

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени А.А. ЕЖЕВСКОГО**

А.К. Гордеева, Д.С. Адушинов, Н.Б. Сверлова

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО ГЕНЕТИКЕ

Иркутск, 2019

УДК

Рецензенты:

В учебном пособии дается материал для практических занятий по цитологическим основам наследственности, закономерностям наследования признаков при половом размножении, хромосомной теории наследственности, молекулярным основам наследственности, наследованию пола, популяционной генетики, наследованию количественных признаков и другим вопросам генетики.

Предназначено для студентов вузов, аспирантов и ученых аграриев.

Печатается по решению методической комиссии факультета биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского» Протокол № 3 от 9 декабря 2019 г.

Сост. Гордеева А.К., Д.С. Адушинов, Н.Б. Сверлова 2019
ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

| ОГЛАВЛЕНИЕ | Стр. |
|--|------|
| Введение..... | 4 |
| 1. ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ | 5 |
| Занятие 1. Строение клетки | 6 |
| Занятие 2. Морфология и типы хромосом..... | 10 |
| Занятие 3. Кариотип некоторых видов сельскохозяйственных животных и птиц..... | 15 |
| Занятие 4. Митоз и мейоз..... | 19 |
| 2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ ПРИ ПОЛОВОМ РАЗМНОЖЕНИИ..... | 27 |
| Занятие 5. Моногибридное скрещивание..... | 27 |
| Занятие 6. Дигибридное скрещивание..... | 31 |
| Занятие 7. Наследование признаков при тригибридном скрещивании..... | 35 |
| Занятие 8. Наследование признаков при взаимодействии неаллельных генов. Новобразование..... | 37 |
| Занятие 9. Наследование признаков при криптомерном взаимодействии неаллельных генов. | 42 |
| Занятие 10. Наследование признаков при комплиментарном взаимодействии неаллельных генов..... | 45 |
| Занятие 11. Наследование признаков при взаимодействии неаллельных генов. Эпистаз..... | 48 |
| Занятие 12. Наследование признаков при полимерном взаимодействии неаллельных генов..... | 53 |
| Занятие 13. Наследование признаков при разных типах взаимодействия аллельных генов..... | 55 |
| Занятие 14. Наследование признаков при плейотропном взаимодействии аллельных генов..... | 64 |
| 3. ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ..... | 72 |
| Занятие 15. Сцепленное наследование признаков и кроссинговер..... | 72 |
| Занятие 16. Наследование признаков сцепленных с полом..... | 75 |
| 4. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ..... | 80 |
| Занятие 17. Строение и репликация нуклеиновых кислот..... | 80 |
| Занятие 18. Генный контроль синтез белка, фермента, гормона в клетке..... | 82 |
| 5. ГЕНЕТИКА ПОПУЛЯЦИЙ..... | 88 |
| Занятие 19. Основные понятия. Генетические процессы в популяции..... | 88 |
| Занятие 20. Определение частот фенотипов, генотипов и аллелей Определение генетической структуры и генного равновесия популяции животных..... | 90 |
| Занятие 21. Изменение генетической структуры популяции животных при инбридинге..... | 94 |
| 6. ИММУНОЛОГИЯ И ИММУНОГЕНЕТИКА..... | 97 |
| Занятие 22. Иммунология..... | 99 |
| Занятие 23. Иммуногенетика..... | 104 |
| Список литературы..... | 112 |

Введение

Генетика – наука о наследственности и изменчивости организма. Наследственность – свойство живых существ обеспечивать преемственность между поколениями и специфическое индивидуальное развитие. Изменчивость – возникновение различий между организмами.

Наследственность, изменчивость и отбор – основа эволюции. Генетика изучает, как генетическая информация хранится, передается (между клетками, между поколениями), реализуется при развитии организма, изменяется в процессе мутаций. Ветеринарная генетика занимается наследственными заболеваниями животных и проблемами селекции.

Методы генетики используются во всех областях деятельности человека, связанной с живыми организмами. Имеют важное значение для решения проблем медицины, сельского хозяйства, микробиологической промышленности. Прикладная генетика разрабатывает рекомендации для применения генетических знаний в селекции, генной инженерии и других разделах биотехнологии, в деле охраны природы.

Основная цель методических указаний состоит в том, чтобы дать студентам теоретические и практические знания по общей генетике, материальных основ наследственности и изменчивости, способствовать выработке самостоятельных навыков в проведении научного исследования, понимания и объяснения генетических процессов.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать природные, социально-хозяйственные, генетические и экономические факторы, влияющие на организм животных.

знать:

-основные этапы развития генетики, значение генетики для других дисциплин, базисные методы генетического, цитологического, популяционного анализа

уметь:

-использовать методы генетического, цитологического, популяционного анализов в практической деятельности

владеть:

- методами изучения изменчивости и наследственности.

Осуществлять профессиональную деятельность с учетом влияния на организм животных природных, социально-хозяйственных, генетических и экономических факторов

знать:

-основные понятия о наследственности и изменчивости, цитологические основы наследственности, закономерности наследования признаков, хромосомную теорию наследственности, генетику пола и его регуляцию, генетические основы иммунитета, методы повышения наследственной устойчивости к заболеваниям

уметь:

- применять основные законы наследственности и закономерности

наследования признаков к анализу наследования нормальных и патологических признаков животных

владеть:

- способностью самостоятельного принятия решений при планировании зоотехнических исследований и реализации их результатов

Навыками ведения профессиональной деятельности с учетом влияния на организм животных природных, социально-хозяйственных, генетических и экономических факторов

знать:

- достижения современной генетики, принципы и результаты их использования в науке и практике животноводства

уметь:

- планировать научные исследования, выбирать методы сбора данных и их анализа, интерпретировать полученные результаты применительно к конкретной ситуации и использовать их в практической деятельности

владеть:

- методами гибридологического, цитогенетического и популяционного анализа, принципами решения теоретических и практических типовых и системных задач, связанных с профессиональной деятельностью

1. ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Основной единицей живого является клетка. Она имеет все свойства живого, то есть, способна размножаться, видоизменяться и реагировать на раздражения. Более мелкие единицы материи этих свойств не проявляют. Р. Вирхов писал: «Клетка есть последний морфологический элемент всех живых тел, и мы не имеем права искать настоящей жизнедеятельности вне ее» (1858).

Раздел генетики, посвященный изучению явлений наследственности и изменчивости на клеточном уровне, называется цитогенетикой. Органоиды клетки – особые клеточные структуры, имеющие определенную морфологию, ультраструктуру, химический состав и выполняющие соответствующие функции.

Основные структурные элементы клетки представляют собой материальную основу наследственности, которая обеспечивает в филогенезе (Филогенез (др.-греч. φύλον, phylon — племя, раса и др.-греч. γενετικός, genetikos — имеющий отношение к рождению) — историческое развитие организмов. В биологии филогенез рассматривает развитие биологического вида во времени) преемственность между поколениями. Главная роль в этом принадлежит хромосомам, в которых записана генетическая программа онтогенеза организма.

Изучение материальных основ наследственности начинается со строения клеток и ее органоидов, делений митоза и мейоза, образования

половых гамет, в процессе которых можно изучить строение и поведение хромосом.

Занятие 1. Строение клетки

Цель занятия: Ознакомиться с органоидами клетки и их роли в передаче наследственной информации.

Методические указания. Среди живых организмов встречаются два типа организации клеток: прокариотическая клетка (упрокариот – бактерий и сине-зеленых водорослей) и эукариотическая клетка (у эукариот, то есть всех остальных одно- и многоклеточных организмов – растений, грибов и животных).

Строение клетки.

Прокариотическая клетка покрыта цитоплазматической мембраной, играющей роль активного барьера между цитоплазмой клетки и внешней средой. Снаружи от мембраны расположена клеточная стенка. У прокариотических клеток нет морфологически выраженного ядра, но имеется зона, заполненная ДНК, несущей наследственную информацию. В основном веществе цитоплазмы прокариотических клеток располагаются многочисленные рибосомы.

Бактерии размножаются путем простого деления. Находящаяся в ядерной области ДНК прикреплена к мезосоме – структуре, образуемой цитоплазматической мембраной. Деление бактериальной клетки начинается с деления мезосомы; затем две половинки мезосомы расходятся, увлекая за собой ДНК, последняя также делится на две части, из которых впоследствии образуются ядерные области двух дочерних клеток.

Клетка эукариот организована сложнее, чем прокариотическая (рис. 1). Она покрыта *цитоплазматической мембраной (плазматической оболочкой)*, которая играет важную роль в регулировании состава клеточного содержимого, так как через нее проникают все питательные вещества и продукты секреции. Она состоит из молекул липопротеидов, обладает свойством полупроницаемости и играет важную роль в жизнедеятельности и обмене веществ клетки.

Цитоплазма – кроме плазмалеммы, цитоплазма клетки включает матрикс (гиалоплазму). Гиалоплазма или матрикс цитоплазмы составляет внутреннюю среду клетки. Она состоит из воды (90 %) и различных биополимеров (7 %) белков, нуклеиновых кислот, полисахаридов, липидов, из которых основную часть составляют белки различной химической и функциональной специфичности. Гиалоплазма обеспечивает их взаимодействие, движение, транспорт соответствующих веществ необходимых для жизнедеятельности клетки и ее дифференциации. А так же эндоплазматическую сеть и ультраструктурные компоненты – органоиды клетки (органеллы). Органоидами клетки являются: митохондрии, аппарат

Гольджи, рибосомы, лизосомы, пластиды, сферосомы, цитосомы, микротрубочки, вакуоли.

Каждая клетка содержит небольшое шаровидное или овальное тельце, называемое *ядром*. Ядро служит важным регулирующим центром клетки; оно содержит наследственные факторы (гены), определяющие признаки данного организма, и управляет многими внутриклеточными процессами. Было открыто Р.Б. Брауном в 1831 году. Является обязательным и важнейшим компонентом клетки. Ядру принадлежит главная роль в сохранении, передаче и реализации наследственной информации. Ядро клетки находящейся в стадии покоя (интерфаза) называется интерфазным. В это время оно имеет сферическую или овальную форму и в недифференцированной клетке располагается в астральной части. Ядро имеет ядерную оболочку (мембрану), содержит кариоплазму, ядрышко и хроматин.

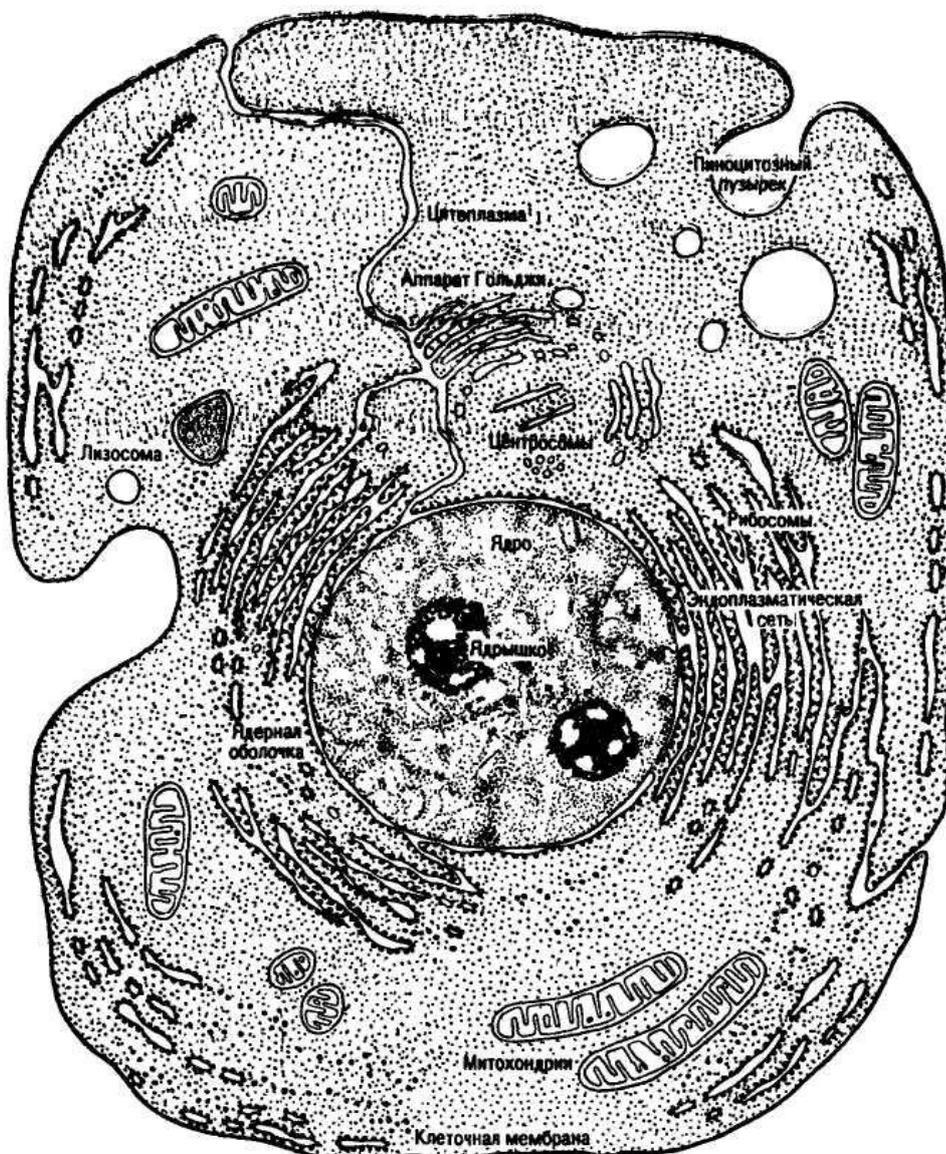


Рис. 1. Схема строения эукариотической клетки (рисунок с электронной микроскопии)

Ядерная оболочка – состоит из двух мембран, имеет поры, соединенные с эндоплазматической сетью. Их внешние поверхности

наружной мембраны находятся рибосомы. В ядре содержится 1 – 2 и более ядрышек. Они не имеют оболочки и основную массу их составляют РНК (3 – 5 %), белки (80 – 90 %), преимущественно связанные с РНК фосфопротеиды, ДНК – содержащие тяжи. Ядрышку принадлежит важная роль в жизнедеятельности клетки: в нем синтезируется рибосомальная РНК.

Кариоплазма – (ядерный сок), жидкая фракция, вытекающая из ядра при проколе ее микропипеткой. В ней содержится РНК, белки и другие соединения, являющиеся продуктами жизнедеятельности ядрышка и хроматина.

Хроматин – представляет собой плотные структуры ядра, способные окрашиваться основными красителями. В зависимости от состояния, степени спирализации и конденсации хромосомных микрофибрилл хроматин в интерфазном ядре представлен в виде хроматиновых нитей или хромоцентров, или непрерывного слоя на внутренней поверхности ядерной оболочки.

Хромосомные микрофибриллы – состоят из ДНК и гистоновых белков, образуя молекулы дезоксинуклеопротеидов (ДНП). В соответствии с генетической информацией они управляют процессом синтеза белков в клетке.

Эндоплазматическая сеть. Была открыта в 1945 г К.Р. Портером. При исследовании тонкого среза клетки в электронном микроскопе видно, что цитоплазма представляет собой чрезвычайно сложный лабиринт из мембран, образующих так называемую эндоплазматическую сеть, заполняющую большую часть цитоплазмы. Существуют два типа эндоплазматической сети: гранулярная (шероховатая), к мембранам которой прикреплено множество рибосом — мелких рибонуклеопротеидных частиц, служащих местом синтеза белка. Агранулярная (гладкая), состоящая из одних только мембран, принимает участие в синтезе липидов. В каналах эндоплазматической сети происходит первоначальное накопление различных продуктов синтеза, а затем осуществляется их транспортировка в соответствующие органоиды, либо непосредственно по системе канальцев, либо путем образования специфических пузырьков. В одной и той же клетке может встречаться сеть того и другого типа.

Рибосомы – синтезируются в ядре, мелкие тельца диаметром 30 – 40 нм (100 – 200 Å ангстрем). Рибосомы впервые были описаны как уплотненные частицы, или гранулы, клеточным биологом румынского происхождения Джорджем Паладе в середине 1950-х годов. Термин "рибосома" был предложен Ричардом Робертсом в 1958 году вместо "рибонуклеобелковая частица микросомальной фракции". Встречаются на мембранах эндоплазматической сети, в гиалоплазме, митохондриях и хлоропластах. Основные химические компоненты – рибосомальная рибонуклеиновая кислота (р-РНК) и белок. В рибосомах содержится до 80 – 90 % всей РНК клетки. Рибосомы играют большую роль в реализации наследственной информации, т.к. именно они осуществляют синтез полипептидных цепей.

Митохондрии (хондриосомы) – тельца величиной 0.2 – 5 мкм, форма которых варьирует от сферической до палочковидной и нитевидной. Были обнаружены Альтманов в 1890 году описал митохондрии назвав их биопласты, в 1897 г Бенда ввел термин митохондрия. В одной клетке может быть от нескольких митохондрий до тысячи и более. Обычно они сосредоточены в той части клетки, где обмен веществ наиболее интенсивен. Каждая митохондрия ограничена двойной мембраной; внешний слой мембраны образует гладкую наружную поверхность, а от внутреннего слоя отходят многочисленные складки. Внутренние складки, называемые кристами, содержат ферменты, участвующие в системе переноса электронов, которая играет важнейшую роль в превращении энергии питательных веществ в биологически полезную энергию, необходимую для осуществления клеточных функций. Полужидкое внутреннее содержимое митохондрии – матрикс – содержит ферменты. Митохондрии, главная функция которых состоит в выработке энергии, образно называют электростанциями клетки. Митохондрии содержат РНК, ДНК и рибосомы, поэтому им принадлежит определенная роль в наследовании признаков, детерминируемых цитоплазмой.

Аппарат (комплекс) Гольджи. Впервые был описан итальянским ученым Камило Гольджи в 1898 г. Компонент цитоплазмы, встречающийся почти во всех клетках, кроме зрелых спермиев и красных кровяных телец, — представляет собой неупорядоченную сеть канальцев, выстланных мембранами. Обычно он расположен около ядра и окружает центриоли. Функция комплекса еще не вполне выяснена, но, по мнению некоторых цитологов, комплекс Гольджи служит местом временного хранения веществ, вырабатываемых в гранулярной эндоплазматической сети, а канальцы комплекса соединены с плазматической мембраной. Выполняет многообразные функции, обеспечивающие нормальную жизнедеятельность клетки: регулирует содержание воды, накопление углеводов, созревание ферментов, участвует в синтезе физиологически важных соединений, в формировании клеточной оболочки.

В клетках большинства растений имеются *пластиды* – формирования, в которых происходит синтез или накопление органических веществ. Впервые были открыты нидерландским натуралистом Антони ван Левенгуком в 1676 г, описаны в 1888 году Альфонсо Луис Эррера мексиканским биологом. Они бывают трех видов лейкопласты, хромопласты и хлоропласты. Они могут саморазмножаться. Хлоропласты осуществляют процесс фотосинтеза и обладают наиболее сложным строением. Бесцветные пластиды синтезируют крахмал, хромопласты – пигмент, эвопласты – жиры. В пластидах обнаружена ДНК.

