$p^2AA + 2pqAa + q^2aa = 1, \quad (3)$$

где  $p^2$  – частота гомозигот (AA);  
 $q^2$  – частота гомозигот (aa);  
 $2pq$  – частота гетерозигот (Aa).

Так как каждая гамета самца или самки несет ген «А» или ген «а», то (формула 4):

$$pA + qa = 1, \quad (4)$$

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

Используя проведенную выше формулу, можно вычислить частоты аллелей и генотипов в тех случаях, когда доминантные гомозиготы (AA) фенотипически неотличимы от гетерозигот (Aa). С этой целью определяют процент гомозиготных по рецессивному признаку особей –  $q^2$ , например их оказалось 16%, после приведения к единице – 0,16. Если  $q^2 = 0,16$ , то можно определить  $q$  – частоту рецессивного гена –  $a$ ,  $qa = \sqrt{0,16} = 0,4$ . Отсюда  $pA = 1 - 0,4 = 0,6$ .

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

$$0,6^2AA + 2 \times 0,6 \times 0,4Aa + 0,4^2aa = 1;$$

$$0,36AA + 0,48Aa + 0,16aa = 1;$$

$$\text{В процентах: } 36\%AA + 48\%Aa + 16\%aa = 100.$$

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

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

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

Частоты аллелей остались прежними ( $p = 0,6$ ;  $q = 0,4$ ), и соотношение генотипов следующего поколения останется неизменным.

## Закон стабилизирующего скрещивания Пирсона

После расчета частоты аллелей и структуры популяции по закону Харди-Вайнберга, рассмотрим, что произойдет с этой популяцией при отборе:

$$0,36AA + 0,48Aa + 0,1aa = 1 \quad (5)$$

Бракуем особей с рецессивным признаком (0,16). Концентрация (частота) генов изменится:

$$p = 0,36 + 0,24 = 0,6; \quad q = 0,24; \quad p + q = 0,6 + 0,24 = 0,84.$$

Приводим концентрацию генов к единице:

$$0,6 \div 0,84 = 0,714; \quad 0,24 \div 0,84 = 0,286.$$

Получаем следующую структуру популяции:

$$0,51AA + 0,408Aa + 0,081aa = 1.$$

Частота доминантного аллеля в ней будет 0,714, рецессивного – 0,286, то есть структура популяции восстановится, если дальше не будем проводить отбора.

Скрещивание, восстанавливающее структуру популяции в соответствии с формулой Харди-Вайнберга, называется стабилизирующим.

Данная закономерность зафиксирована в **законе Пирсона**: при переходе популяции в состояние панмиксии, генетическая структура стабилизируется при новых частотах аллелей и генотипов.

### Основные свойства популяции:

1. Генетическая структура – это концентрация каждого гена (или его аллелей) в популяции, характер генотипов и частота их распространения.
2. Генофонд – это совокупность всех генов в популяции.
3. Пластичность – это способность популяции реагировать изменением генофонда и генетической структуры на изменение условий среды.

Пластичность определяется 3 особенностями:

- генетическая адаптация – это процессы, изменяющие генетическую структуру (мутации в гетерозиготном состоянии) для приспособления к новым условиям среды;
- генетический гомеостаз – это процессы, обеспечивающие способность популяции сохранять свою генетическую структуру;
- сбалансированный полиморфизм – это явление, при котором приспособленность гетерозигот выше, чем гомозигот, а оба аллеля сохраняются в популяции с промежуточной частотой.

Популяция характеризуется наличием генетического груза. Генетический груз – это совокупность летальных генов, находящихся в популяции в гетерозиготном состоянии. Генетический груз может быть мутационным (в результате мутаций) и сегрегационным (при скрещивании разных генотипов).

### Факторы, изменяющие структуру популяции

1. Мутации – появление новых аллелей и генотипов, изменяющих проявление признака.