Лизосомы были открыты Кристиан де Дюв в 1954 – 1955 гг. группа внутриклеточных органелл, встречающихся в животных клетках, - сходны по величине с митохондриями, но несколько менее плотные. Мелкие гранулы размером 0.4 мкм, окруженные липопротеидной мембраной. Содержат

разнообразные ферменты, способные гидролизовать макромолекулярные компоненты клетки. Ферменты лизосом способны обеспечивать лизис фосфорных эфиров, нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов. В случае проникновения в клетку чужеродной ДНК (вируса) лизосомы выделяют в цитоплазму ферменты, расщепляющие ДНК, - нуклеазы, и тем самым выполняют защитную функцию. Основная их функция – изоляция ферментов, накапливающихся в цитоплазме, и использование их для гидролиза веществ, поступающих в клетку.

Центросома (клеточный центр), встречается во всех способных к делению клетках животных и низших растений. Он состоит из центриолей и центросферы. Расположены около ядра два небольших тельца – *центриоли*, которые играют важную роль в клеточном делении: в начале деления они отходят друг от друга, направляясь к противоположным полюсам клетки, и между ними образуется так называемое веретено деления.

Сферосомы – были обнаружены Д. Ганштейном в 1880г. и впервые описаны Дангердом в 1919 году. В последние годы в цитоплазме клеток растений обнаружены нероксисомы – микротельца, содержащие наборы ферментов различного назначения, и микротрубочки, функция которых еще до конца не раскрыты.

Вакуоли – полости, заполненные жидкостью и отделенные от остальной цитоплазмы вакуолярной мембраной. Вакуоли весьма обычны в клетках растений и низших животных, но редко встречаются в клетках высших животных. Для клеток растений характерны системы вакуолей, окруженных белково-липидной мембраной – гонопластом. Клеточный сок – водный раствор органических (алкалоидов, гликозидов, пигментов и др.) и неорганических (соли фосфора, калия, натрия и др.) соединений. Местоположение вакуоли часто обуславливает полярность клеток.

Занятие 2. Морфология и типы хромосом

Цель занятия. Изучить строение хромосом, их идентификацию. Зарисовать различные типы хромосом в зависимости от расположения центромеры.

Методические указания. Хромосомы впервые были обнаружены Уолтером Флемингом (1882 г) и Эдуардом Страсбургером (1884 г).

Термин «хромосома» предложил Генрих Вальдейер в 1888 году.

Хромосомами называются постоянные компоненты ядра, имеющие особую организацию, функциональную, морфологическую специфичность, способные к самовоспроизведению и сохранению свойств на протяжении онтогенеза.

Хромосомы – наиболее совершенная форма организации наследственных структур. Им принадлежит ведущая роль в сохранении, передаче и реализации наследственной информации. Эти функции хромосомы выполняют в различные периоды жизнедеятельности

митотического цикла клетки, поэтому они обладают способностью изменять структуру и морфологию.

В интерфазном ядре они выполняют функции транскрипции (синтеза и-РНК) и репликации (удвоения) генетического материала, поэтому находятся в деконцентрированном (неуплотненном) состоянии, имеют вид тонких деспирализованных нитей, представляющих собой комплекс ДНК и основных белков – гистонов (ДНП – комплексы). Во время деления клетки основная функция хромосом – сохранение, воспроизведение и передача наследственной информации в дочерние клетки, поэтому они находятся в компактном (конденсированном) состоянии, обусловленном максимальной спирализацией хроматиновых нитей.

Хромосомы изучают в профазе мейоза (мейотические хромосомы), в профазе и метафазе митоза. Наиболее четко морфологические особенности хромосом проявляются в метафазе митоза, поэтому *подсчет числа хромосом, определение их размеров, описание и идентификацию* проводят в этот период (рис. 2). Хромосомы можно идентифицировать по их длине. Длина хромосомы варьирует от 1 до 30 мкм; большая часть хромосом в состоянии максимального сокращения в митозе имеет длину менее 10 мкм. Абсолютная и относительная длина двух плеч хромосомы служит главным, а иногда и единственным критерием для распознавания отдельных хромосом.

Размеры метафазных хромосом варьируют в широких пределах: диаметр изменяется от 0.2 до 3 мкм, а длина от 0.2 до 50 мкм. Наиболее крупные хромосомы у однодольных растений, наиболее мелкие у грибов и водорослей.

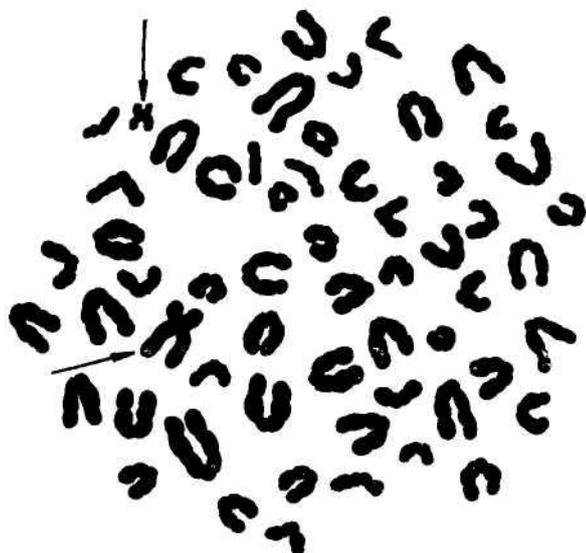


Рис. 5. Хромосомный набор крупного рогатого скота (стадия метафазы). Стрелками указаны половые хромосомы.

Рис. 2. Диплоидный набор хромосом крупного рогатого скота (метафазная пластинка лейкоцитов быка, стрелки указывают на половые хромосомы)

Григорий Андреевич Левитский (1931 г) установил единый принцип морфологического строения метафазных хромосом, как бы они не были

различны на первый взгляд. Каждая метафазная хромосома состоит из двух хроматид, имеет определенную длину и форму, которая зависит от положения первичной или центрической перетяжки. В области первичной перетяжки, для которой характерно относительно слабое окрашивание хромосомными красителями расположен центромер (кинетохор), к которому прикрепляются тянущие нити митотического веретена. Местонахождение центромера специфично и строго постоянно для соответствующей хромосомы каждого вида. Он делит хромосому на два плеча и тем самым определяет ее форму (рис. 3).



Рис. 3 Типы митотических хромосом

Хромосому с расположенной посередине центромером называют **метацентрической**, при этом плечи хромосомы одинаковой величины, если центромер смещен в сторону от центра, то хромосому называют **субметацентрической**; при смещении центромера на значительное расстояние от центра – **acroцентрической** или **телоцентрической**. Участок плеча, расположенный ближе к центромеру, называют **проксимальным**, а отдаленный – **дистальным**. Разница в длине плеч у различных хромосом может колебаться в довольно широких пределах. Отношение длины большого плеча к длине меньшего называют **плечевым индексом** и по нему определяют морфологию хромосомы.

Метацентрические хромосомы имеют индекс 1.0 – 1.9; субметацентрические – 2.0 – 4.9, акроцентрические – 5 и более. У телоцентрических хромосом плечевой индекс больше 8.

Кроме местоположения центромера, морфологическое строение хромосомы определяет вторичная (акинетиная) перетяжка. Сегмент хромосомы, отделенный вторичной перетяжкой, Сергей Гаврилович Навашин (1912 г) назвал *спутником*, а хромосомы имеющие его – *спутничными*. В районе вторичной перетяжки (нити спутника) образуется ядрышко. Такие хромосомы называются ядрышкообразующими или АТ-хромосомами.

Свободный концевой участок каждого плеча хромосомы называется теломерным. Он имеет структурное своеобразное строение, благодаря

которому концевые участки хромосом неспособны соединяться с другими хромосомами и их фрагментами. В ранней профазе митоза или в профазе первого деления мейоза по всей длине хромосом проявляются утолщения – хромеры, число и положение которых специфично для каждой хромосомы и наследственно детерминировано. Хромосомы имеют сложное химическое строение и на 90 % состоят из ДНК – дезоксирибонуклеопротеидов. В молекулах ДНК закодирована наследственная информация, детерминирующая формирование и развитие свойств и признаков в онтогенезе организма. При использовании специфических методов окраски в каждой хромосоме выявляются эухроматиновые и гетерохроматиновые зоны.

Эухроматиновые зоны окрашиваются слабее. Их рассматривают как активные зоны хромосом, содержащие комплекс работающих генов. Гетерохроматиновые зоны хромосом окрашиваются более интенсивно. Предполагают, что в них находятся блоки идентичных генов, обладающих сходным действием и малоактивных в онтогенезе. С.Г. Навагин предложил графическое изображение хромосом, присущих соматической клетке данного вида, со всеми их структурными и морфологическими характеристиками (положение центромера и вторичная перетяжка, длины плеч, наличие спутников и т.д.) назвать *идиограммой* (рис. 4).

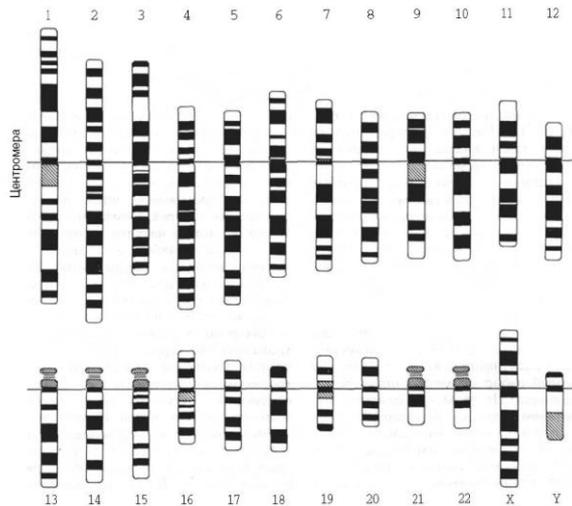


Рис.4 – Идиограмма хромосом

Определение морфометрических параметров каждой хромосомы проводят на микрофотографиях метафазных пластинок. Обычно изображение каждой хромосомы вырезают и располагают с учетом размера, гомологичности, местоположение центромера.

При подборе метафазных пластинок для идентификации хромосом изучаемого вида особое внимание обращают на идентичное состояние их спирализации (J) по следующей формуле:

$$J^s = \frac{\text{суммарная длина двух коротких хромосом}}{\text{суммарная длина двух длинных хромосом}}$$

Для исследования берут две метафазные пластинки, на которых хромосомы имеют одинаковый индекс спирализации. Окончательные выводы о строении и размерах хромосом изучаемого вида делают на

основании анализа не менее 40 метафазных пластинок на 10 препаратах после статистической обработки полученных результатов. Основными морфологическими параметрами хромосом являются: абсолютная и относительная длина, центромерный и плечевой индексы.

Абсолютную длину хромосомы (L) определяют непосредственно под микроскопом или на микрофотографии, увеличение которой известно.

Относительную длину хромосомы устанавливают в процентах от суммарной длины всех хромосом кариотипа.

$$L_{\%}^r = \frac{\text{Длина изучаемой хромосомы}}{\text{Длина всех хромосом кариотипа}}$$

Плечевой индекс (J^P) данной хромосомы определяют по отношению длины большого плеча к длине меньшего (короткого)

$$J^P = \frac{\text{Длина большого плеча}}{\text{Длина короткого плеча}}$$

Центромерный индекс (J^C) рассчитывают в процентах по отношению длины короткого плеча к длине всей хромосомы, %

$$J^C = \frac{\text{Длина короткого плеча}}{\text{Длина всей хромосомы}} \cdot 100 \%$$

На препаратах, приготовленных с использованием дифференциальных красителей, устанавливают также процент гетерохроматиновой зоны в изучаемой хромосоме.

При описании хромосом изучаемого кариотипа используют условные обозначения:

L – длинные хромосомы

M – средние хромосомы

S – короткие

Индексом обозначают тип хромосомы:

m – метацентрическая

s – субметацентрическая

a – акроцентрическая.

Вторичную перетяжку обозначают буквой «С», спутник – « t ».

Цифры перед буквой, обозначающей длину хромосомы, указывают на число сходных хромосом в гаплоидном наборе.

Например в гаплоидном наборе ржи содержится три длинные метацентрические хромосомы: длинная метацентрическая с перетяжкой, субметацентрическая, субметацентрическая с вторичной перетяжкой, одна средняя метацентрическая и средняя субметацентрическая спутничная.

Формула кариотипа ржи может быть записана следящем образом:

$$3Lm + 1Lm^c + 1L^s + 1Mm + 1MS$$

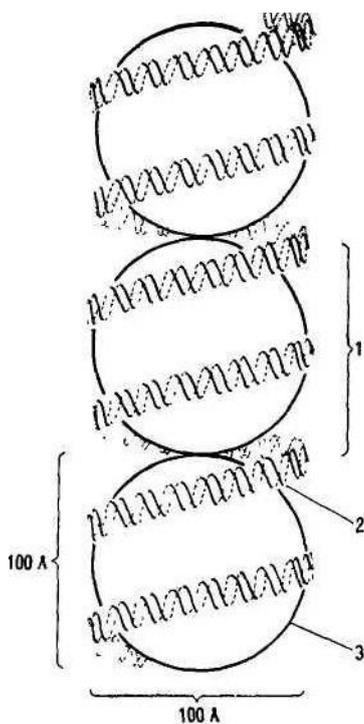


Рис. 5 – Гипотетическое строение хроматина (А. Корнберг, 1977): 1 – нуклеосома, 2 – двойная спираль ДНК, 3 – молекулы гистонов

Занятие 3. Кариотип некоторых видов сельскохозяйственных животных и птиц

Цель занятия. Ознакомление с кариотипом некоторых видов сельскохозяйственных животных и птиц.

Методические указания. Набор хромосом соматической клетки организмов, типичный для данного вида называется *кариотипом*. В кариотипе хромосомы парные. Двойной набор хромосом называется *диплоидным*. Хромосомы относящиеся к одной паре называются гомологичными. Они абсолютно одинаковы по размерам, форме и другим свойствам. В половых клетках набор хромосом одинарный, т.е. *гаплоидный*. Совокупность генов в гаплоидном наборе хромосом носит название *генома*. Уникальность хромосом – их самовоспроизведение. В хромосомах локализованы носители наследственной информации – *гены*. Наиболее отчетливо форма и строение хромосом видны во время деления клетки на стадии метафазы. Соматические клетки образуют разные ткани: нервную, костную, мышечную.

Половые (генеративные) клетки связаны с передачей признаков по наследству. Среди всех хромосом кариотипа различают пары аутосом, одинаковые для мужских и женских особей и одну пару половых хромосом (гоносом), различающихся у мужских и женских особей. Половые хромосомы женских особей млекопитающих обозначаются буквами – XX (гомогаметный пол), мужских особей – XY (гетерогаметный пол).

У птиц, бабочек наоборот, женский пол гетерогаметный, а мужской – гомогаметный. У пчел, муравьев нет половых хромосом: женские особи развиваются из оплодотворенного яйца, мужские – из неоплодотворенного яйца. Кариотип пчеломатки представлен 32 хромосомами, а трутня – 16 хромосомами.

Характеристика кариотипов проводится по схеме: (на примере человека). Человек $2n=46$ хромосом. Соматические клетки женских особей представлены 44 аутосомы + две половые хромосомы (XX), мужских особей 44 аутосомы + две половые хромосомы (XY). Более компактно можно записать следующим образом:

♀44A+XX; ♂44A+XY

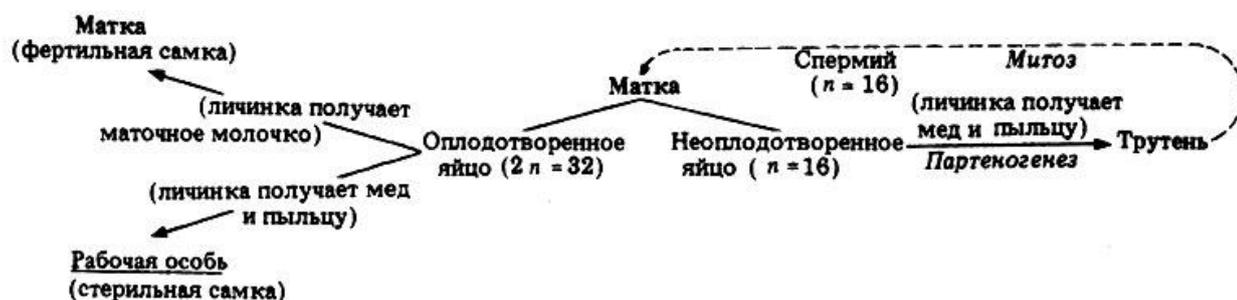


Рис. 6 Схема воспроизводства пчелиной семьи.

При гаметогенезе образовавшиеся половые клетки (гаметы – яйцеклетка или спермий) имеют гаплоидный (половинный от соматических клеток) набор хромосом, женские гаметы представлены $22A+X$; мужские $22A+Y$ и $22A+X$.

Таким образом, при слиянии мужской и женской гамет при оплодотворении получается женская или мужская особь.

Схема скрещивания:

P ♀44A+XX × ♂44A+XY

Гаметы $(22A+XX)$ $(22A+XY)$
 $(22A+XX)$
 F₁ ♀44A+XX ♂44A+XY

Кариотип крупного рогатого скота. В диплоидном наборе соматических клеток крупного содержится 60 хромосом (30 пар). Однако идентификация хромосом затруднена, так как все 29 пар аутосом являются акроцентрическими и не отличаются друг от друга по положению центромера. Половая X-хромосома является крупной метацентрической, а Y-хромосома – мелкий субметацентрик.

Кариотип свиней. Диплоидное число хромосом у домашних свиней равно 38 (19 пар). У них выявлен полиморфизм хромосом.

У европейского дикого кабана диплоидное число хромосом 36, а у дикого азиатского – 37. В кариотипе обнаружены дополнительная субметацентрическая хромосома и две непарные телоцентрические

хромосомы. У гибридов количество хромосом варьирует от 30 до 36. На основе изучения величины, морфологии и положения центромера кариотип свиней классифицируют следующим образом. Выделены четыре группы хромосом (А, В, С, Д).

К группе «А» относятся все пары крупных субметацентрических хромосом с плечами равной длины. В этой группе отчетливо выделяются по размерам самые крупные хромосомы 1 пары, хромосомы 2 и 3 пар групп значительно короче. Их длина примерно равна длине большого плеча первой хромосомы. К группе «В» относятся все акроцентрические хромосомы. Их 6 пар (1У-1Х пары). Центромера у них расположена вблизи одного из концов, благодаря чему они имеют форму шпильки. Хромосомы 1У пары самые крупные, близкие по размеру к хромосомам 1 пары. 5 и 6 пары акроцентриков группы «В» близки по размеру к хромосомам 2 и 3 пар группы «А». Хромосомы 7, 8 и 9 пар значительно короче. К этой группе «С» относят 6 пар (10 – 15 пары) субметацентрических хромосом среднего размера. Они примерно одинаковой длины и трудноотличимы друг от друга.

К группе «Д» относятся 4 пары (16-19 пары). Это метацентрические хромосомы с плечами равной длины. Пара 16 отличается от других метацентриков наличием на одном из плечей вторичной перетяжки. Пары 17 и 18 трудно отличимы друг от друга. 19 пара – половые хромосомы достаточно четко отличается от других хромосом. Х-хромосома самая крупная из всех метацентриков, а У-хромосома самая маленькая из них.