2. Отбор – это полное или частичное устранение определенной группы особей от размножения. Естественный и искусственный отбор. При искусственном отборе определяющее значение имеют признаки продуктивности:

- отбор в пользу гетерозигот. Гетерозиготный генотип **Aa** отличается повышенной приспособленностью особей и называется сверхдоминированием, он характеризуется гетерозисом. При отборе в пользу таких гетерозигот происходит формирование устойчивого полиморфного равновесия;

- отбор против гетерозигот. Снижение жизнеспособности может вызываться хромосомными мутациями. Устранение из популяции гетерозиготных животных с различными хромосомными аномалиями может способствовать снижению частоты их возникновения.

3. Миграции. Включение в популяцию генотипов из другой популяции путем скрещивания.

4. Дрейф генов (генетико-автоматические процессы) – это влияние случайных факторов на частоты аллелей и генотипов. Дрейф генов наблюдается в малочисленных популяциях до 500 особей. В небольших скрещивающихся между собой популяциях гетерозиготные генотипы могут стать гомозиготными вследствие случайности. Это может привести к накоплению неблагоприятных признаков.

5. Инбридинг – спаривание животных, находящихся в родственных отношениях. Инбридинг способствует повышению гомозиготности. Потомство, которое получено в результате инбридинга, называется инбредным. Спаривание неродственных животных называется аутбридингом.

**Инбридинг** применяют для перевода в гомозиготное состояние ценных генов выдающихся животных и закрепления желательных признаков.

В зависимости от ряда предков, где встречаются одинаковые клички животных, по классификации Пуша, различают следующие степени инбридинга:

**кровосмешение** – 25%,

I – II, II – I, II – II, I – III, III – I;

**близкий** – 12,5 – 25%,

III – II, II – III, III – III, I - IV, IV – I;

**умеренный** – 1,55 – 12,5%,

I – V, II - IV, II – V, III - IV, III - V, IV - IV, IV – V;

**отдаленный** – 0,2 – 1,55%,

V- V.

Если общий предок встречается дальше 5-го поколения, то животные считаются неродственными.

Инбридинг может быть простой (на одного предка) и сложный (комплексный – на несколько предков).

**Инбредная депрессия** – это комплекс отрицательных последствий инбридинга. Она может проявляться в форме снижения продуктивности, плодовитости, появления различных уродств.

**Оценка инбридинга** проводится по А. Шапоружу-Пушу и С. Райту-Д.А. Кисловскому.

По А. Шапоружу-Пушу учитываются ряды родословной, в которых встречается общий предок, начиная с первого ряда.

По С. Райту-Д.А. Кисловскому степень инбридинга можно определить, используя специальную формулу 4:

$$F_x = \sum \left[ \left( \frac{1}{2} \right)^{n+n_1-1} \times (1 + f_a) \right] \quad (6)$$

где  $F_x$  – коэффициент возрастания гомозиготности;

$\frac{1}{2}$  – доля наследственности, полученная от каждого из родителей;

$n$  – ряд в родословной, в котором встречается общий предок со стороны матери;

$n_1$  – ряд родословной, в котором встречается общий предок со стороны отца;

$f_a$  – коэффициент возрастания гомозиготности, если сам общий предок инбредирован (формула 5) .

$$f_a = \sum \left( \frac{1}{2} \right)^{n+n_1-1} . \quad (7)$$

Если общий предок не инбреден, то  $f_a=0$ . И расчет будет производиться по формуле 6:

$$F_x = \sum \left( \frac{1}{2} \right)^{n+n_1-1} . \quad (8)$$

### **Влияние на изменение структуры популяции различного вида скрещиваний**

**Скрещивание** – это система спаривания животных разных пород.

Скрещивание приводит к гетерозиготности и способствует образованию гетерозиготных генотипов и включению в популяцию новых аллелей и генотипов. При этом происходит изменение частот аллелей, меняется структура генотипов и их соотношение, утрачивается генное равновесие, повышается комбинативная изменчивость.

**Поглотительное скрещивание:** используется для преобразования местной низкопродуктивной породы в высокопродуктивную заводскую породу. Происходит увеличение долей крови улучшающей породы.

**Воспроизводительное скрещивание:** заводское скрещивание. Скрещивают животных двух и более пород для получения новой породы.

**Промышленное скрещивание (простое и сложное):** спаривание нескольких пород между собой для получения помесей 1-го поколения как пользовательных животных, не оставляя для дальнейшего разведения.

**Гетерозис** – это повышенная жизнеспособность и плодовитость у гибридов первого поколения при неродственном спаривании.

Гетерозис выражается в улучшении хозяйственных признаков, при этом повышается жизнеспособность, скороспелость, плодовитость, продуктивность, снижаются затраты корма на единицу продукции. Биохимический эффект гетерозиса проявляется в повышенной активности ферментов, в присутствии у

помесей полиморфных типов белков, которые различаются некоторыми свойствами. При оплодотворении происходит взаимное стимулирование геномов и обмен электрическими зарядами гомологичных хромосом, повышается скорость митотического деления и больше накапливается кислых белков и-РНК.

**Гипотезы, объясняющие эффект гетерозиса:**

- 1) плейотропное действие генов;
- 2) возрастание общей активности ферментов, более высокий уровень биосинтеза клеточных белков;
- 3) сверхдоминирование;
- 4) взаимодействие между ядром и цитоплазмой;
- 5) большое количество доминантных генов;
- 6) теория генетического баланса;
- 7) аддитивное действие генов;
- 8) экологический гетерозис.

*Методика решения задачи на определение частоты аллелей  
и структуры популяции*

**Задача.** В популяции лисиц на 1000 особей встречаются 10 белых, остальные рыжие. Определить частоту аллелей и процентное соотношение рыжих гомозиготных, рыжих гетерозиготных и белых лисиц в данной популяции.

**Решение:** По уравнению Харди-Вайнберга частоты генотипов равны:  
 $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ . Частота белых гомозиготных по рецессивному аллелю особей составит  $q^2 = 10 \div 1000 = 1 \div 100 = 0,01 = 1\%$ . Отсюда частота рецессивного аллеля  $q$  будет равна  $\sqrt{0,01} = 0,1$ . Поскольку,  $p + q = 1$ , то частота доминантного аллеля будет равна  $p = 1 - q = 1 - 0,1 = 0,9$ . Это значит, что частота рыжих доминантных гомозиготных лисиц составит  $0,9^2$ , или  $0,81$ , а частота рыжих гетерозиготных особей будет равна  $2pq$ , или  $2 \times 0,9 \times 0,1 = 0,18$ .

**Выводы** Таким образом, рыжих гомозиготных лисиц в популяции 81%, рыжих гетерозиготных – 18%, белых лисиц – 1%.

**Задание 1.** Рассчитать структуру свободно размножающейся популяции при условии полного доминирования признака (сборник задач).

**Задание 2.** Решить задачу на стабилизирующее скрещивание (сборник задач).

**Задание 3.** Установить, находится ли генетическая структура популяции в состоянии равновесия (сборник задач).

## **Тема 12. ГЕНЕТИКА АНОМАЛИЙ И БОЛЕЗНЕЙ, ПОВЫШЕНИЕ НАСЛЕДСТВЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЖИВОТНЫХ К БОЛЕЗНЯМ**

**Цель занятия:** изучить классификацию аномалий и типы наследования, научиться решать задачи и приобрести навыки по анализу типов наследования аномалий. Ознакомиться с методами изучения и повышения наследственной резистентности.

### **Контрольные вопросы:**

1. Понятие об аномалиях. Классификация аномалий.
2. Типы наследования аномалий. Примеры распространения аномалий в популяциях животных разных видов.
3. Учет и регистрация врожденных аномалий.
4. Понятие о наследственной устойчивости животных к заболеваниям.
5. Селекция на повышение устойчивости сельскохозяйственных животных к болезням.
6. Методы повышения наследственной устойчивости животных к болезням.
7. Отклонения от ожидаемого расщепления признаков у потомства, связанные с доминантными и рецессивными летальными генами, локализованными в аутосомах и сцепленными с полом.