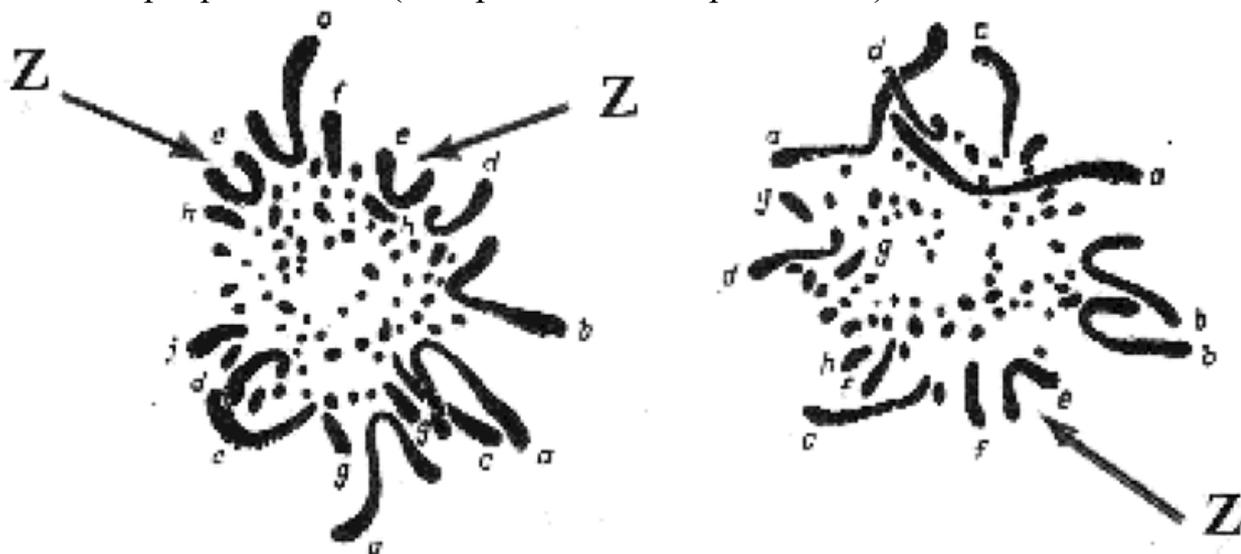
Кариотип овец. Установлено, что диплоидный набор хромосом, овец составляет $2n=54$, но отмечен внутривидовой полиморфизм по числу хромосом ($2n=56, 58, 53, 52$). Кариотип овец представлен 26 парами аутосом и одной парой половых хромосом (XX или XY). В состав аутосом входят три пары больших метацентриков и 23 пары акроцентрических хромосом разной величины. Размер хромосом овцы неодинаков. Половая Х-хромосома – крупный акроцентрик, ее размер 3.04 мкм; У-хромосома субметацентрическая, имеет вид круглой точки, величина ее – 0.64 мкм.

Кариотип диких видов рода овец характеризуют следующие данные: большерогие овцы - $2n=54$. Число хромосом у других животных этого вида следующие: у сайгака – 60, овцебык – 48, козы – 60, архар – 56. Предполагается, что в процессе эволюции все овцы с кариотипом $2n=54$ произошли от одного общего предка, в результате транслокаций хромосом Робертсоновского типа от слияния акроцентрических хромосом $2n=58, 2n=56$ и $2n=54$. Отмечено, что У-хромосома у 60 % клеток занимает периферическое место в метафазной пластинке.

Кариотип лошадей. В кариотип соматических клеток домашней лошади входят $2n=64$ хромосомы, в числе которых 31 пара аутосом и две половые хромосомы. В кариотипе 36 аутосом и У-хромосома являются акроцентриками, 20 аутосом и Х-хромосома имеют субметацентрический тип, при котором центромер расположен выше середины; шесть хромосом относятся к метацентрическому типу.

Кариотип домашних кур. Исследования последних лет показывают, что число хромосом у кур и петухов варьирует, что затрудняет их точный подсчет. Изучение морфологического строения хромосом показало, что можно четко идентифицировать только 8-10 пар аутосом и одну пару половых хромосом у петуха.

У кур выделено три группы хромосом: группа А – микрохромосомы, состоящие из 5 пар хромосом. Первая пара – наиболее крупная, субметацентрического типа длиной 10 мкм, с почти равными плечами. Вторая пара – тоже субметацентрические крупные хромосомы, но несколько мельче первой. Третья пара акроцентрического типа и по размеру равна большим плечам второй пары. Пятнадцатая пара субметацентрического типа, ее хромосомы несколько различаются по величине и форме. Пятая пара – половые хромосомы метацентрического типа (у петухов две Z – хромосомы, у кур одна Z – хромосома, самая длинная из числа метацентриков (4-5 мкм) и W-хромосома очень мала (0.4 – 0.5 мкм). Поэтому многие исследователи не могли ее различить среди микрохромосом курицы. W-хромосома относится к крупным микрохромосомам (в 10 раз мельче Z-хромосомы).



а б

Рис. 7. Кариотип петуха (а) и курицы (б)

а, b – субметацентрические, с, d, h – акроцентрические, e, d – метацентрические.

Группа В – субмакрохромосомы, включающие в себя 6 пар аутосом средних размеров (6, 7, 11 – акроцентрики).

Группа с – микрохромосомы. Число их при исследовании варьирует до 79 в отличие от макросом, число которых постоянно. Микрохромосомы, как и макрохромосомы, проходят стадию клеточного цикла. В хромосомном наборе кур исследователи отмечают полиморфизм параметров хромосом, особенно в 1, 2 и 4 парах. Наличие гетероморфизма хромосом кур объясняется наличием гетерохроматиновых и эухроматиновых участков.

Таблица 1 – Диплоидное число хромосом у человека и некоторых видов ЖИВОТНЫХ.

| Название | Число хромосом | Название | Число хромосом |
|---|----------------|--------------------------|----------------|
| Человек | 46 | Собака | 78 |
| Крупный рогатый скот, зебу, як, зубр, бизон | 60 | Кошка | 38 |
| Буйвол азиатский | 50 | Норка американская | 30 |
| Буйвол африканский | 48 | Норка европейская | 32 |
| Овцы домашняя | 54 | Хорек | 40 |
| Муфлон европейский и азиатский | 54 | Хонорик | 36 |
| Архар | 56 | Соболь | 38 |
| Коза, сайгак | 60 | Лисица | 38-40 |
| Овцебык | 48 | Нутрия, крыса | 42 |
| Свинья домашняя | 38 | Песец | 48-50 |
| Кабан дикий европейский | 36 | Кролик, золотистый хомяк | 44 |
| Минисибс | 38-36 | Бобр | 48 |
| Лошадь домашняя | 64 | Курица, перепел | 78 |
| Лошадь Пржевальского | 66 | Индейка, гусь, фазан | 82 |
| Осел | 62 | Утка, голубь | 80 |
| Лошак, мул | 63 | Цесарка | 74 |
| Верблюд | 74 | Пчела | 16, 32 (A) |
| Олень северный | 70 | Дрозофила | 8 |

Примечание: минисибс – миниатюрная сибирская свинья, выведенная на основе сложной воспроизводительной гибридизации. Обладает хромосомным полиморфизмом ($2n=38, 37, 36$).

Занятие 4. Митоз и мейоз

Цель занятия. Ознакомиться с делением клетки, изучить и зарисовать фазы митоза и мейоза, процессы, протекающие в них.

Методические указания.

Митоз – непрямоe деление клетки, состоящее из деления ядра (кариокинез) и деления цитоплазмы (цитоккинез). Для митоза характерна строгая упорядоченность процесса клеточного деления. Каждая дочерняя клетка получает такие же хромосомы, какими обладала материнская клетка, и в том же количестве. Следовательно, клеточный материал между дочерними клетками распределяется поровну.

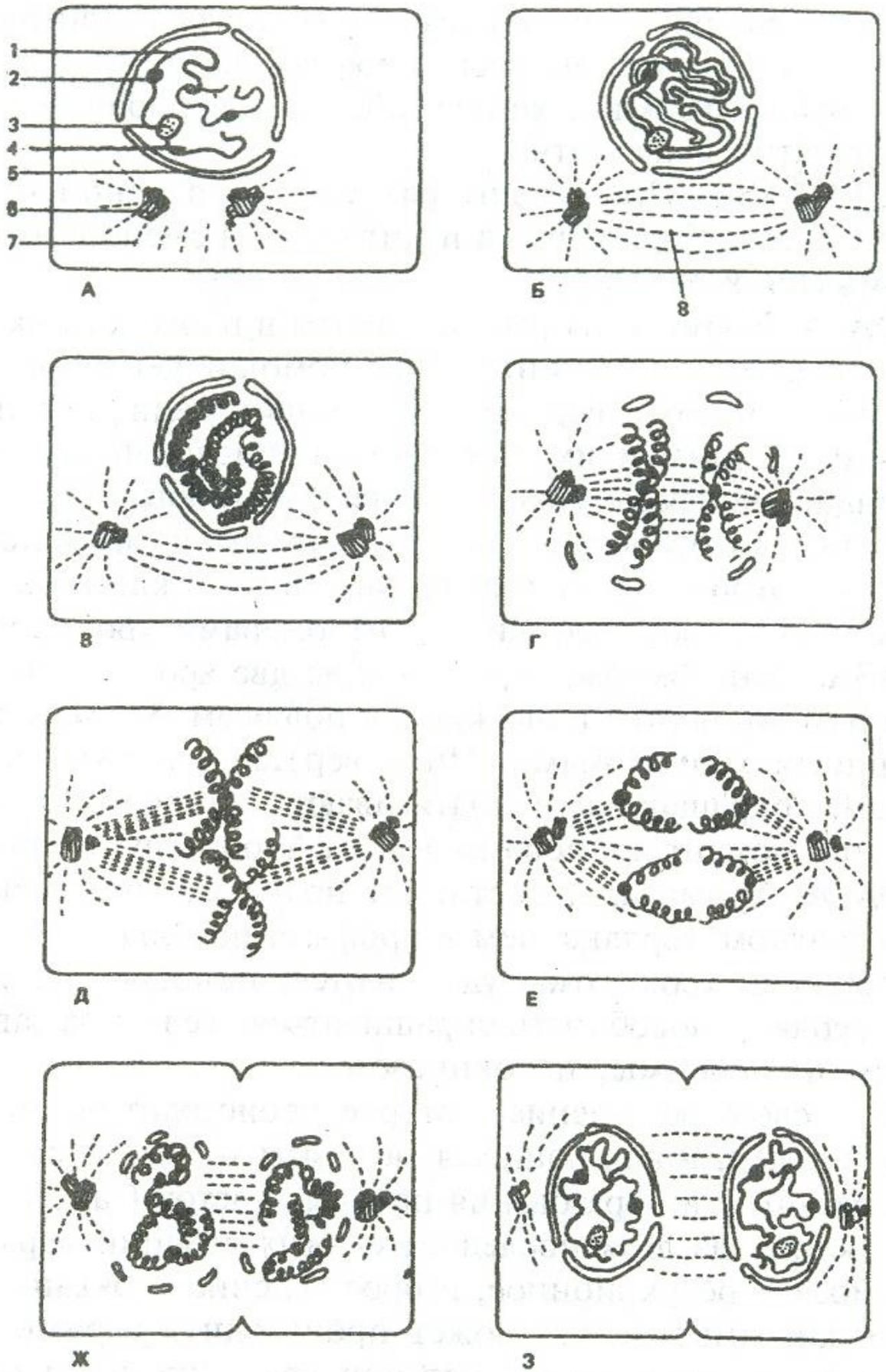


Рис. 8 – Схема митотического деления животной клетки (по К. Вилли и В. Детье, 1975)

Митотическое деление представляет собой непрерывный процесс, каждая стадия которого незаметно переходит в следующую за ней. Для удобства описания принято подразделять митоз на четыре стадии: профазы (прометафаза), метафаза, анафаза и телофаза.

Промежуток времени между окончанием одного клеточного деления и окончанием последующего называют *митотическим циклом*, который подразделяют на митоз и интерфазу.

Интерфаза включает три периода. В первом периоде интерфазы, идущем вслед за прошедшим митозом и обозначаемом G_1 (пресинтетическая подфаза) – накопление нуклеотидов, аминокислот, ферментов; в подфазе S (синтетическая) – синтез нуклеиновых кислот (ДНК, РНК) и белков; в подфазе G_2 (постсинтетическая) продолжается синтез РНК и белков (особенности ядерных) и накапливается энергия для следующего митоза.

В интерфазе каждая исходная хромосома синтезирует свою точную копию непосредственно около себя из материала ядра. Интерфазные хромосомы в конце периода G_2 состоят из отдельных нитей, каждая из которых подвергается спирализации самостоятельно. Они лежат так близко, что кажутся единой структурой. При спирализации хромосом во время деления создается впечатление расщепления.

Профаза – первая фаза митоза. Ядро крупной величины. Хромосомы состоят из двух тонких, продольно закрученных нитей – хроматид, которые постепенно утолщаются и укорачиваются. Хроматиды остаются связанными вместе при помощи центромер. Центромеры просматриваются в виде светлых округлых зон. Хромосомы постепенно приближаются к оболочке ядра, ядерная оболочка начинает разрушаться.

Небольшие тельца, находящиеся в цитоплазме, центриоли образуют клеточный центр. Вначале профазы центриоли делятся и отходят в противоположные концы. Между центриолями образуются протоплазматические нити.

Прометафаза – происходит разрушение ядерной мембраны, ядрышки исчезают. Кариоплазма и цитоплазма смешиваются. Хромосомы движутся к экватору.

Метафаза. Хромосомы располагаются в плоскости экватора и образуют метафазную пластинку. При помощи центромер хромосомы связаны с нитями веретена деления. На стадии метафазы наиболее различимы хромосомы и их особенности (число, форма и строение), заканчивается формирование митотического аппарата. Митотический аппарат состоит из протоплазматических нитей, которые тянутся от одного полюса клетки к другому. Нити связывают полюса клетки с центромерами хромосом.

Анафаза. Центромеры, скрепляющие две хроматиды, делятся, хроматиды разъединяются и движутся к полюсам. Хроматиды превращаются в две совершенно обособленные дочерние хромосомы. Нити веретена,

прикрепленные к центромерам, сокращаются и подтягивают хромосомы к полюсам клетки. В этот момент хромосомы имеют Y-образную форму.

Телофаза. Хромосомы достигают полюсов. Процессы совершаются в обратном порядке: появляются ядрышки, ядерная оболочка, хромосомы удлиняются, приобретают вид тонких нитей, теряют способность окрашиваться. Телофаза завершается делением цитоплазмы и цитокинезом.

Мейоз. Сложное деление клетки, которое происходит только у высших организмов, размножающихся половым путем, и связан он с процессом развития и образования половых клеток – *гаметогенезом*.

Мейоз состоит из двух последовательных делений ядра, первое деление мейоза – редуccionное, второе деление – эквационное.

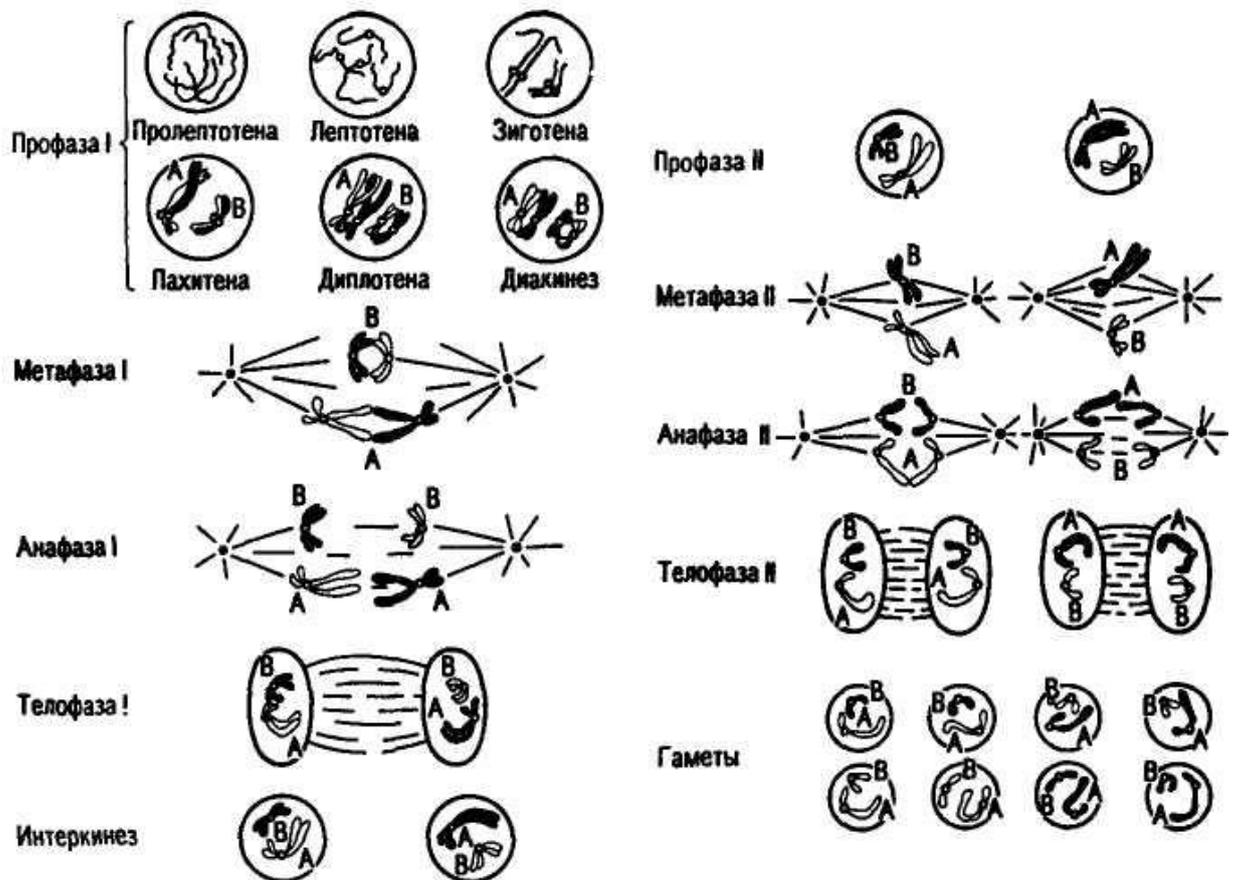


Рис. 9 – Схема мейоза.

У растений и животных мейоз может происходить в разное время: предшествовать образованию гаамет или сразу же после образования зиготы, а может занимать промежуточное положение.

Первое деление мейоза – *редуccionное*, начинается с *профазы I* (рис. 9), состоящих из пяти стадий: *лептотены*, *зиготены*, *пахитены*, *диплотены* и *диакинеза*. На стадии лептотены (тонких нитей, лептос – тонкий, тена – нить) хромосомы имеют вид тонких однородных нитей, которые ориентируются друг к другу. С помощью электронного микроскопа установлено, что хромосомы на стадии лептотены состоят из двух хроматид, соединенных центромером. На стадии зиготены (парных нитей, зигос – пара, тена – нить)

парные хромосомы начинают соединяться по всей длине (конъюгировать) и совмещаться хромосомами. Парные конъюгирующие хромосомы называются гомологичными. Попарная конъюгация гомологичных хромосом называется *синапсисом*.