### **Теоретическая часть**

**Тератология** – это наука, которая изучает уродства.

**Аномалии** – это дефекты, которые отрицательно влияют на жизнеспособность, хозяйственно полезные признаки и воспроизводительные способности животных.

#### **Классификация аномалий**

1. Генетические (наследственные) – это аномалии, которые обусловлены летальными и сублетальными генами, вызывающими морфофункциональные нарушения в организме животных. Генетические аномалии также возникают в результате генных и хромосомных мутаций. Генетические аномалии контролируются одной парой аллельных генов и наследуются по законам Менделя как доминантные и рецессивные качественные признаки. Фенотипически сходные аномалии могут вызываться разными генами.

В Международный список летальных дефектов у сельскохозяйственных животных включено: у лошадей – 10, у крупного рогатого скота – 46, у свиней – 18, у овец – 90, у кур – 45.

2. Наследственно-средовые – это аномалии, которые возникают при взаимодействии генотипа и внешней среды.

Фенотипическое проявление таких аномалий зависит от количества мутантных генов. Существует понятие порога действия таких генов. Если число генов или сила их действия превышает порог, то аномалия проявляется. Сила кумулятивного действия генов зависит от условий внешней среды, если условия среды ухудшаются, то у животного может проявиться аномалия.

Такие аномалии наследуются полигенно и зависят от геномодификаторов.

3. Экзогенные (средовые) – это аномалии, обусловленные действием неблагоприятных факторов внешней среды.

Повреждающие факторы внешней среды называются **тератогены**. Тератогены могут быть физические, химические и биологические.

Экзогенные аномалии протекают на фоне модификационной (ненаследственной) изменчивости, но реакция разных особей на изменение условий будет разной, это зависит от генотипа конкретного организма.

У животных имеется ряд уродств, которые похожи на наследственные, но они вызваны только действием внешней среды, такие уродства называются **фенокопии**.

Фенотипически сходные аномалии могут вызываться разными генами.

**Типы наследования аномалий** – аутосомно-рецессивный, аутосомно-доминантный и сцепленный с полом (сцепленный с X-хромосомой и с Y-хромосомой) - таблица 14.

**Таблица 14 – Аномалии у сельскохозяйственных животных**

Вид животного	Аномалии		
	аутосомно-доминантные	аутосомно-рецессивные	сцепленные с полом
Крупный рогатый скот	Ахондроплазия, пупочная грыжа, двусторонняя непроходимость носа.	Бесшерстность, отсутствие конечностей, атрезия ануса, мозговая грыжа, укорочение челюсти, анкилоз суставов, водянка, гидроцефалия и др.	Отсутствие зубов и шерсти у бычков, недоразвитие передней доли гипофиза, гемофилия, болезнь белых телок.
Свиньи	Порфирия, желтуха новорожденных, волчья пасть, гипотрихоз.	Мозговая грыжа, атрезия ануса, паралич конечностей, водянка мозга, выпадение прямой кишки, кратерность сосков, сережки, аплазия языка.	Гемофилия, отсутствие конечностей.
Овцы	Серая окраска у каракульских овец, глухота, недоразвитие и отсутствие ушей.	Мышечная контрактура, паралич конечностей, деформация скелета, грыжа, карликовость, атрезия ануса, непроходимость пищевода, недоразвитие ушной раковины и волчья пасть, агнатия.	-
Лошади	Стерильность.	Атрезия ободочной кишки, дефекты эпителия, кривошея мозжечковая атаксия, пупочная грыжа.	Фактор летальности самцов.
Птицы	Коротконогость, недоразвитие яйцевода, ахондроплазия (ползающие куры).	Врожденная трясушка, уродства скелета, микрофтальмия, аномалии клюва, карликовость.	Отсутствие оперения, недоразвитие яйцевода.

#### **Генетический анализ врожденных аномалий:**

- 1) определить происхождение аномальных потомков по племенным записям;
- 2) определить достоверность происхождения по группам крови и полиморфным белкам;
- 3) составить родословные на аномальных особей и определить тип спаривания родителей (инбридинг или аутбридинг), установить возможное родство между родителями;

- 4) определить тип наследования аномалий (моногенный, полигенный, аутосомный, сцепленный с полом, доминантный или рецессивный);
- 5) изучить кариотип у аномальных потомков и их родителей для обнаружения генных или хромосомных мутаций;
- 6) сделать анализ генотипов по группам крови, ферментам и белкам для поиска маркерных генов;
- 7) изучить уровень ферментов у аномальных и нормальных особей для обнаружения фенотипического проявления мутантного гена.

**Резистентность** – это устойчивость организма к болезням.

**Восприимчивость** – это предрасположенность организма к возникновению болезни.

### **Методы изучения наследственной резистентности и восприимчивости к заболеваниям**

1. Близнецовый анализ.
2. Выявление породных, межлинейных и межсемейных различий.
3. Селекционный эксперимент.
4. Клинико-генеалогический анализ.
5. Анализ связи заболеваний с маркерными генами.
6. Популяционно-статистический анализ.

Важное значение имеет **селекция животных на резистентность**. Основу селекции на резистентность составляет выявление генетической природы некоторых заболеваний. Она зависит от интервала между поколениями, отбора, условий внешней среды, от быстрой изменчивости патогенов и возникновения новых резистентных штаммов, от родственного спаривания (инбридинг снижает резистентность), от наличия в некоторых случаях отрицательной корреляции между резистентностью и признаками продуктивности.

### **Методы повышения наследственной устойчивости**

1. Диагностика болезней. Учет и регистрация заболеваний в племенных карточках.
2. Массовая селекция и выбраковка больных животных.
3. Выявлять показатели отбора, использовать генетические и биохимические маркеры устойчивости, которые позволяют вести селекцию без заражения животных.
4. Генеалогический анализ стада. Выявление семейств, устойчивых или восприимчивых к заболеваниям.
5. Планомерный подбор пар с учетом резистентности. Устранять из подбора восприимчивых животных.
6. Отбор молодняка на племя от матерей, резистентных к болезням.
7. Оценка по комплексу признаков производителей и маток по устойчивости к болезням.

8. Использовать трансплантацию эмбрионов как метод повышения эффективности селекции на устойчивость к болезням.

9. Проводить селекцию по поведению. Существует высокая корреляция между типом нервной деятельности и способностью животных к адаптации.

10. Использовать методы биотехнологии. Проводить межвидовое скрещивание.

**Задание.** Решить задачу на установление типа наследования аномалий (сборник задач).

### **Тема 13. ГЕНЕТИКА ПОВЕДЕНИЯ ЖИВОТНЫХ**

**Цель занятия:** ознакомиться с наследственной обусловленностью поведения животных, изучить типы высшей нервной деятельности

#### **Контрольные вопросы:**

1. Понятие о генетике поведения. Предмет изучения и основные задачи.

2. Генетические и биохимические основы высшей нервной деятельности и поведения.

3. Типы нервной деятельности и их значение в селекции на стрессоустойчивость и адаптацию к условиям среды.

4. Влияние различных факторов на поведение и адаптацию животных.

#### **Теоретическая часть**

**Генетика поведения** – это раздел общей генетики, который изучает наследственную обусловленность поведения животных.

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

Предметом изучения генетики поведения являются различные поведенческие реакции отдельных особей и групп животных во взаимосвязи с факторами внешней среды.

Изучение поведения животных основано на наблюдении за поведением в природных условиях, на проведении эксперимента, на методах этиологии, психологии, биохимии.

Согласно учению И.П. Павлова, существует 4 типа высшей нервной деятельности: сильный, слабый, уравновешенный и неуравновешенный.

Типы ВНД определяются генами, это заложено в наследственности нервных клеток – нейронов центральной и периферической нервной системы, которые регулируют процессы возбуждения и торможения.

Гены отвечают за тип поведения, животные различных генотипов отличаются по поведению.

В основе поведения лежат нейрохимические и нейрофизиологические изменения, которые влияют на функциональные структуры ЦНС.