На стадии *пахитены* (толстых нитей, пахис – толстый, тена – нить) происходит спирализация хромосом, в результате чего гомологичные хромосомы утолщаются и укорачиваются. Соединенные в пары хромосомы называются *бивалентами*.

Они состоят из четырех хроматид. В целом связанные друг с другом хроматиды двух конъюгирующих хромосом образуют тетраду, которая четко заметна на стадии диплотены. На стадии диплотены (двойной нити, диплос – двойной) обнаруживается произошедший ранее обмен участками между гомологичными хроматидами в виде перекрещивания гомологичных хроматид. Такое перекрещивание называют – хиазмами. Обмен гомологичных хромосом участками называют перекрестом или кроссинговером. В результате кроссинговера происходит рекомбинация генов. В каждой паре конъюгирующих хромосом бывает несколько перекрестков. В *диплотене* хромосомы начинают отталкиваться друг от друга.

На стадии *диакинеза* хромосомы еще более укорачиваются и утолщаются. При переходе от стадии профазы I к метафазе I наблюдается разрушение оболочки ядра, исчезновение ядрышек и развитие ахроматинового веретена.

В *метафазе I* биваленты расположены на плоскости экватора причем их вдвое меньше диплоидного числа хромосом. В отличие от митоза центромеры хромосом не делятся. Хромосомы связаны между собой в точках перекреста. При переходе к анафазе I хиазмы исчезают, каждая тетрада распадется на две диады (две пары хромосом).

В *анафазе I* редукционного деления мейоза к противоположным полюсам расходятся не хроматиды, а целые хромосом, ранее попарно соединившиеся в профазе мейоза (биваленты). Поэтому в *телофазе I* на противоположных полюсах клетки образуются гаплоидные ядра, а количество хромосом в дочерних ядрах вдвое меньше, чем в исходной материнской клетке. Нити веретена деления исчезают, формируются оболочка.

Хромосомы дочерних ядер состоят из качественно различных хроматид в результате обмена участками между гомологичными хромосомами в профазе I. После очень короткой интерфазы (интеркинез) между первым и вторым делением мейоза следует второе эквационное (уравнительное) деление, которое происходит по типу митоза.

Профаза II характеризуется исчезновением ядрышка, ядерной оболочки и образованием веретена деления.

На стадии *метафаза II* гаплоидные хромосомы, состоящие из двух хроматид выстраиваются центромерами в плоскости экватора. В *анафазе II*

происходит продольное деление центромер. К противоположным полюсам расходятся качественно разные хромосомы.

В *телофазе II* образуются ядра, содержащие гаплоидный набор хромосом. В процессе мейоза происходят три важных явления, отличающих митоз от мейоза:

1. Уменьшение числа хромосом вдвое (вместо диплоидного набора гаплоидный набор хромосом). В процессе оплодотворения в зиготе восстанавливается диплоидный набор хромосом, характерный для соматических клеток вида.
2. Образование клеток с различными комбинациями отцовских и материнских хромосом.
3. Возникновение новых типов хромосом, сочетающих гены родителей в результате кроссинговера (рекомбинации генов).

Оогенез – образование женских половых клеток. Гонии превращаются в оогонии, которые проходят фазы размножения и роста, содержат диплоидный набор хромосом. Путем многочисленных митозов оогонии превращаются в крупные клетки и называются ооцитами I порядка (ооцит I). Ооцит I с диплоидным набором хромосом в результате первого деления образует две неравноценные клетки с гаплоидным набором хромосом, одна крупная с запасом питательных веществ – ооцит II, другая маленькая, называется редуционным (направительным или первым полярным тельцем). Ооцит I порядка вступает во второе деление созревания – эквационное и образует две неравномерные клетки с гаплоидным набором хромосом, крупную (ооциду) и маленькую (второе направительное тельце). Первое направительное тельце можетделиться и дать две новые маленькие клетки – два полецита с гаплоидным набором хромосом. Три полецита рассасываются, а ооцида превращается в зрелую яйцеклетку (рис. 10).

При оогенезе из первичного ооцита образуется одна зрелая яйцеклетка с гаплоидным набором хромосом. Благодаря полецитам, созревающая яйцеклетка избавляется от лишних хромосом, а неравномерное деление цитоплазмы обеспечивает жизнеспособность основной яйцеклетки после оплодотворения. После оплодотворения яйцеклетки мейоз прекращается. В результате оплодотворения происходит объединение двух гаплоидных наборов хромосом: материнской и отцовской. Зигота (оплодотворенная яйцеклетка) имеет диплоидный набор хромосом.

Сперматогенез – образование мужских половых клеток (рис. 10). Сперматогонии в период эмбрионального развития и до полного созревания проходят стадии роста и размножения путем митоза.

У сельскохозяйственных животных сперматогенез происходит после достижения половой зрелости круглый год. После наступления половой зрелости часть сперматогониев в результате роста превращаются в сперматоциты I порядка. Такой сперматоцит с диплоидным набором хромосом вступает в стадию созревания путем первого мейотического деления – редуционного, в результате которого образуется два

сперматоцита II порядка с гаплоидным (одинарным) набором хромосом. Эти сперматоциты вступают во второе деление созревания – эквационное, в результате которого образуются сперматиды – незрелые мужские половые клетки с гаплоидным набором хромосом. Из сперматидов формируются зрелые мужские половые клетки – сперматозоиды.

При сперматогенезе в отличие от оогенеза из одного сперматогония с диплоидным набором хромосом образуется четыре сперматозоида с гаплоидным набором хромосом.

У большинства диких животных сперматогенез происходит в определенные сезоны (время гона). В промежуток между этими периодами в семенниках содержатся только сперматогонии.

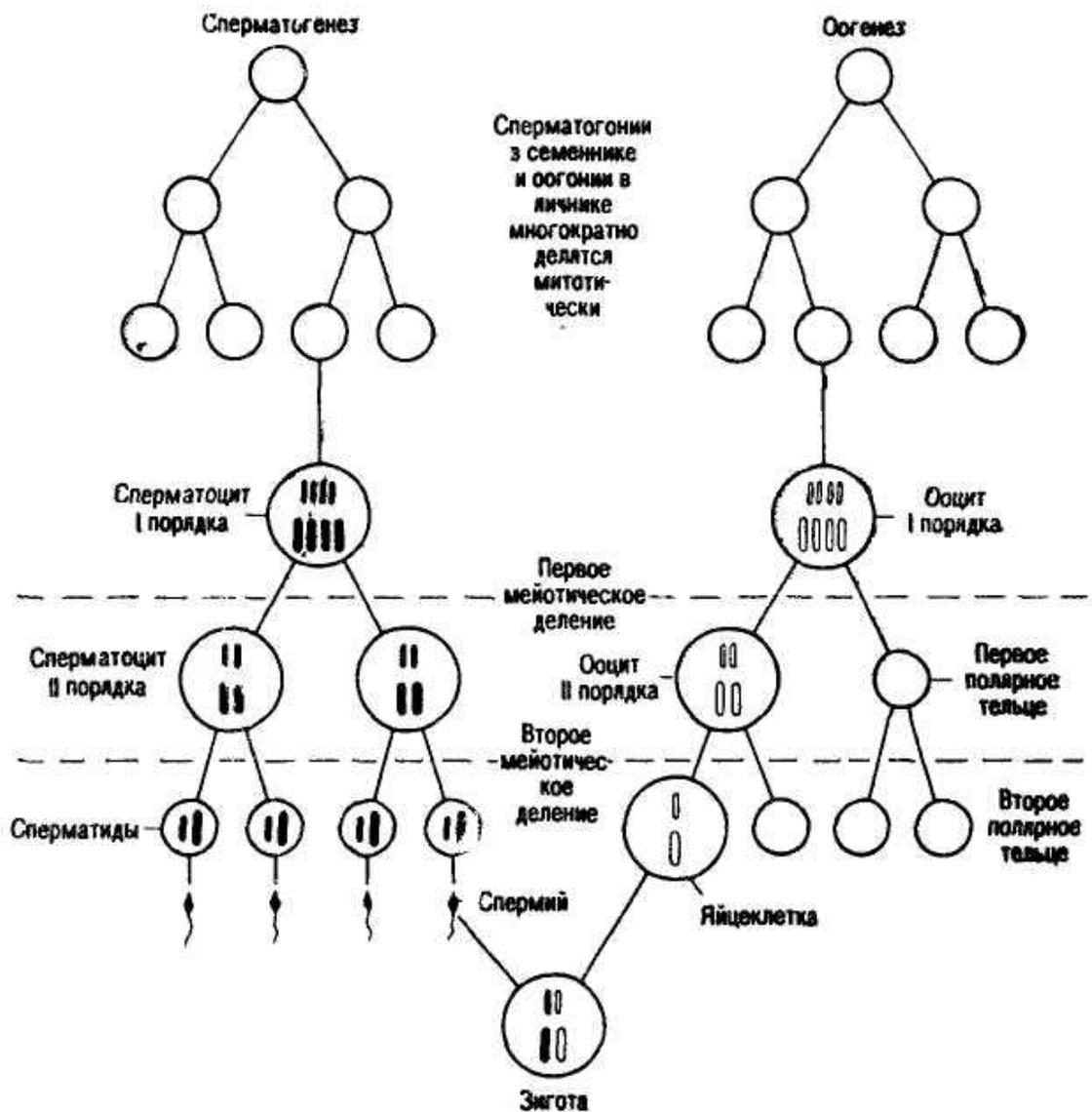


Рис. 10 – Сравнение процессов сперматогенеза и оогенеза у животных с гаплоидным числом хромосом, равным 2

Контрольные вопросы:

1. Что означают термины, анафаза, метафаза, хромосома, гамета, профазы, центромера, зигота, телофаза, центросома, хроматида, интерфаза, ядро, митохондрии, лизосомы?
2. Назовите основные органоиды клетки?
3. Химический состав клетки?
4. Каковы особенности формы и строения хромосом?
5. Назовите органоиды цитоплазмы и функции, которые они выполняют?
6. Каково строение рибосом и их роль в жизни клетки?
7. Строение митохондрий и их роль в жизни клетки?
8. Морфологическое строение и химический состав хромосом?
9. Что такое идиограмма?
10. Что такое хромосома, где они расположены?
11. Типы хромосом?
12. Какие зоны различают в хромосоме в зависимости от интенсивности окрашивания специальными красителями?
13. Каково основное значение оплодотворения?
14. Какие органоиды клетки играют решающую роль в осуществлении наследственности?
15. В чем отличие соматических клеток от половых?
16. Строение ядра соматической клетки.
17. Отличие прокариот от эукариотных организмов?
18. Основные функции хромосом и их уникальные свойства?
19. Что такое плечевой индекс хромосомы?
20. Строение и роль лизосом в клетке?
21. Строение и роль эндоплазматической сети в клетке?
22. Какую роль в клетке выполняет аппарат Гольджи?
23. Какие наблюдаются различия между соматическими и половыми клетками по набору хромосом?
24. Какие хромосомы называют гомологичными?
25. Что такое гаплоидный и диплоидный наборы хромосом?
26. Назовите диплоидные числа хромосом у основных видов сельскохозяйственных животных.
27. Что такое кариотип и каковы его особенности у разных видов животных?
28. По каким характеристикам изучают кариотипы?
29. По каким характеристикам проводят идентификацию хромосом?
30. В чем заключается генетическая сущность митоза?
31. В чем заключается генетическая сущность мейоза?
32. Что происходит в интерфазе митоза по периодам?
33. В результате каких процессов мейоза создаются материальные предпосылки увеличения комбинативной изменчивости?
34. Почему в результате митоза возникают дочерние клетки с идентичными наборами хромосом?

35. Что такое гаметогенез?
36. В чем основные различия между сперматогенезом и оогенезом?
37. Каково генетическое значение оплодотворения?
38. В чем отличие полового и бесполого размножения?
39. Что такое аутосомы?
40. К какому полу по кариотипу относятся мужские и женские особи млекопитающих и птиц?

2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ ПРИ ПОЛОВОМ РАЗМНОЖЕНИИ

Занятие 5. Моногибридное скрещивание

Цель занятия. Изучение закономерностей наследования признаков при моногибридном скрещивании. В процессе изучения закономерностей наследования осмыслить и понять законы Менделя.

Методические указания. Честь открытия основных закономерностей наследования признаков, наблюдающихся при гибридизации, принадлежит Грегору (Иоганну) Менделю (1822–1884) – выдающемуся австрийскому естествоиспытателю. Мендель – основоположник метода гибридологического наследования признаков и его основные положения:

1. Изучение наследования признаков осуществляется на основе скрещивания животных исходных родительских форм, а полученного гибридного или помесного потомства изучается характер наследования признаков в первом, втором и реже третьем поколениях потомства.
2. Для скрещивания подбирают родительские формы четко различимые по отдельным контрастным (четко выраженный, например: цвет цветка – красный и розовый; масть у животных черная или красная) или альтернативным (прямо противоположные, например: наличие рогов или их отсутствие (комолость) или аллеломорфным признакам.
3. Для скрещивания использовать чистопородных животных и чистых линий. Чистопородность и чистота линий проверяется скрещиванием животных между собой в течение 2 – 10 поколений.
4. Ведется точный математический учет наследования каждого признака в отдельности. Для выявления наследования признака необходимо использовать гибридов или помесей первого и второго поколений. Проводить описание признака каждого потомка и подсчитывать количество гибридов или помесей первого и второго поколений имевших те или иные признаки.
5. Гибридов первого поколения Мендель скрещивал с растениями родительских сортов и такое скрещивание теперь называют – возвратное, и полученное потомство обозначают F_v .
6. Скрещивание в котором участвует родительский сорт с признаками не появившимися у гибридов 1 поколения Мендель использовал для

улучшения состава и чистоты гамет и гибридов первого поколения, такое скрещивание называется анализирующим $F_1 \times PR$

7. Мендель для удобства обработки полученных данных применял буквенные обозначения наследственных элементов различных признаков. Наследственными элементами он называл, наследственные задатки или гены в современной терминологии, которые обуславливают развитие конкретных признаков. Признак одного из родителей проявленный у гибридов 1 поколения Мендель назвал доминантным т.е. господствующим и обозначил большой буквой латинского алфавита А, В, С, и т.д. а не проявившийся признак у гибридов и поколения рецессивный (отступление), обозначал малыми буквами лат. Алфавита а, в, с, и т.д.

8. При изучении наследования признаков составляют схемы скрещивания и при генетическом или гибридологическом анализе для записи схемы скрещивания пользуются определенными правилами: **P** (Parents – родители) – родительские формы, затем рядом записываются их генотипы; \times – знак скрещивания, который ставят между родителями; ♀ – женский пол (зеркало Венеры); ♂ – мужской пол (символ планеты марс щит и меч). Генотип женской особи пишется на первом месте, в отцовской на втором. В строке ниже родителей записывают типы производимых ими гамет, обозначаемые буквой г. Генотипы потомков первого поколения обозначается буквой F_1 (Filli – дети), второго поколения F_2 .

В 1909 году Иогансен заменил термин «фактор» означавший основную единицу наследственности, термином «ген».

Ген – это элементарная единица наследственности, представляющая собой определенный участок ДНК, контролирующая синтез белка, фермента, гормона, влияющая на развитие конкретного признака, свойства организма. Ген обладает – определенной биохимической функцией, формирует и изменяет признак. Главная функция гена – программирование синтеза ферментных и др. белков.

Хромосомы, относящиеся к одной паре, называются гомологичными. В гаплоидном наборе хромосом (половой клетке – гамете) имеется только один ген, ответственный за развитие данного признака.

В диплоидном наборе хромосом (в соматических клетках) содержатся две гомологичные хромосомы и соответственно два гена, определяющие развитие какого-то признака.

Аллели – это формы состояния гена, аллели локализованы в одинаковых локусах гомологичных хромосом и определяют направление развития признака. Каждый ген находится не менее чем в двух аллельных состояниях – доминантная аллель «А» и рецессивная «а».

Локус – участок хромосомы, в котором локализован определенный ген «А» или «а». Локус может быть сложным, состоящим из многих тесно сцепленных между собой генов. При конъюгации хромосом в мейозе, каждый локус хромосомы лежит возле соответствующего локуса

гомологичной хромосомы, что и приводит к обмену генами двух гомологичных хромосом, т.е. происходит процесс кроссинговера.

Фенотип – совокупность всех морфологических и физиологических признаков организма. Это комплекс всех признаков организма и внешнее проявление признаков. Фенотип представляет результата совместного действия генотипа и среды (фенотип = генотип + среда).

Генотип – совокупность всех генов или наследственных задатков, локализованных в хромосомах организма, определяющих развитие признаков или фенотипа.

Гомозигота – животный организм, имеющий одинаковые аллели одного конкретного гена, доминантные аллели АА или рецессивные аллели аа. С учетом этого животные могут иметь гомозиготный доминантный генотип АА или гомозиготный рецессивный генотип аа.

Гетерозигота – животный организм имеющий разные аллели одного гена в гомологичной паре хромосом, доминантная аллель А и рецессивная а.

Гетерозиготность – это генетическая структура генотипа и гомологичной хромосомы имеют разные аллели одного или нескольких генов и с учетом этого животные могут иметь гетерозиготный доминантный генотип Аа; АаВв.

Моногибридное скрещивание – это скрещивание двух организмов, различающихся по одной паре контрастных (альтернативных) признаков.

Например: Растение, имеющее желтые семена, скрещивали с растениями с зелеными семенами. Желтая окраска доминирует (А) над зеленой (а).

Р ♀ АА × ♂ аа
 желтая зеленая
 г А а
 F₁ Аа – желтая окраска (гибридное потомство) (1 закон Менделя, закон единообразия гибридов первого поколения)

На основании опыта установлено, что в первом поколении проявляются доминирование и единообразие потомков первого поколения. Эта закономерность получила название закона, или правила, единообразия гибридов первого поколения, или закона доминирования (1-й закон Менделя).

При скрещивании доминирующий признак подавляет рецессивный (зеленый) и все потомство оказывается с желтыми семенами. При этом рецессивный признак (зеленый) остается при сочетании с доминирующим в скрытом состоянии. Об этом можно судить по результатам анализа потомков второго поколения.

Р ♀ Аа × ♂ Аа
 г А а А а
 F₂ АА Аа Аа аа
 1 2 1
 Желтые зеленые

2 фенотипа – 3 желтых, 1 зеленый

3 генотипа – 1 AA, 2Aa, 1aa

AA : 2Aa : aa

Произошло расщепление 3:1. Это соотношение выражает *второй закон Менделя, или закон расщепления.*

Задачи на моногибридное скрещивание.

Задача 1. Ген черной окраски крупного рогатого скота доминирует над геном красной окраски. Какое потомство F_1 получится от скрещивания черного гомозиготного быка с красными коровами? Каким будет потомство F_2 от скрещивания между собой таких гибридов? Какие телята родятся от красного быка и гибридных коров из F_1 ?