У молочного скота выделено 4 типа ВНД:

1) сильный уравновешенный подвижный – имеет одинаково сильные процессы возбуждения и торможения с хорошей их подвижностью, что обеспечивает высокие адаптивные возможности и устойчивость в условиях трудных жизненных ситуаций;

2) сильный уравновешенный инертный – с сильными процессами возбуждения и торможения и с плохой их подвижностью, всегда испытывающий затруднения при переключении с одного вида деятельности на другой;

3) сильный неуравновешенный – характеризуется сильным раздражительным процессом и отстающим по силе тормозным, поэтому представитель такого типа в трудных ситуациях легко подвержен нарушениям ВНД. Способен тренировать и в значительной степени улучшать недостаточное торможение;

4) слабый – характеризуется слабостью обоих нервных процессов — возбуждения и торможения, плохо приспосабливается к условиям окружающей среды, подвержен невротическим расстройствам.

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

### **Факторы, влияющие на поведение животных**

На поведение животных оказывают влияние внутренние и внешние факторы.

#### **Внутренние факторы:**

**Генетическая предрасположенность** – врожденные формы поведения, передающиеся по наследству.

**Физиологическое состояние** – уровень гормонов, голод, жажда, сексуальная активность.

**Возраст** – молодые животные более любознательны, взрослые — осторожны и опытны.

#### **Внешние факторы:**

**Климатические условия** – температура, влажность, сезонные изменения.

**Наличие пищи** – определяет стратегии добычи и миграционные маршруты.

**Опасность и хищники** – влияют на поведенческие механизмы самозащиты.

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

**Задание.** Изучить типы высшей нервной деятельности у животных и привести примеры их хозяйственного использования.

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Генетика : учебно-методическое пособие для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования I степени по специальностям «Зоотехния», «Промышленное рыбоводство» / Д. С. Долина С. Е. Базылев, Э. И. Бариева, Н. Г. Минина. – Горки : БГСХА, 2022. – 212 с.

2. Генетика. Сборник задач : учебное пособие для студентов обучающихся по специальности «Зоотехния», «Промышленное рыбоводство» и «Ветеринарная медицина» / Д. С. Долина, В. Ф. Соболева, Т. В. Видасова, Д. Т. Соболев ; Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск : ВГАВМ, 2021. – 164 с.

### Дополнительная

1. Бакай, А. В. Генетика : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Зоотехния» / А. В. Бакай, И. И. Кочиш, Г. Г. Скрипниченко. – Москва : КолосС, 2007. – 448 с.

2. Генетика : электронный учебно-методический комплекс. – URL: <http://sdo.vsavm.by/moodle/course/view.php?id=135> (дата обращения: 08.10.2024). – Режим доступа для зарегистрированных пользователей.

3. Иванова, О. А. Генетика : учебник для зоотехнических и ветеринарных факультетов сельскохозяйственных вузов / О. А. Иванова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1974. – 431 с.

4. Картель, Н. А. Генетика : энциклопедический словарь / Н. А. Картель, Е. Н. Макеева, А. М. Мезенко ; Национальная академия наук Беларуси, Институт генетики и цитологии. – Минск : Беларуская навука, 2011. – 992 с.

5. Петухов, В. Л. Генетика = Genetics : учебник / В. Л. Петухов, О. С. Короткевич, С. Ж. Стамбеков ; Семипалатинский государственный педагогический институт. - 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск : СемГПИ, 2007. – 628 с.

6. Шацкий, А. Д. Генетика с основами биометрии : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Зоотехния» / А. Д. Шацкий, М. А. Шацкий. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 304 с.

7. Электронно-библиотечная система Лань [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 08.10.2024). – Режим доступа для авторизованных пользователей.

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

Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины является старейшим учебным заведением в Республике Беларусь, ведущим подготовку врачей ветеринарной медицины, ветеринарно-санитарных врачей, провизоров ветеринарной медицины и зооинженеров.