Задача 2. Стандартные норки имеют коричневый мех, а алеутские — голубовато-серый. И те и другие — гомозиготны, при чем коричневая окраска доминирует. Какое потомство F_1 получится от скрещивания двух названных пород? Что получится в результате скрещивания между собой таких гибридов? Какой результат даст возвратное скрещивание алеутского отца с его гибридной дочерью?

Задача 3. У томатов ген, обуславливающий нормальный рост, доминирует над геном карликовости. Какого роста будут потомки F_1 от скрещивания гомозиготных высоких растений карликовыми? А какое потомство F_2 следует ожидать от скрещивания только что упомянутых гибридов? Какой результат даст возвратное скрещивание представителей F_1 с родительской формой карликового роста?

Задача 4. Иммунность (невосприимчивость) к головне у овса доминирует над поражаемостью этой болезнью. Какое потомство получится от скрещивания гомозиготных иммунных особей с растениями, поражаемыми головней? Что получится от скрещивания между собой таких гибридов? Какой результат даст возвратное скрещивание растений F_1 с этой родительской формой, которая лишена иммунитета?

Задача 5. Ген фертильности (т. е. способности к оплодотворению) метелки у кукурузы доминирует над геном ее ядерной стерильности. Какие метелки будут у кукурузы, полученной от скрещивания гомозиготных растений с фертильными метелками и растений со стерильными метелками? Что получится от скрещивания между собой таких гибридов? Какой результат даст возвратное скрещивание растений F_1 , с той родительской формой, которая имеет стерильные метелки?

Задача 6. У томатов ген, обуславливающий красный цвет плодов, доминирует над геном желтой окраски их. Какие по цвету, плоды окажутся у растений, полученных от скрещивания гомозиготных красноплодных растений с желтоплодными? Перечислите все формы, какие могут получиться от скрещивания одного и красноплодных представителей F_2 с F_1 . Что получится от скрещивания между собой желтоплодных представителей F_2 ?

Задача 7. У крупного рогатого скота ген комолости (т. е. безрогости) доминирует над геном рогатости. Какое потомство F_1 можно ожидать от

скрещивания рогатого быка с гомозиготными комолыми коровами? Каким будет потомство F_2 от скрещивания между собой таких гибридов? Какие телята могут родиться от комолого быка из поколения F_2 и гибридной коровы из поколения F_1 ? А от скрещивания между собой двух рогатых представителей поколения F_2 ?

Задача 8. Ген раннего созревания ячменя доминирует над позднеспелостью. Какими окажутся растения $F_в$ полученные в результате опыления гомозиготного раннеспелого растения пыльцой позднеспелого? Каким будет ячмень второго поколения F_2 ? А что может получиться от скрещивания одного из позднеспелых представителей F_2 с F_1 ?

Задача 9. У овса иммунитет к ржавчине доминирует над поражаемостью этой болезнью. Какими окажутся гибриды F_1 от скрещивания поражаемого ржавчиной овса с гомозиготным иммунным? Каким будет второе поколение F_2 ? Что получится, если скрестить между собой поражаемые ржавчиной растения из поколения F_2 ? Перечислите все формы, которые могут возникнуть от скрещивания одного из иммунных представителей F_2 с F_1 .

Задача 10. Зерно пшеницы может быть стекловидным или мучнистым, причем стекловидность является доминантным признаком. Какие зерна окажутся у гибридов F_1 от скрещивания гомозиготных растений со стекловидными зернами с растениями, имеющими мучнистые зерна? Какие растения получатся во втором поколении F_2 ? Какие зерна можно ожидать у растений, полученных от скрещивания одного из представителей поколения F_2 со стекловидными зернами с растением из F_1 ? Какой результат даст скрещивание между собой двух представителей F_2 с мучнистыми зернами?

Занятие 6. Дигибридное скрещивание

Цель занятия. Изучение закономерностей наследования признаков при дигибридном скрещивании. В процессе изучения закономерностей наследования осмыслить и понять законы Менделя.

Методические указания. Скрещивание животных, различающихся по двум парам признаков, называется дигибридным.

Селекционеры в своей работе пытаются соединить в потомстве несколько хозяйственно полезных признаков, т.е. ведут селекцию по двум и более признакам. Поэтому, изучение и знание закономерностей наследования и комбинирования признаков имеет большое практическое значение.

При дигибридном скрещивании, в котором получается наследование двух пар признаков, гены которых находятся в разных гомологичных парах хромосомах, на основе полного доминирования и независимого комбинирования признаков (генов) потомство первого поколения по фенотипу и генотипу однородное и имеет доминирующие признаки родителей.

При скрещивании между собой дигетерозигот первого поколения расщепление во втором поколении *по фенотипу* при полном доминировании в соотношении **9АВ:3Ав:3аВ:1ав** и *по генотипу* **1ААВВ:2АаВВ:2ААВв:4АаВв:1ааВВ:2ааВв:1ААвв:2Аавв:1аавв**.

Значит во втором поколении среди потомков 8 фенотипов и 9 генотипов.

Третий закон Менделя или закон независимого наследования неаллельных генов. При скрещивании двух гомозиготных особей, отличающихся друг от друга по двум парам альтернативных признаков, гены наследуются независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях. Третий закон Менделя применим лишь к наследованию аллельных пар, находящихся в разных парах гомологичных хромосом.

Анализ результатов скрещивания всегда начинать с определения типов гамет образуемых у родительских особей. Точное установление типов гамет помогает правильно провести генетический анализ.

При образовании половых клеток происходит мейоз, в процессе которого парные хромосомы и расположенные в них гены расходятся в две половые клетки и из каждой пары аллельных генов в гамету попадает только по одному гену.

Например, у дигетерозиготы АаВв образуется 4 типа гамет в равном соотношении по 25 % каждого типа – АВ:Ав:аВ:ав (закон частоты гамет – *четвертый закон Менделя*).

При решении задач на дигибридное скрещивание необходимо использовать графический метод – решетку Пеннета.

Применение такой решетки уменьшат возможность ошибок.

Решетка составляется соответственно количеству типов гамет у скрещиваемых животных. Гаметы родителей записывают в решетку Пеннета по вертикали и горизонтали, а на их пересечении в клетках решетки вписывают генотипы потомства.

Решение типовых задач.

Задание 1. Проводится скрещивание кобелей породы кокер-спаниель черной масти короткошерстных с суками коричневой масти длинношерстных. Получено потомство F₁ и F₂.

1. Каковы генотипы скрещиваемых родителей?
2. Фенотип и генотип потомков F₁?
3. Фенотип, и их соотношение в потомстве F₂.

В – черная масть, в – коричневая масть

А – короткошерстность, а – длинношерстность

Решение:

Р ♀ вваа × ♂ ВВАА

корич. масть черная масть
длин. шерсть короткая шерсть

г ВА ва

F₁ ВВаа × ВВаа черная масть короткошерстные дигетерозиготы (1 закон Менделя)

F₂

| | | | | |
|----|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ♂♀ | ВА | Ва | вА | ва |
| ВА | ВВАА черн. коротк. | ВВАа черн. коротк. | ВвАА черн. коротк. | ВвАа черн. коротк. |
| Ва | ВВАа черн. коротк. | ВВаа черн. длин. | ВвАа черн. коротк. | Вваа черн. длин. |
| вА | ВвАА черн. коротк. | ВвАа черн. коротк. | vvАА корич. коротк. | vvАа корич. коротк. |
| ва | ВвАа черн. коротк. | Вваа черн. длин. | vvАа корич. коротк. | vvаа корич. длин. |

Ответ:

Генотипы скрещиваемых родителей: гомозиготный доминантный ♂;
гомозиготный рецессивный ♀.

Фенотип потомков F₁ – черная масть и короткошерстность.

Генотип потомков F₁ – дигетерозиготы по генам масти и длины волосяного покрова.

В потомстве F₂ четыре фенотипа в соотношении:

9 – черная масть короткий волос ВВАА

3 – черная масть длинный волос ВВаа

3 – коричневая масть короткий волос vvАА

1 – коричневая масть длинный волос vvаа

Третий закон Менделя или закон независимого наследования неаллельных генов.

Задание 2. У крупного рогатого скота комолость (отсутствие рогов – Н) доминирует над рогатостью (н), черная масть (В) над красной (в). Локус Н локализован в первой хромосоме. Оба гена наследуются независимо.

Красных рогатых коров осеменили спермой гомозиготного комолого черного быка. В возрасте 1.5 лет телок первого поколения F₁ осеменили спермой комолого черного быка такого же генотипа, как у телок.

1. Определить генотип родителей.
2. Генотип и фенотип потомков F₁.
3. Генотип и фенотип потомков F₂. Соотношение генотипов и фенотипов.

Решение:

P ♀ ннvv × ♂ ННВВ

рогатые комолые
красная масть черная масть

г НВ нв

F₁ НнVv × НнVv комолые черные дигетерозиготы

F₂

| | | | | |
|----|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ♂♀ | НВ | Нв | нВ | нв |
| НВ | ННВВ комол черные | ННVv комол черные | НнВВ комол черные | НнVv комол черные |
| Нв | ННVv комол черные | ННvv комол красн. | НнVv комол черные | Ннvv комол красн. |
| нВ | НнВВ комол черные | НнVv комол черные | nnВВ рогатые черные | nnVv рогатые черные |
| нв | НнVv комол черные | Ннvv комол красн. | nnVv рогатые черные | nnvv рогатые красн. |

Генотипы:

ННВВ 1

ННVv 2

НнВВ 2

ННvv 1

НнVv 4

Ннvv 2

nnВВ 1

nnVv 2

nnvv 1

9 генотипов 4:2:2:2:1:1:1:1

комолых черных – 9 }
комолых красных – 3 } 12
рогатых черных – 3 }

12:4=3

3:1 соотношение (второй закон Менделя – закон расщепления)

рогатых красных - 1 4

Как объяснил результаты такого скрещивания Мендель? Он пришел к выводу, что две (или более) пары альтернативных признаков распределяются между собой совершенно независимо, т.е. обязательно передаются в F_2 вместе. Распределение неаллельных генов, полученных от родителей, носит случайный характер. При дигибридном скрещивании, при условии независимого расщепления неаллельных генов возникает четыре типа гамет. Если они при образовании зигот встречаются случайно, то число генных комбинаций организмов в F_2 должно быть равно 16.

Следует отметить, что получаемые в экспериментах результаты почти никогда полностью не совпадают с ожидаемым отношением. Гениальность Менделя состояла в том, что в реальных цифрах, полученных им в опытах на горохе, он смог увидеть не случайность, а закономерность поведения материальных факторов (генов) наследственности. Вся сложность трактовки результатов эксперимента заключается в том, что цифры, которыми оперировал Мендель, получены путем сложения результатов посемейного анализа, т.е. усреднения.

Задачи на дигибридное скрещивание.

Задача 1. У собак черная окраска шерсти (ген «В») доминирует над коричневой (ген «в»), а висячее ухо (ген «Н») – над стоячим (ген «н»). Гомозиготная черная самка с висячими ушами спарена с коричневым самцом со стоячими ушами. Каковы генотипы и фенотипы потомства первого и второго поколений?

Задача 2. У собак черная окраска (ген «В») доминирует над коричневой (ген «в»), а короткошерстность (ген «К») – над длинношерстностью (ген «к»). Коричневая самка была спарена с гомозиготным черным короткошерстным самцом. Составьте схему скрещивания и выясните фенотип и генотип потомков первого и второго поколений (второе поколение получено путем скрещивания особей первого поколения между собой).

Задача 3. У морских свинок черная окраска шерсти (ген «В») доминирует над белой (ген «в»), а короткая шерсть (ген «К») – над длинной – (ген «к»). Гомозиготные черные длинношерстные животные были спарены с гомозиготными короткошерстными белыми. Определите генотип и фенотип потомства в F_1 и F_2 (F_2 получено от спаривания животных F_1 между собой).

Задача 4. У крупного рогатого скота ген комолости К доминирует над геном к, определяющим наличие рогов. Каков генотип рогатых и комолых животных? Какое потомство можно ожидать от скрещивания комолых коров с рогатым быком; двух комолых животных? Можно ли ожидать появления в потомстве комолых особей от скрещивания рогатого быка и рогатой коровы?

Задача 5. У крупного рогатого скота ген комолости (К) доминирует над геном рогатости (к). Какое потомство F₁ можно ожидать от скрещивания рогатого быка с гомозиготными комолыми коровами? Каким будет потомство F₂ от скрещивания между собой таких гибридов? Какие телята могут родиться от гомозиготного комолого быка из поколения F₂ и гибридной коровы из поколения F₁? А от скрещивания между собой двух рогатых представителей из поколения F₂?

Занятие 7. Наследование признаков при тригибридном скрещивании

Цель занятия. Изучение закономерностей наследования признаков при тригибридном скрещивании. В процессе изучения закономерностей наследования осмыслить и понять законы Менделя.

Методические указания.

Тригибридное скрещивание – это скрещивание организмов различающихся по трем парам контрастных или альтернативных признаков. При тригибридном скрещивании при условии полного доминирования все потомки первого поколения F₁ по фенотипу и генотипу однородные (одинаковые) и наследуют доминантные признаки материнской или отцовской форме. По генотипу тригетерозиготные.

Расщепление по фенотипу и генотипу во втором поколении F₂ имеет сложный характер, так как у гибридов первого поколения F₁ образуется 8 типов гамет, которые сочетаясь друг с другом при оплодотворении дают 64 комбинации, включающие 8 фенотипичных групп и 27 генотипов. При условии полного доминирования каждый признак наследуется независимо друг от друга в соотношении 3Д:1Р (доминанта:рецессив).

Образование типов гамет, у животных имеющих следующие генотипы:

1.

ААВВСС

ааВВСС

ААввсс

АВС

аВС

Авс

Гомозиготы - 1 тип гамет (любая гомозигота, образует 1 тип гамет)

2.

АаВВСС

ААввСс

АВС аВС

АвС Авс

Гетерозиготы в одной паре - 2 типа гамет

3.

АаВВСс

АВС АВс аВС аВс

Гетерозиготы в двух парах – 4 типа гамет

4.

АаВвСс

АВС АВс АвС Авс аВС авС аВс авс

Гетерозиготы в трех парах – 8 типов гамет

Решение типовой задачи.

Задача. Проводится скрещивание быков производителей комолых высокомолочных, низкожирномолочных с коровами рогатыми низкомолочными и высокожирномолочными. Получено потомство первого и второго поколений F_1 и F_2 .

Определить:

1. Генотипы исходных скрещиваемых родителей.
2. Фенотип и генотип потомков F_1
3. Количество и соотношение фенотипов в потомстве F_2
4. Количество фенотипов с новым сочетанием родительских признаков в потомстве F_2 и их соотношения.
5. Количество и соотношение генотипов в потомстве F_2 .

A – комолые a – рогатые

B – высоко молочные b – низкомолочные

C – низкая жирномолочность c – высокая жирность молока

1. Генотипы исходных родителей

P ♀ aаввсс ♂ AABVСС

Родители гомозиготные

2. P ♀ aаввсс × ♂ AABVСС

комолые рогатые
 высокая молочность низкая молочность
 низкая жирность высокая жирность
 г ABC авс

F_1 AaBbCc AaBbCc

Поколение F_1 получили тригетерозиготное потомство (генотип).

По фенотипу – комолые, высокомолочные и низкожирномолочные (однородные). 1 закон Менделя.

3. F_1 ♂ AaBbCc × ♀ AaBbCc

F_2

| ♂♀ | ABC | ABc | AbC | Abc | aBC | aBc | abC | abc |
|-----|---|--|---|---|--|---|---|---|
| ABC | AABBC ком. высоком. низкожир | AABbCc ком. высоком. низкожир. | AABbCC ком. высоком. низкожир | AABbCc ком. высоком. низкожир. | AaBBCC ком. высоком. низкожир | AaBBCc ком. высоком. низкожир. | AaBbCC ком. высоком. низкожир | AaBbCc ком. высоком. низкожир. |
| ABc | AABbCc ком. высоком. низкожир | AABbcc ком. высоком. высокожир | AABbCc ком. высоком. низкожир | AABbcc ком. высоком. высокожир | AaBBCc ком. высоком. низкожир | AaBBcc ком. высоком. высокожир | AaBbCc ком. высоком. низкожир | AaBbcc ком. высоком. высокожир. |
| AbC | AABbCC ком. высоком. низкожир. | AABbCc ком. высоком. низкожир. | AAbbCC ком. низком. низкожир | AAbbCc ком. низком. низкожир | AaBbCC ком. высоком. низкожир. | AaBbCc ком. высоком. низкожир. | AabbCC ком. низком. низкожир | AabbCc ком. низком. низкожир |
| Abc | AABbCc ком. высоком. низкожир. | AABbcc ком. высоком. высокожир. | AAbbCc ком. низком. низкожир | AAbbcc ком. низком. высокожир. | AaBbCc ком. высоком. низкожир. | AaBbcc ком. высоком. высокожир. | AabbCc ком. низком. низкожир | Aabbcc ком. низком. высокожир. |
| aBC | AaBBCC ком. высоком. низкожир. | AaBBCc ком. высоком. низкожир. | AaBbCC ком. высоком. низкожир. | AaBbCc ком. высоком. низкожир. | aaBBCC рогатые высоком. низкожир. | aaBBCc рогатые высоком. низкожир | aaBbCC рогатые высоком. низкожир | aaBbCc рогатые высоком. низкожир |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|--|--|---|--|---|---|
| aBc | AaBBcc ком. высоком. низкожир. | AaBBcc ком. высоком. высокожир. | AaBbCc ком. высоком. низкожир. | AaBbcc ком. высоком. высокожир. | aaBBcc рогатые высоком. низкожир | aaBBcc рогатые высоком. высокожир. | aaBbCc рогатые высоком. низкожир | aaBbcc рогатые высоком. высокожир. |
| авС | AaBbCC ком. высоком. низкожир. | AaBbCc ком. высоком. низкожир. | AaabbCC ком. низком. низкожир | AaabbCc ком. низком. низкожир | aaBbCC рогатые высоком. низкожир | aaBbCc рогатые высоком. низкожир | aaabbCC рогатые низком. низкожир | aaabbCc рогатые низком. низкожир |
| авс | AaBbCc ком. высоком. низкожир. | AaBbcc ком. высоком. высокожир. | AaabbCc ком. низком. низкожир | Aaabbcc ком. низком. высокожир. | aaBbCc рогатые высоком. низкожир | aaBbcc рогатые высоком. высокожир. | aaabbCc рогатые низком. низкожир | aaabbcc рогатые низкомол. высокожирн. |

Количество фенотипов:

Комолые высокомолочные низкожирные – 27 Комолые высокомолочные высокожирные – 9

Комолые низкомолочные низкожирные – 9

Комолые низкомолочные высокожирные – 3

Рогатые высокомолочные низкожирные – 9

Рогатые высокомолочные высокожирные – 3

Рогатые низкомолочные низкожирные – 3

Рогатые низкомолочные высокожирные – 1

8 фенотипов 3:1

Генотипы:

AABBCC – 1

AaBBcc – 4

aaBBCC – 1

aaabbCc – 2

AABBcc – 2

AaBbCc – 2

AaabbCc – 4

aaabbcc – 1

AABbCc – 1

AaBbCC – 4

aaBBcc – 2

aaBBCC – 1

AABbCC – 2

AaBbcc – 2

Aaabbcc – 2

AABbCc – 4

Aaabbcc – 1

aaBbBB – 2

AaBBCC – 2

AaBbCc – 8

aaBbcc – 1

AaBbcc – 2

AaBbcc – 4

aaBbCc – 4

AaBBCC – 1

AaabbCC – 2

aaBbcc – 2

27 генотипов в соотношении 8:4:4:4:4:4:2:2:2:2:2:2:2:2:2:2:2:1:1:1:1:1:1:1

Занятие 8. Наследование признаков при взаимодействии неаллельных генов. Новобразование.

У сельскохозяйственных животных выявлены все формы взаимодействия неаллельных генов: новообразование, комлементарность, эпистаз, криптомерия, полимерия.

Гены, влияющие на развитие признака, локализованные в разных парах гомологичных хромосом, называются неаллельными.

Цель занятия. Уяснить характер и закономерность наследования признаков при новообразовании. При решении задач провести генетический анализ по соотношению фенотипов и генотипов среди потомков F_1 и F_2 .

Методические указания. *Новообразованием* называется такой тип взаимодействия неаллельных генов, при котором два доминантных гена сливаясь в одном организме взаимодействуют между собой образуя новый признак или форму признака.

Новообразование как тип взаимодействия неаллельных генов установлено в начале 20 века при изучении наследования формы гребня у кур, среди которых встречаются следующие формы гребня, характерные для определенных пород:



1. Гребень розовидной формы – низкий, основание покрыто сосочками и заостренный сзади (породы белые виандоты и плимутрок), генотип: $RRpp$ и $Rrpp$.

Рис. 11 – розовидный гребень



2. Гребень гороховидный или стручковидной – невысокий трехпластинчатый (породы европейского происхождения – корниш), генотип: $rrPP$, $rrPp$.

Рис. 12 – гороховидный гребень

3. Гребень листовидной формы или простой формы (леггорн и русская белая), генотип: $grrr$.



Рис. 13 – Простой гребень

Новообразование состоит в том, что:



- Взаимодействие двух доминантных независимо наследуемых неаллельных генов – R и P приводит к образованию ореховидной формы гребня генотипа $R.P.$ у потомков F_1 .

Рис. 14 – Ореховидный гребень

- А взаимодействие двух рецессивных независимо наследуемых неаллельных генов- r и p – дает листовидный гребень генотипа $grrr$, которых не было у исходных родительских форм.

В F_2 среди потомков 4 фенотипа в соотношении **9:3:3:1** и, следовательно, каждая пара аллелей ведет себя в наследовании независимо друг от друга и значит гены R и P и их рецессивные аллели r и p локализованы в 2-х разных парах хромосом, но их действие является взаимосвязанным:

Решение типовой задачи.

Задача 1. При скрещивании кур породы плимутрок, имеющих розовидную форму гребня, с петухами породы корниш, имеющими гороховидный гребень, получено потомство F_1 и F_2 .

1. Каковы генотипы родительских форм?
2. Каковы фенотипы и генотипы потомков F_1 ?
3. Каковы фенотипы и их соотношение в потомстве F_2 ?

R – розовидный гребень

r – простой гребень

P – гороховидный гребень

p – простой гребень

P плимутрок

корниш

♀ RRpp

×

♂ rrPP

г Rр

rP

F_1 RrPp

×

RrPp ореховидный гребень

F_2

| ♂/♀ | RP | Rp | rP | rp |
|-----|---------------|----------------|----------------|-----------------|
| RP | RRPP орех. | RRPp орех. | RrPP орех. | RrPp орех. |
| Rp | RRPp орех. | RRpp розов. | RrPp орех. | Rrpp розов. |
| rP | RrPP орех. | RrPp орех. | rrPP горох. | rrPp горох. |
| rp | RrPp орех. | Rrpp розов. | rrPp горох. | rrpp простой |

Генотипы родителей – куры плимутрок – гомозиготы доминанты по гену R и рецессивы по гену r, петухи породы корниш – рецессивны по гену r и гомозиготы доминанты по гену P. Потомки F_1 имеют гороховидный гребень и их генотип гетерозиготный R.P. Среди потомков F_2 четыре фенотипа в соотношении:

9 – ореховидный гребень R.P. 3 – розовидный гребень R.pp 3 – гороховидный гребень rrP.
1 – простой гребень rrp

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Укажите количество и соотношение фенотипов и генотипов среди потомства F_1 , полученных от скрещивания родителей, имеющих фенотипы и генотипы:

- | | | |
|--------------------------------|---|------------------------------|
| 1. ореховидный гребень RRPp | × | гороховидный гребень rrPp |
| 2. простой гребень rrpp | × | ореховидный гребень RrPp |
| 3. ореховидный гребень RRPp | × | розовидный гребень Rrpp |
| 4. розовидный гребень Rrpp | × | гороховидный гребень rrPp |
| 5. розовидный гребень Rrpp | × | розовидный гребень Rrpp |

6. гороховидный гребень \times гороховидный гребень
 $rrPp$ \times $rrPp$

Задача 2. У кур розовидная форма гребня контролируется геном R, гороховидная геном – R, а листовидная их рецессивными аллелями r и p. От курицы с ореховидным гребнем получено: $\frac{3}{8}$ потомков с розовидным гребнем, $\frac{3}{8}$ с ореховидным гребнем, $\frac{1}{8}$ с гороховидным гребнем, $\frac{1}{8}$ в листовидным гребнем. Отец цыплят имел розовидный гребень. Составьте схему скрещивания и определите генотипы родителей и их потомков.

Задача 3. Проводится скрещивание кроликов породы «Тюрингенская», имеющая желтый окрас меха, с кроликом породы «Гаванна», имеющих шоколадно-коричневый окрас меха. Получено потомство F_1 и F_2 .

Определить:

1. Генотипы спариваемых родителей?
2. Фенотип и генотип потомков F_1 .
3. Фенотип и их соотношение среди потомков F_2 .

B – образование черного пигмента, но в присутствии гена E.

E – распространение черного пигмента по всему телу, но в присутствии гена B.

b – ослабляет интенсивность черной пигментации, что и приводит к появлению шоколадно-коричневого окраса меха в присутствии гена E.

e – ослабляет черную окраску волоса до желтой при гене B, а при гене b до оранжевой, т.е.

Задача 4. Курицы, имеющие ореховидный гребень, при скрещивании с петухами, имеющие простой гребень в F_1 дали потомство:

$\frac{1}{4}$ – с ореховидным гребнем

$\frac{1}{4}$ - с розовидным гребнем

$\frac{1}{4}$ – с гороховидным гребнем

$\frac{1}{4}$ – с простым гребнем

Каковы генотипы родителей? Количество фенотипов и генотипов и их соотношение среди потомства F_1 .

Задача 5. Курицы, имеющие розовидный гребень, при скрещивании с петухами, имеющие гороховидный гребень в F_1 дали потомство:

$\frac{1}{4}$ – с ореховидным гребнем

$\frac{1}{4}$ - с розовидным гребнем

$\frac{1}{4}$ – с гороховидным гребнем

$\frac{1}{4}$ – с простым гребнем

Каковы генотипы родителей? Количество фенотипов и генотипов и их соотношение среди потомства F_1 .

Задача 6. Производится скрещивание кур чистой линии с розовидными гребнями (ген R) с курами чистой линии с гороховидными гребнями (ген R). У всех F_1 оказываются ореховидные гребни. При скрещивании двух F_1 с ореховидными гребнями получится F_2 с соотношением 9 (ореховидные):3

(розовидные):3 (гороховидные):1 (простой). Объясните полученные результаты на основе схемы скрещивания.

Задача 7. У кур ген R определяет розовидную форму гребня, ген P – гороховидную. Наличие двух доминантных генов приводит к появлению ореховидного гребня, всех рецессивных – листовидного. Трех петухов с ореховидными гребнями скрестили с курами с простыми гребнями. В одном случае все потомство имело ореховидные гребни. В другом случае у одного потомка был простой гребень. В третьем случае у части потомства были ореховидные гребни, а у части потомства – гороховидные. Каковы генотипы родителей и всех вышеупомянутых потомков?

Задание 8. У кур ген R определяет розовидную форму гребня, ген P – гороховидную. Наличие двух доминантных генов приводит к появлению ореховидного гребня, всех рецессивных – листовидного. При скрещивании особи с гороховидным гребнем с особью с розовидным гребнем все гибриды F₁ имеют ореховидный гребень. Какое потомство по фенотипу и генотипу будет получено при скрещивании таких особей из F₁ между собой и в случае скрещивания с гомозиготной особью, имеющей розовидный гребень?

Задача 9. У кур гороховидный гребень контролируется геном P, розовидный – геном R, а простой (листовидный) – их рецессивными аллелями p и r. Наличие двух доминантных генов приводит к появлению ореховидного гребня. Какие гребни будет иметь потомство, полученное от сочетания родительской пары RrPp x RrPp? Выясните это, используя решетку Пеннета. С каким типом взаимодействия генов мы имеем здесь дело?

Задача 10. У кур гороховидный гребень контролируется геном P, розовидный – геном R, а простой (листовидный) – их рецессивными аллелями p и r. Наличие двух доминантных генов приводит к появлению ореховидного гребня. Какие гребни будет иметь потомство, полученное от сочетания родительской пары RrPp x Rrrp? С каким типом взаимодействия генов мы имеем здесь дело?

Задача 11. У кур гороховидный гребень контролируется геном P, розовидный – геном R, а простой (листовидный) – их рецессивными аллелями p и r. Наличие двух доминантных генов приводит к появлению ореховидного гребня. Какие гребни будет иметь потомство, полученное от сочетания родительской пары RRPp x rrPp? С каким типом взаимодействия генов мы имеем здесь дело?

Задача 12. При скрещивании кур, имеющих гребень розовидной формы, с петухами, гребень которых гороховидный, получено 18 потомков с ореховидным гребнем, 15 – с розовидным, 11 – с гороховидным и 12 – с простым (листовидным). Розовидная форма гребня у кур контролируется геном R, гороховидная – геном P, а листовидная – их рецессивными аллелями. Наличие двух доминантных генов приводит к появлению ореховидного гребня. Определите генотипы родителей, генотипы и фенотипы потомков.

Задача 13. У кур розовидная форма гребня контролируется геном R, гороховидная – геном P, листовидная – их рецессивными аллелями r и p. Наличие двух доминантных генов приводит к появлению ореховидного гребня. При скрещивании кур, имеющих ореховидный гребень, с петухами, имеющими листовидный гребень, 50 % потомков имели ореховидный гребень и 50 % – розовидный. Определите генотипы родителей, составьте схему скрещивания и определите генотипы и фенотипы потомков.

Занятие 9. Наследование признаков при взаимодействии неаллельных генов. Крптомерия.

Цель занятия. Уяснить характер и закономерность наследования признаков при крптомерии. При решении задач провести генетический анализ по соотношению фенотипов среди потомков F₁ и F₂.

Методические указания. Крптомерия – для развития и проявления серой окраски волосяного покрова или агути у мышей, кроликов, овец, кур и других видов животных необходимо наличие в генотипе 2-х доминантных неаллельных генов A и B, выполняющих разное функциональной действие, а именно:

A – контролирует образование черного пигмента или меланина

a – черный пигмент не образуется

B – неравномерное или зонарное распределение черного пигмента по длине волоса – агути 

b – равномерное распределение черного пигмента по длине волоса – черная масть. 

Решение типовой задачи.

Задача. Гнедая масть лошадей проявляется при наличие в генотипе гена вороной масти B, а при рецессивном аллеле b – рыжая масть.

Ген B – контролирует образование черного пигмента

Ген b – образование коричневого пигмента

Ген A – ограничивает образование черного пигмента на отдельных участках тела и по длине волоса (появляется зональность).

Локус A – имеет четыре аллеля A⁺ > A > a^t > a.

Аллель A⁺ - обуславливает масть дикой лошади Пржевальского

Аллель A – гнедая масть домашней лошади (A.B.) при наличие в генотипе гена вороной масти B.

Аллель a^t – караковая масть (a^ta^tB.) при наличие в генотипе гена вороной масти B.

Аллель a – вороная масть при генотипе aaB.

Генотип вороной лошади – гомозигота рецессив по гену a и гомозигота доминант по гену вороновой масти B, т.е. aaBB и aaBb.

Генотип рыжих лошадей – гомозигота доминант по гену A и гомозигота рецессив по гену b, т.е. AAbb и Aabb.

При скрещивании вороных кобыл с рыжими жеребцами рождались жеребята гнедой масти. Каковы генотипы родителей? Какое расщепление по фенотипу следует ожидать при скрещивании гибридов F₁ гнедой масти.

Решение:

Р ♀ aaBB × ♂ AAbb
 вороная масть рыжая масть
 г аВ АВ
 F₁ AaBb – гнедая масть

Р ♀ AaBb × ♂ AaBb
 F₂

| | | | | | |
|--------|----|--------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| ♀ ♂ | ♀ | AB | Ab | aB | ab |
| AB | AB | AABB гнед | AABb гнед | AaBB гнед | AaBb гнед |
| Ab | Ab | AABb гнед | AAbb рыжая | AaBb гнед | Aabb рыжая |
| aB | aB | AaBB гнед | AaBb гнед | aaBB вор ⁺ | aaBb вор ⁺ |
| ab | ab | AaBb гнед | Aabb рыжая | aaBb вор ⁺ | aabb рыжая |

В F₂ три фенотипа в соотношении:

9 – гнедая масть A.B.

3 – вороная масть aaB.

4 – рыжая масть A.вв и aавв (3 и 1).

Вывод: при криптомержном взаимодействии неаллельных генов расщепление по фенотипу в F₂ получается **9:3:4**.

Задачи для самостоятельной работы.

Задача 1. У собак породы доберман-пинчер окраска шерсти обуславливается генами B, b, D, d. Ген B – вызывает черную окраску волоса, а его аллель b – кофейную.

Ген D – контролирует интенсивность окраски и при его наличии в генотипе волос полностью пигментирован. Его аллель d – ослабляет интенсивность окраски волоса и при этом развивается голубая окраска волоса разных оттенков в зависимости от наличия в генотипе гена B или b. Проведено скрещивание сук, имеющих голубой окрас волоса и гомозиготный генотип BBdd с кобелями кофейного окраса волоса и гомозиготного генотипа – bbDD.

Получено потомство F₁ и F₂.

Определите:

1. Фенотип и генотип потомков F₁.
 2. Фенотипы и их соотношение среди потомков F₂.
- B – черная окраска волоса
 b – кофейная окраска волоса
 D – интенсивность окраски волоса
 d – ослабитель окраски волоса.

Задача 2. В кролиководческом хозяйстве проводится скрещивание кроликов черной масти с крольчихами белой масти. Получено потомство F_1 и F_2 .

Каковы генотипы скрещиваемых родителей? Каков генотип и фенотип потомков F_1 ? Количество и соотношение фенотипов среди потомства F_2 .

А – образование меланина.

а – меланин не образуется.

В – способствует неравномерному распределению меланина по волосу (зонарное).

в – равномерное распределение меланина по волосу (черное).

Задача 3. Овцематки с белой окраской шерсти скрещиваются с баранами черной окраски шерсти. Каковы генотипы спариваемых родителей? Каким будет расщепление по фенотипу среди потомства F_1 и F_2 и их соотношение?

А – черная шерсть, а – белая шерсть.

В – неравномерное или зонарное распределение меланина по длине волоса.

в – равномерное распределение меланина по волосу.

Задача 4. Проводится скрещивание петухов породы светлая брама с курами породы белый плимутрок, которые генетически разные с учетом взаимодействия неаллельных доминантных и рецессивных генов, выполняющих разную функцию.

Получено потомство F_1 и F_2 .

Определить: генотипы спариваемых родителей; фенотип и генотип потомков F_1 ; фенотипы и их соотношение среди потомства F_2 .

Функция генов:

А – образование специфического белка

а – нет специфического белка

В – образование специфического фермента

в – нет специфического фермента.

Задача 5. В зверхозяйстве проводится скрещивание кроликов голубой масти с крольчихами белой масти. Получено потомство F_1 и F_2 .

Каковы генотипы исходных родителей? Каков фенотип и генотип в потомстве F_1 .

Количество и соотношение фенотипов в потомстве F_2 .

В – образование меланина

в – меланин не образуется

А – контролирует интенсивность окраски волоса и при его наличии в генотипе волос полностью пигментирован.

а – ослабляет пигментацию волоса до голубого окраса при наличии в генотипе доминантного гена В или рецессивного гена в.

Задача 6. Проводится скрещивание хряков, имеющих песчаную щетину с матками, имеющих белую щетину. Каковы генотипы родителей? Каков фенотип и генотип в потомстве F_1 .

Количество и соотношение фенотипов в потомстве F_2 .

А – образование красного пигмента; а – нет пигмента.
 В – равномерное распределение пигмента по длине волоса (красная щетина);
 в – неравномерное распределение пигмента по длине волоса (песчаная щетина).

Занятие 10. Наследование признаков при комплементарном взаимодействии неаллельных генов.

Цель занятия. Уяснить характер и закономерность наследования признаков при комплементарном взаимодействии неаллельных генов. При решении задач провести генетический анализ по соотношению фенотипов и генотипов среди потомков F₁ и F₂.

Методические указания. Комплементарность – для развития и проявления нового признака необходимо наличие в генотипе и их совместное действие двух доминантных неаллельных генов, а в отдельности они не имеют самостоятельного фенотипического действия.

В потомстве F₂ два фенотипа в соотношении 9:7.

Функциональное действие доминантных и рецессивных неаллельных генов при комплементарной форме взаимодействия неаллельных генов:

А – образование белка а – белок не образуется

В – образование фермента в – фермент не образуется

Решение типовой задачи.

Задача. В зверхозяйстве проводится скрещивание генотипически разных кроликов, имеющих белый окрас волосяного покрова.

Определить генотипы спариваемых родителей с учетом функции генов.

Каковы фенотипы и их соотношение среди потомков F₁ и F₂.

А – образование белка (пигмента)

а – белок не образуется

В – образование фермента (способен к образованию пигмента)

в – фермент не образуется

Решение:

P ♀ ААвв × ♂ ааВВ белый окрас волоса

г Ав аВ

F₁ АаВв

P ♀ АаВв × ♂ АаВв агути (серая)

F₂

| ♂ \ ♀ | АВ | Ав | аВ | ав |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| АВ | ААВВ серая | ААВв серая | АаВВ серая | АаВв серая |
| Ав | ААВв серая | ААвв белая | АаВв серая | Аавв белая |
| аВ | АаВВ серая | АаВв серая | ааВВ белая | ааВв белая |
| ав | АвВв серая | Аавв белая | ааВв белая | аавв белая |

Ответ:

Генотипы скрещиваемых родителей:

Самцы – гомозиготный доминантный по гену А и гомозиготный рецессивный по гену в;

Самки - гомозиготный рецессивный по гену а и гомозигота доминантный по гену В.

Среди потомков F_1 один фенотип и один генотип – агути и гетерозиготный генотип.