Вуз представляет собой академический городок, расположенный в центре города на 17 гектарах земли, включающий в себя единый архитектурный комплекс учебных корпусов, клиник, научных лабораторий, библиотеки, студенческих общежитий, спортивного комплекса, Дома культуры, столовой и кафе. В составе академии 3 факультета: ветеринарной медицины; биотехнологический; повышения квалификации и переподготовки кадров агропромышленного комплекса. В ее структуру также входят Аграрный колледж УО ВГАВМ (п. Лужесно, Витебский район), филиалы в г. Речице Гомельской области и в г. Пинске Брестской области, первый в системе аграрного образования НИИ прикладной ветеринарной медицины и биотехнологии (НИИ ПВМ и Б).

В настоящее время в академии обучаются более 3 тысяч студентов, как из Республики Беларусь, так и из стран ближнего и дальнего зарубежья. Учебный процесс обеспечивают около 250 преподавателей. Среди них 137 кандидатов, 23 доктора наук и 17 профессоров.

Помимо того, академия ведет подготовку научно-педагогических кадров высшей квалификации (кандидатов и докторов наук), переподготовку и повышение квалификации руководящих кадров и специалистов агропромышленного комплекса, преподавателей средних специальных сельскохозяйственных учебных заведений.

Научные изыскания и разработки выполняются учеными академии на базе Научно-исследовательского института прикладной ветеринарной медицины и биотехнологии. В его состав входит 2 отдела: научно-исследовательских экспертиз (с лабораторией биотехнологии и лабораторией контроля качества кормов); научно-консультативный.

Располагая современной исследовательской базой, научно-исследовательский институт выполняет широкий спектр фундаментальных и прикладных исследований, осуществляет анализ всех видов биологического материала и ветеринарных препаратов, кормов и кормовых добавок, что позволяет с помощью самых современных методов выполнять государственные тематики и заказы, а также на более высоком качественном уровне оказывать услуги предприятиям агропромышленного комплекса. Активное выполнение научных исследований позволило получить сертификат об аккредитации академии Национальной академией наук Беларуси и Государственным комитетом по науке и технологиям Республики Беларусь в качестве научной организации. Для проведения данных исследований отдел научно-исследовательских экспертиз аккредитован в Национальной системе аккредитации в соответствии с требованиями стандарта СТБ ИСО/МЭК 17025.

Обладая большим интеллектуальным потенциалом, уникальной учебной и лабораторной базой, вуз готовит специалистов в соответствии с европейскими стандартами, является ведущим высшим учебным заведением в отрасли и имеет сертифицированную систему менеджмента качества, соответствующую требованиям ISO 9001 в национальной системе (СТБ ISO 9001 – 2015).

**[www.vsavm.by](http://www.vsavm.by)**

210026, Республика Беларусь, г. Витебск, ул. 1-я Доватора, 7/11, факс (0212) 48-17-65, тел. 33-16-29 (отдел международного сотрудничества, профориентационной работы и довузовской подготовки);

33-16-17 (НИИ ПВМ и Б); E-mail: [pk\\_vgavm@vsavm.by](mailto:pk_vgavm@vsavm.by)

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

Учебное издание

**Вишневец** Андрей Васильевич,  
**Соболева** Валентина Федоровна,  
**Видасова** Татьяна Викторовна,  
**Яцына** Ольга Алексеевна и др.

# ГЕНЕТИКА

Методические указания

Ответственный за выпуск А. В. Вишневец  
Технический редактор Е. А. Алисейко  
Компьютерный набор О. Л. Будревич  
Компьютерная верстка Т. А. Никитенко  
Корректор Т. А. Никитенко

Подписано в печать 12.08.2025. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 4,0. Уч.-изд. л. 3,03. Тираж 85 экз. Заказ 2579.

Издатель: учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета»  
государственная академия ветеринарной медицины».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/ 362 от 13.06.2014.  
Ул. 1-я Доватора, 7/11, 210026, г. Витебск.  
Тел.: (0212) 48-17-70.  
E-mail: rio@vsavm.by  
<http://www.vsavm.by>

ISBN 978-985-591-247-8



9 7 8 9 8 5 5 9 1 2 4 7 8