Среди потомков F_2 два фенотипа в соотношении:

9 агути А.В.

7 белый окрас волоса, в т.ч. с учетом взаимодействующих генов в генотипе

3А.вв:3ааВ.:1аавв

Итак, 2 фенотипа – 9 агути А.В.

7 белые, в т.ч. 3 – А.вв

3 – ааВ.

1 – аавв

Задачи для самостоятельной работы.

Задача 1. При спаривании кур породы белые минорки с петухами породы белые шелковистые потомство F_1 имеет окрашенное оперение и от их скрещивания получено потомство F_2 .

Определите:

1. Генотипы спариваемых родителей.

2. Фенотипы и их соотношение среди потомков F_1 и F_2

3. Соотношение фенотипов среди потомков F_2 белого оперения с учетом взаимодействия доминантных и рецессивных генов.

С – образование пигмента (меланина)

с – пигмент не образуется

О – способствует образованию пигмента и его проявлению

о – не способствует образованию пигмента и его проявлению

Задача 2. У человека нормальное зрение обуславливается наличием в генотипе неаллельных доминантных генов К и Р, а врожденная слепота наличием в генотипе рецессивных генов к или р.

Созданы семьи, в которых родители слепые, а их дети имеют нормальное зрение.

Определите генотипы родителей и их детей.

От брака юношей и девушек, происходящих из таких семей, рождались зрячие и слепые дети.

Определите фенотипы и генотипы родителей, фенотипы и их соотношение среди детей F_2 .

К – нормальное зрение к – слепота

Р – нормальное зрение р – слепота

Задача 3. У кур инстинкт насиживания обуславливается неаллельным доминантными генами А и В, а отсутствие инстинкта насиживания рецессивными генами а и в.

Проводится скрещивание кур, имевших признак насиживания с петухами, не имевших признак насиживания. У потомков F_1 инстинкт насиживания проявляется и от их скрещивания получено потомство F_2 .

Определить:

- генотипы исходных родителей

- генотипы потомков F_1

- фенотипы и их соотношение в F_2 .

A – инстинкт насиживания, а – отсутствие инстинкта насиживания, B – инстинкта насиживания, b – отсутствие инстинкта насиживания.

Задача 4. При скрещивании тутового шелкопряда багдадской породы, гомозиготной по белой окраске коконов с киргизкой белококонной породы гомозиготной по белой окраске коконов, в F_1 получено потомство, дающее все коконы желтого цвета.

Определить генотипы родительских форм. Чем можно объяснить появление окрашенных коконов в F_1 ? Какие фенотипы потомства и их соотношения ожидаются в F_2 ?

Функция генов.

A – образование пигмента, а – нет пигмента

B – способствует проявления пигмента фенотипически, b – не способствует проявлению пигмента фенотипически.

Задача 5. У норок две рецессивные мутации обуславливающие платиновую окраску меха:

- серебристо-голубая платиновая, генотип rr, окраска опушения однородная голубовато-серая, ость жемчужно-серая или серебристо-голубая, голубовато-серая или небесно-голубая, хвост и ноги более темного цвета и в целом они светлые, средние, темные.

- имперская платиновая, генотипа OO и по окраске меха не отличаются от серебристо-голубой норки.

При скрещивании этих норок потомство F_1 имеет коричневую окраску меха, а в F_2 – 38 коричневых и 26 платиновых норок.

Составьте схему скрещивания с получением норок F_1 и F_2 и проведите генетический анализ с определением:

- аллельны ли гены этих окрасок меха?

- какое скрещивание следует провести для проверки вашего предположения?

- как наследуются указанные окраски меха?

Функция генов:

R – стандартный ген, обуславливающий коричневый окрас меха,

r – мутантный ген, обуславливающий у серебристо-голубых норок голубовато-серую окраску меха.

O – стандартный ген, обуславливающий коричневый окрас меха,

o – мутантный ген, обуславливающий у имперской платиновой норки голубовато-серую окраску меха.

Задача 6. Скрещиваются между собой алеутские темнокоричневые (aaPP) и серебристо-голубые (AApp) норки. В каком количестве в F_2 будет получено сапфировых, то есть голубых (aapp), алеутских (aaP...), серебристо-голубых (A... rr) и стандартных коричневых (A...P...) норок? Составьте схему скрещивания и определите соотношение генотипов в F_2 .

Задача 7. Скрещиваются между собой норки рояль-пастель, то есть светло-коричневые (QQbb), и зеленоглазая пастель (qqBB), то есть светло-коричневая с песочным оттенком. Сколько будет получено в F_2 потомков:

Q...В... (стандартных), qqВ... (зеленоглазая пастель), Q...bb (рояль-пастель) и qqbb (зелено-пастель или американский топаз), имеющих светлорыжевую окраску, которых можно разводить «в себе» без расщепления?

Задача 7. У норки известны два разных рецессивных гена r и i , каждый из которых или оба одновременно в гомозиготном состоянии обуславливают платиновую окраску меха. При наличии доминантных аллелей R и I получается дикая рыжеватая окраска. При каком типе скрещивания двух платиновых норок все потомство первого поколения будет рыжеватым? Укажите ожидаемое расщепление по фенотипу во втором поколении от скрещивания особей первого поколения между собой.

Задача 8. Платиновая окраска у висконсинских норок обуславливается геном R , у орегонских – геном I , рецессивные гены r и i также обуславливают платиновую окраску. Рыжеватая окраска проявляется только при наличии в генотипе двух доминантных неаллельных генов. При скрещивании гомозиготных платиновых висконсинских норок с орегонскими получено 19 щенков. От скрещивания их между собой получено 96 щенят. Напишите схемы, определите генотипы и фенотипы особей. Сколько из полученных щенков будут платиновыми и рыжеватыми?

Занятие 11. Наследование признаков при взаимодействии неаллельных генов. Эпистаз.

Цель занятия. Ознакомиться с наследованием признаков при эпистатическом взаимодействии неаллельных генов.

Методические указания. Эпистаз – взаимодействие неаллельных генов, когда доминантный или рецессивный ген одной пары аллелей подавляет действие доминантного или рецессивного гена другой пары аллелей.

Ген, подавляющий действие другого гена, называют *эпистатическим* или *ингибитором*, или *супрессором*, а подавляемый ген – гипостатическим. Например, AA и BB , ген A эпистатичен по отношению к гену B , т.е. $A > B$ т ген B гипостатичный.

При разных видах доминирования аллельных генов наличие доминантной аллели определяет наличие рецессивной аллели – A и a , B и b , так и эпистаз (ген-подавитель) определяет наличие гипостаза (ген-подавляемый) между неаллельными парами генов. При этом эпистатическим геном может быть доминантная или рецессивная аллель.

Эпистаз широко распространен в животном мире и разнообразен в своем проявлении.

Имеется два вида эпистаза – доминантный и рецессивный.

При доминантном эпистазе эпистатическим геном или ингибитором, или супрессором является доминантный ген, обозначаемый $A > B$ или $C > B$ или $A > b$ или $C > b$.

При этом эпистазе среди потомков F_2 могут быть два типа расщепления 12:3:1 или 13:3, т.е. три фенотипа или два фенотипа.

При рецессивном эпистазе эпистатическим геном является рецессивный ген в двойной гомозиготной рецессивной форме $aa>B$, $aa>bb$, $cc>B$, $cc>bb$.

Рецессивный ген может проявить свое эпистатическое действие только в гомозиготном состоянии – aa , cc иначе его действие будет подавлено доминантным аллелем и эпистаз не проявится.

Комплиментарную форму взаимодействия неаллельных генов можно представить и как рецессивный эпистаз.

Например, при скрещивании черных и белых кроликов генотипа $AAVv \times aaBB$ в F_2 рецессивная аллель «а» в гомозиготном состоянии aa не позволяет проявиться ни черной окраске, ни окраске агути, т.е. подавляет их $aa>B$ и $aa>bb$ – что и обуславливает расщепление 9 агути $A.V.$, 3 черных $A.bb$ и 4 белых $aaB.$ и $aabb$.

Решение типовой задачи.

Задача 1. На конном заводе скрещивали жеребцов серой масти с кобылами рыжей масти орловской породы. Получено потомство F_1 и F_2 . Каковы генотипы спариваемых особей? Каковы генотипы и фенотипы потомков F_1 ? Определить фенотипы и их соотношение среди потомков F_2 . Какое потомство можно ожидать от скрещивания кобыл из F_1 с рыжим жеребцом?

C – ген серой масти и он подавляет проявление гена вороной масти B и гена рыжей масти b , т.е. $C>B$ и $C>b$.

c – ген рыжей масти

B – ген вороной масти b – ген рыжей масти.

Вороная и рыжая масти развиваются только при отсутствии в генотипе гена C , т.е. при генотипе $ccB.$ и $ccb.$

Итак, генотип жеребцов серой масти гомозиготный доминантный по генам C и B , т.е. $CCBB$, а кобыл рыжей масти рецессивный $ccbb$.

Решение:

$P \quad \text{♀ } ccbb \times \text{♂ } CCBB$

рыжая серая масть

$g \quad cb \quad \quad ab$

$F_1 \quad \quad \quad CcBb$ – дигетерозиготы (серая масть)

$P \quad \text{♀ } CcBb \times \text{♂ } CcBb$

F_2

| $\text{♂} \backslash \text{♀}$ | CB | Cb | cB | cb |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| CB | $CCBB$ серая | $CCBb$ серая | $CcBB$ серая | $CcBb$ серая |
| Cb | $CCBb$ серая | $CCbb$ серая | $CcBb$ серая | $Ccbb$ серая |
| cB | $CcBB$ серая | $CcBb$ серая | $ccBB$ вороная | $ccBb$ вороная |
| cb | $CcBb$ серая | $Ccbb$ серая | $ccBb$ вороная | $ccbb$ рыжая |

Ответы: среди потомков F_1 один фенотип – серая масть, т.к. ген С эпистатирует или подавляет действие гена вороной масти В. Все потомки гетерозиготного генотипа. Среди потомков F_2 3 фенотипа:

Серая масть – 12, в т.ч. 9 С.В. и 3 С.вв

Воронья масть – 3 ссВ.

Рыжая масть – 1 ссвв

P ♀ СсВв × ♂ ссвв

серая рыжая масть

г СВ Св сВ св св

F_1 СсВв ССвв ссВв ссвв

серая серая воронья рыжая

3 фенотипа в соотношении 2:1:1

4 генотипа в соотношении 1:1:1:1

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Белая окраска шерсти овец мериносовых пород эпистатирует черную окраску шерсти грубошерстной северной породы овец.

Проводится скрещивание мериносовых баранов с матками северной породы и получено потомство F_1 . От их скрещивания получено потомство F_2 . Определить генотипы скрещиваемых исходных родительских форм. Генотипы и фенотипы потомков F_1 . Фенотипы и их соотношение среди потомков F_2 .

Задача 2. У лошадей серая (ген С) и воронья (ген В) масти являются доминирующими. Серая масть эпистатирует все другие масти. Рыжая масть определяется двумя парами рецессивных генов. Спариваются серая лошадь с генотипом СсВв с рыжим жеребцом. Напишите генотипы и определите фенотипы полученных животных.

Задача 3. У некоторых пород кур, например, плимутрок, виандот, минорки доминантный ген С обуславливает окрашенное оперение, а его рецессивная аллель с – белое оперение. У кур породы белый леггорн имеется эпистатический ген О, который подавляет развитие пигмента даже при наличии в генотипе доминантного гена С. Рецессивная аллель о позволяет гену С проявлять свое действие. 1) Определить генотип потомков F_1 и F_2 . 2) Определить генотип окрашенного виандота, если при скрещивании его с дигетерозиготным белым леггорном у одной половины цыплят развивается белое оперение, а у второй половины – окрашенное оперение в F_1 . 3) На птицефабрике проводится скрещивание чистопородных петухов породы белый леггорн с курами породы белый виандот. Получено потомство F_1 и F_2 . Определить генотип исходных родителей, генотип и фенотип потомков F_1 . Фенотипы и соотношение среди потомков F_2 . Породность потомков F_1 и F_2 с учетом взаимодействия неаллельных генов.

Задача 4. У лошадей ген С обуславливает серую масть и является эпистатическим по отношению к вороной масти, обусловленной геном В, и рыжей, обусловленной генотипом ссвв. Спаривали гомозиготных лошадей с генотипом ССВВ с рыжими. Было получено 8 потомков F_1 , от спаривания

которых между собой было получено 16 потомков. Сколько разных фенотипов будет в F_2 ? Сколько животных будут серыми, черными, рыжими?

Задача 5. У лошадей серая масть (ген С) эпистатирует над всеми, вороная (ген В) – над рыжей. Серый жеребец скрещен с тремя кобылами. У кобылы №1 (серая) появился вороной жеребенок, кобылы №2 (вороная) – рыжий жеребенок, кобылы №3 (рыжая) – вороной жеребенок. Определите генотипы всех упомянутых животных.

Задача 6. У лошадей ген С, контролирующей серую масть, эпистатичен по отношению к гену В вороной масти. Их рецессивные аллели в гомозиготном состоянии обуславливают рыжую масть (ссвв). Каким будет соотношение фенотипов во втором поколении при спаривании гомозиготных вороных лошадей с серыми (второе поколение получено от спаривания животных первого поколения между собой)?

Задача 7. У лошадей ген С, контролирующей серую масть, эпистатичен по отношению к гену В вороной масти. Их рецессивные аллели в гомозиготном состоянии обуславливают рыжую масть (ссвв). При скрещивании серого жеребца с серой кобылой получен рыжий жеребенок. Каковы генотипы родителей? Какое потомство можно ожидать при повторении этих спариваний? Покажите это, пользуясь решеткой Пеннета.

Задача 8. У собак ген В дает черную шерсть, ген b – коричневую, ген I подавляет проявление окраски, а ген i не оказывает влияния на окраску шерсти. При скрещивании чистой линии собак коричневой масти с собаками, имеющими белую масть и генотип ИВВ, было получено 8 щенят F_1 , от скрещивания которых между собой было получено 32 щенка. Сколько разных фенотипов и генотипов было в F_2 ? Какую окраску имели все щенята двух поколений?

Задача 9. У собак ген В дает черную окраску шерсти, b – коричневую, ген I подавляет проявление обоих генов и при наличии этого гена особи имеют белую окраску шерсти. Ген i не оказывает влияния на окраску шерсти. При скрещивании чистой линии собак черной масти с собаками, имеющими генотип Иbb, получено 24 щенка F_1 . При скрещивании их между собой было получено 48 щенят F_2 . Сколько разных фенотипов и генотипов было в F_2 ? Какую окраску имели все щенята двух поколений?

Задача 10. У собак ген В дает черную окраску шерсти, b – коричневую, ген I подавляет проявление обоих генов и обуславливает белую окраску шерсти, ген i на проявление окраски влияния не оказывает. При скрещивании животных F_1 , полученных от спаривания черного гомозиготного самца с коричневой гомозиготной самкой, с белыми животными, имеющими генотип Ibb, было получено 24 щенка. Сколько генотипов и фенотипов получено при таком скрещивании? Какую окраску имел каждый из щенков?

Задача 11. У большинства пород кур ген С детерминирует окрашенное оперение, а его аллель с – белое. У породы леггорн имеется эпистатический ген I, подавляющий развитие пигмента даже при наличии гена С. Его аллель – ген i – позволяет гену С проявить свое действие. Леггорны с генотипом

ПСС имеют белое оперение в связи с эпистатическим действием гена I над геном C , виандоты с генотипом $ii\text{cc}$ имеют белое оперение из-за отсутствия доминантного аллеля пигментации C . Белого леггорна скрещивали с белым виандотом (особи гомозиготны). Определите расщепление по окраске оперения в первом и во втором поколениях.

Задача 12. У большинства пород кур ген C детерминирует окрашенное оперение, а его аллель c – белое. У породы леггорн имеется эпистатический ген I , подавляющий развитие пигмента даже при наличии гена C . Его аллель – ген i – позволяет гену C проявить свое действие. Леггорны с генотипом ПСС имеют белое оперение в связи с эпистатическим действием гена I над геном C , виандоты с генотипом $ii\text{cc}$ имеют белое оперение из-за отсутствия доминантного аллеля пигментации C . Скрещивали дигетерозиготного белого леггорна с пигментированным виандотом. Определите генотип виандота, если в потомстве половина цыплят имела белое оперение, а половина – окрашенное, и в том случае, если в потомстве произошло расщепление на белых и пигментированных в отношении 5:3.

Задача 13. У собак породы доберман-пинчер ген B определяет черную окраску шерсти, а ген b – коричневую (кофейную). Другой ген D – усилитель – определяет интенсивность окраски (распределение пигмента в корковом и мягкотном веществе волоса), ad – ослабитель (пигмент имеется только в мягкотном веществе, а в корковом содержится в виде отдельных вкраплений, что приводит к голубой окраске волос). При спаривании кофейного добермана $bbDD$ с голубым $BBdd$ в F_1 рождаются черные потомки. В каком соотношении в F_2 появятся черные, голубые и кофейные щенки разных оттенков?

Задача 14. Определите фенотип и генотип кроликов F_1 , фенотипы и их соотношение среди кроликов F_2 , полученные от скрещивания исходных родительских форм – кролов черной окраски меха и крольчих желтого окраса меха, а также их генотипы. A – ген черной окраски меха, является ингибитором гена бурой окраски меха B и желтой окраски меха b , a – ген желтого окраса меха. B – ген бурого окраса меха, b – ген желтого окраса меха.

Задача 15. Проводится скрещивание кролов серой окраски меха с крольчихами голубой окраски меха. Получено потомство F_1 и F_2 . Каковы генотипы исходных скрещиваемых родительских форм. Фенотип и генотип кроликов F_1 . Фенотипы и их соотношение среди кроликов F_2 . Функция неаллельных генов: A – ген серой окраски меха, он подавляет функцию гена черного окраса меха B и гена голубого окраса меха b ; a – ген голубого окраса меха; B – ген черного окраса меха; b – ген голубого окраса меха.

Занятие 12. Наследование признаков при полимерном взаимодействии неаллельных генов.

Цель занятия. Уяснить наследование признаков при полимерном взаимодействии неаллельных генов.

Методические указания. Полимерное взаимодействие неаллельных генов или полимерия, или полимерные факторы, или множественные гены, или полимерное наследование впервые установил в 1908 г. Г. Нильсон-Эле при скрещивании сортов овса, имевших черную и желтую окраску чешуи, и сортов пшеницы краснозерной и белозерной:

По типу полимерии наследуются количественные признаки, в т.ч. хозяйственно-полезные и цвет кожи у человека.

Полимерия – это такой тип взаимодействия неаллельных генов, при котором на один признак оказывает влияние несколько пар различных, но сходно действующих генов и каждый из них усиливает развитие признака или ослабляет.

Полимерные гены, сходно влияющие на развитие одного, обозначают одинаковым буквенным числовым индексом, например $A_1, A_2, A_3, a_1, a_2, a_3$.

Различают следующие *формы полимерии*:

- аддитивная (суммирующая)
- неаддитивная
- мультативная

Аддитивная полимерия – каждый ген влияет на развитие признака и их действие суммируется, что и приводит к более полному проявлению признака, т.е. степень развития зависит от эффекта действия каждого гена.

Такие гены, усиливающие развитие признака, называется полимерными или аддитивными.

Признак, степень проявления которого зависит от суммарного действия на него многих неаллельных доминантных и рецессивных генов называется полимерным или полигенным.

Влияние каждого аддитивного гена в отдельности на проявление признака незначительное, а при их совместном действии влияния генов усиливается и признак наиболее полно проявляется.

Неаддитивная полимерия – при наличии в генотипе одного доминантного аллеля признак полностью развивается и все животные с генотипами – $AABV, AaVv, AaVv, aaVV, aaVv$ по фенотипу не различаются.

В F_2 2 фенотипа в соотношении 15:1, в том числе

$\frac{15}{16}$ – генотипа $AABV, AaVv, AaVv, aaAA, aaAv$

$\frac{1}{16}$ – генотипа $aaav$.

Мультативная полимерия – встречается редко и при значительном различии исходных скрещиваемых родителей по развитию признака у потомков слабое развитие признака (меньший рост, малая скорость роста и развития, меньшая продуктивность и т.д.), т.е. наблюдается как бы неполное доминирование более низкой величины признака.

Решение типовой задачи.

У человека различия в цвете кожи обуславливается двумя парами неаллельных полимерных генов.

Черная окраска кожи определяется наличием в генотипе двух пар доминантных неаллельных генов – $A_1A_1A_2A_2$.

Белая окраска кожи определяется наличием в генотипе двух пар рецессивных неаллельных генов – $a_1a_1a_2a_2$

Три доминантных неаллельных гена определяют смуглую окраску кожи – $A_1A_1a_2a_2$.

Один доминантный ген обуславливают светлую окраску кожи – $A_1a_1a_2a_2$.

От брака смуглых юношей и смуглых девушек родилось 16 детей.

1. Сколько типов гамет образуется у юноши и девушки?
2. Сколько детей могут иметь черный цвет кожи?
3. Сколько детей могут иметь темную окраску кожи?
4. Сколько детей могут иметь светлую окраску кожи?
5. Сколько детей могут иметь белую окраску кожи и смуглую?
6. Соотношение фенотипов по окраске кожи среди их детей?

P ♀ $A_1a_1A_2a_2$ × ♂ $A_1a_1A_2a_2$
 смуглая кожа смуглая кожа

F₁

| ♂♀ | A_1A_2 | A_1a_2 | a_1A_2 | a_1a_2 |
|----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| A_1A_2 | $A_1A_1A_2A_2$ черная | $A_1A_1A_2a_2$ темная | $A_1a_1A_2A_2$ темная | $A_1a_1A_2a_2$ смуглая |
| A_1a_2 | $A_1A_1A_2a_2$ темная | $A_1A_1a_2a_2$ смуглая | $A_1a_1A_2a_2$ смуглая | $A_1a_1a_2a_2$ светлая |
| a_1A_2 | $A_1a_1A_2A_2$ темная | $A_1a_1A_2a_2$ смуглая | $a_1a_1A_2A_2$ смуглая | $a_1a_1A_2a_2$ светлая |
| a_1a_2 | $A_1a_1A_2a_2$ смуглая | $A_1a_1a_2a_2$ светлая | $a_1a_1A_2a_2$ светлая | $a_1a_1a_2a_2$ белая |

1. У юношей и девушек образуется по 4 типа гамет в соотношениях каждого типа 1:1:1:1.
2. У $1/16$ черная кожа
3. У $4/16$ темная кожа
4. У $4/16$ светлая кожа
5. У $1/16$ и у $6/16$ смуглая кожа
6. Среди детей по цвету кожи 5 фенотипов в соотношении
 1 – черная кожа 6 – смуглая кожа 1 – белая кожа
 4 – темная кожа 4 – светлая кожа (14)

Задание 1. От брака смуглой девушки генотипа $A_1a_1A_2a_2$ с юношей светлой кожи генотипа $A_1a_1a_2a_2$ определить:

1. Сколько фенотипов могут иметь их дети?
2. Сколько генотипов может быть у их детей?

Задание 2. Овцы породы линкольн имеют длину шерсти в среднем 36 см, а у овец других тонкорунных пород 12 см. Эти различия в длине шерсти зависят от трех пар однозначно действующих неаллельных генов.

Проведено скрещивание овец этих пород и получено потомство F₁ и F₂.

Определить:

1. Генотипы спариваемых родителей.
2. Какова длина шерсти потомков F₁?

3. Фенотипы и их соотношение среди потомков F_2 с учетом длины шерсти.
4. Скрещивание каких генотипов овец будет давать в потомстве однородную по длине шерсть?

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Удой у крупного рогатого скота зависит от взаимодействия двух пар равнозначных полимерных генов, имеющих кумулятивный эффект. У одной породы, имеющей все гены в доминантном состоянии, суточный удой составил 32 кг, а у другой, имеющей все гены в рецессивном состоянии, – 16 кг. При скрещивании гетерозиготных коров с такими же быками получено 16 телочек. Определите удой потомства.

Задача 2. Уши кроликов породы баран имеют длину 28 см. У других пород кроликов длина ушей – примерно 12 см. Длина ушей зависит от двух пар генов с равнозначным кумулятивным действием. Генотип кроликов породы баран – $A_1A_1A_2A_2$, обычных – $a_1a_1a_2a_2$. При их скрещивании между собой в F_1 получено 14 крольчат, от разведения которых «в себе» было получено 32 крольчонка. Какова длина ушей у кроликов F_1 и F_2 ?

Задача 3. У кроликов длина ушей зависит от взаимодействия двух пар полимерных генов, имеющих равнозначное действие и кумулятивный эффект. Генотип кроликов породы баран $A_1A_1A_2A_2$ обуславливает длину ушей 28 см, у других пород все гены находятся в рецессивном состоянии – длина ушей 12 см. Гетерозиготных кроликов скрещивали с кроликами породы баран. Какую длину ушей имели кролики?

Задача 4. У кур живая масса наследуется по типу полимерии и определяется двумя парами неаллельных генов, которые в гомозиготном доминантном состоянии дают 2,8 кг живой массы, а в гомозиготном рецессивном состоянии – 2 кг. От скрещивания гетерозиготных кур между собой получено 32 цыпленка. Сколько типов гамет образуют куры? Сколько разных фенотипов будут иметь цыплята?

Задача 5. У кур живая масса наследуется по типу полимерии и определяется двумя парами неаллельных генов, которые в гомозиготном доминантном состоянии дают 3,2 кг живой массы, а в гомозиготном рецессивном состоянии – 2,4 кг. От скрещивания гетерозиготных кур с особями массой 3,2 кг получено 64 цыпленка. Сколько типов гамет образуют куры? Сколько разных фенотипов будут иметь цыплята?

Занятие 13. Наследование признаков при разных типах взаимодействия аллельных генов

Цель занятия. Уяснить наследование признаков при разных типах взаимодействия аллельных генов.

Методические указания. Мендель установил явление доминирования и расщепления аллелей, происходящее в процессе образования половых клеток.

Принцип доминирования по своей природе сложное взаимодействие аллельных генов, один из которых полностью преобладает над другим. Например, ген черной масти преобладает над геном красной масти.

Следовательно, каждый признак в организме развивается в результате взаимодействия пары аллельных генов, один из которых, получен от отца, а другой от матери.

Установлены следующие типы взаимодействия аллельных генов:

1. неполное доминирование
2. промежуточное наследование
3. кодоминирование
4. сверхдоминирование
5. доминирование связанное с полом.

Наследование признаков при неполном доминировании.

При неполном доминировании доминантный ген не полностью подавляет действие своего аллельного рецессивного гена.

У гетерозигот $F_1 Aa$ функционируют оба гена аллельной пары:

- и поэтому признак одного родителя выражен в большей степени, а другого в меньшей степени

- и фактически их фенотип занимает промежуточное положение между фенотипами исходных родителей.

Закон единообразия потомков F_1 по фенотипу при этом типе доминирования проявляется полностью.

В F_2 появляются потомки:

- трех фенотипов в соотношении $1AA:2Aa:1aa$
- трех генотипов в соотношении $1 AA$ доминанты: $2Aa$ гетерозиготы: $1aa$ рецессивы.

У гомозиготных доминантных особей AA проявляется условно-доминантный признак, а у гомозиготных рецессивов aa условно-рецессивный признак.

Гетерозиготные особи Aa , хотя и имеют доминантный ген A , но по фенотипу отличается от доминантных гомозигот AA меньшей степенью развития доминантного признака.

При возвратных скрещиваниях в потомстве расщепление по фенотипу и генотипу в соотношении $1:1$.

Так, при бекроссе – 50% потомков с доминирующим признаком генотипа AA и 50% потомков с промежуточным признаком генотипа Aa .

F_1 P $Aa \times AA$
г А а А
 F_2 AA Aa
50% 50% 1:1

При анализирующем скрещивании – 50% потомков с промежуточным признаком генотипа Aa и 50% потомков имеют рецессивный признак генотипа aa .

F_1 P $Aa \times aa$

г А а а
 F₂ Аа аа
 50% 50% 1:1

По типу неполного доминирования происходит наследование многих качественных признаков.

При скрещивании быков, у которых окраска тела сплошная, с коровами пегой масти – белые пятна на туловище, белое брюхо и белые ноги, рождаются потомки, имеющие белые пятна только на брюхе, голове, ногах и иногда большие пятна на туловище. Следовательно, сплошная окраска неполно доминирует над пегой.

По типу неполного доминирования наследуется большинство количественных признаков.

Таблица 2 – Альтернативные признаки животных, птиц, человека с неполнодоминантным типом наследования.

| Порода и вид животных | Признак у гомозигот | | Признак у гетерозигот |
|-------------------------------|--|--|---|
| | Условно-доминантный | Условно-рецессивный | |
| Куры домашние | | | |
| Австролорп, лангшан, бентамка | Курчавое оперение | Прямая форма пера | Средняя курчавость |
| Свиньи | | | |
| Беркшир | Черный окрас | Красный окрас | Черно-красный окрас (тигровая масть) |
| Овцы | | | |
| Каракульская | Уши нормальной длины | Отсутствие ушных раковин | Уши средней длины |
| Каракульская | Коричневая окраска шерсти | Белая окраска шерсти | Розовая окраска шерсти |
| Волошская | Белый ошейник | Отсутствие ошейника | Уменьшение размера ошейника |
| Крупный рогатый скот | | | |
| Голландская | Черно-пестрая окраска | Черная или красная сплошная масть | Пегая масть |
| | Сплошная окраска масть | Пегая масть (не голландский тип) | Уменьшение пегости |
| Кролик | | | |
| Пушные породы | Длинноволосясть (ангорский тип) | Шерсть нормальной длины | Средняя длина волоса |
| | Шиншиллово-окраска меха | Альбинос | Светло-серая окраска меха |
| | Серебристость опушения | Отсутствие серебристости опушения | Слабо выраженная серебристость опушения |
| | Окраска шерсти агути (серая) | Черная окраска шерсти | Стальная окраска шерсти |
| Мышь | | | |
| | Отсутствие хвоста | Наличие хвоста | Хвост средней длины |
| Человек | | | |
| | Курчавые волосы | Прямые волосы | Волнистые волосы |
| | Нормальное содержание каталазы в крови | Отсутствие каталазы в крови (акаталазия) | Частичное содержание каталазы в крови |
| | Талассемия (анемия) | Отсутствие анемии | Анемия легкой формы |

| | | | |
|--|--|---|--|
| | Серповидно-клеточная анемия (гемоглобин-S) | Нормальная форма эритроцитов (гемоглобин-A) | Часть эритроцитов – серповидные (субклиническая форма) |
| | Нормальный обмен 4-х аминокислот | Цистинурия (нарушение обмена – камни почек) | Повышение цистина в моче |
| | Пельгеровская аномалий ядер лейкоцитов | Нормальная сегментация ядер лейкоцитов | Некоторое смещение сегментации ядер лейкоцитов |

По типу неполного доминирования происходит наследование:

- курчавость на хохолке у кур;
- размеры ног у кур - длинные R и короткие D признаки и у гетерозигот средние ноги и ген средних ног сцеплен с летальным геном, вызывающий укорочение клюва у эмбрионов, не способные пробить скорлупу и они задохлики, т.е. не вылупившиеся из яйца цыплята в конце инкубационного периода на 20-20-й день;
- количественные признаки сельскохозяйственных животных

P ♀ черно-пестрые 3,6 % жирность молока
 джерсеи ♂ 5 % жирность

AA × aa
 F₁ Aa × Aa жирность молока 4,2%
 F₂ AA Aa Aa aa
 5% 4,2% 3,6%

Промежуточный тип наследования признаков.

При этом типе взаимодействия аллельных генов одна аллель не подавляет действие второго аллеля и наоборот.

Доминирование отсутствует и оба аллеля равноценны. Аллели обозначают одним буквенным символом, помеченного цифровым индексом – A и A₁ или B и B₁.

Гетероизиготы AA₁ по фенотипу занимают промежуточное положение между гомозиготами AA и A₁A₁.

Промежуточное наследование сходно с неполным доминированием и отличие только в том, что при взаимодействии двух аллелей возникает как бы «смесь» двух равноценных компонентов признака.

Например, окраска оперения у кур:

- черное оперение обусловлено геном B
- белое оперение геном B₁
- голубовато-серая окраска оперения андалузских кур Испании генотипа BB₁ возникает при взаимодействии генов черного и белого оперения, т.е. равнокомпонентная «смесь» черного и белого.

Таблица 3 – Альтернативные признаки животных и птиц с промежуточным типом наследования.

| Порода и вид животных | Признак у гомозигот | | Признак у гетерозигот |
|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| | Условно-доминантный | Условно-рецессивный | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

| Куры домашние | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|--|--|
| Плимутрок, виандот, леггорн | Белое оперение | Красное оперение | Колумбийский тип оперения |
| | Черное оперение | Белое оперение | Голубое оперение (андалузские куры) |
| Австролорп, лангшан, бентамка | Черное оперение | Белое оперение | Крапчатое (горностаевое) оперение |
| Свиньи | | | |
| Немецкая благородная | Белый окрас щетины | Черный окрас щетины, корнуэльской породы | Сапфировая окраска (голубоватосерая) |
| Мериносовые овцы | | | |
| Мериносы | Мериносовая белая окраска шерсти | Грубошерстная темная (монгольские) | Бурая окраска шерсти |
| | Мериносовая белая окраска шерсти | Черно-бурая окраска (романовская порода) | Бурая окраска шерсти |
| Крупный рогатый скот | | | |
| Шортгорн | Красная масть | Белая масть | Чалая масть |
| Абердин-ангусы | Черная масть | Белая масть (шортгорн) | Серо-голубая масть |
| Кролик | | | |
| Пушные породы | Шиншилловая окраска меха | Гималайская окраска меха | Светло-серая окраска меха (светлая шиншилла) |
| Морская свинка | | | |
| | Желтая окраска меха | Белая окраска меха | Кремевая окраска меха |
| | Шиншилловая темная | Белая окраска (альбинос) | Светло-шиншиловая окраска |
| | Темная окраска меха | Белая окраска (альбинос) | Полутемная окраска меха |
| Лисица | | | |
| Черно-бурая | Черно-бурая окраска меха | Серебристо-черная окраска меха | Темный окрас рыжие пятна (сиводушки) |
| | Черно-бурый окрас меха | Красный окрас меха | Темный окрас рыжие пятна (сиводушки) |
| Серебристо-черная | Серебристо-черная окраска меха | Красный окрас меха | Темный окрас рыжие пятна (сиводушки) |
| Норка | | | |
| Хедлунд | Белая окраска меха | Стальная голубая | Промежуточная голубоватосерая |
| | Белая окраска меха | Темная окраска меха | Светлая кохинуровая |
| | Белая (темные волосы на затылке) | Коричневая стандартная окраска меха | Темные волосы на белом фоне |
| | Пятнистость | Белая окраска меха | Белая пятнистость |
| Гомокрестовка генотипа SS | Темная окраска меха | Коричневая стандартная окраска меха | Черная окраска меха (крестовка) |
| Собака | | | |
| Гончие | Черная окраска шерсти | Крапчатая окраска | Серая окраска (Дункер) |
| Лошадь | | | |
| | Гнедая масть | Белая масть | Золотисто-желтая |

| | | | |
|--|--|------------|------------|
| | | (альбинос) | (паломино) |
|--|--|------------|------------|

Кодоминирование. Сущность кодоминирования состоит в том, что у гетерозиготного потомства первого и второго поколений оба аллеля одного гена проявляют свое действие в полной мере и независимо друг от друга, т.е. у них фенотипически проявляются признаки свойственные обоим родителям.

При кодоминировании:

- у гомозигот доминантов AA развивается признак A
- у гомозигот рецессивов A_1A_1 развивается признак A_1
- у гетерозигот $A A_1$ развиваются оба признака, т.е. A и A_1 свойственные родителям.

По типу кодоминирования наследуется: структуры белков, антигены, гемоглобин, группы крови животных и человека, ферменты, трансферрины.

Кодоминирование имеет значение в двух направлениях.

Первое направление: любое животное может быть в генотипе оба доминантных гена и один ген получен от отца, а другой от матери и при этом каждый ген у потомка в отдельности проявляет свое фенотипическое действие;

- если у животного, который по документам является отцом, или матерью, нет характерного признака, проявляемого у его потомка, то он не может быть его отцом или матерью, т.е. в записи о происхождении потомка допущена ошибка

- кодоминантные признаки позволяют уточнить происхождение, родство линий и семейств, генетическое сходство и различие пород сельскохозяйственных животных.

Второе направление: кодоминирование используют для решения теоретически и практически важного вопроса о влиянии гомозиготности или гетерозиготности на жизнеспособность, эмбриональную смертность, возникновение аномалий и дефектов у животных и человека.

Например, изучено влияние типов гемоглобина человека на заболевание тропической малярией:

- люди гомозиготного генотипа AA по нормальному гемоглобину A , заражаются тропической малярией и тяжело ее переносят

- люди гомозиготного генотипа SS по гену гемоглобина S , погибают из-за нормальной формы эритроцитов, приводящая к заболеванию серповидно-клеточной анемии

- люди гетерозиготные AS не заболевают тропической малярией или легко ее переносят.

При кодоминировании в F_2 среди потомства три фенотипа и три генотипа в соотношении 1:2:1 (25%:50%:25%), т.е. соответствует неполнодоминантному типу наследования признаков.

У крупного рогатого скота несколько типов гемоглобина, которые обнаруживаются благодаря различной скорости передвижения их молекул в электрическом поле при электрофорезе.

Чаще встречаются гемоглобин типа А и В. Наличие гемоглобина А обусловлено аллелем *HbA* и гемоглобина В аллелем *HbB*.

В эритроцитах содержится

- У гомозигот *HbAHbA* гемоглобин А
- У гомозигот *HbBHbB* гемоглобин В
- У гетерозигот *HbAHbB* оба типа А и В, т.е. при кодоминировании у гетерозигот содержится оба аллеля и они проявляют свое действие в полной и независимо друг от друга.

Сверхдоминирование. Сущность сверхдоминирования заключается в превосходстве гибридов первого поколения над исходными родительскими формами, т.е. у гетерозиготных животных *Aa* проявляется более сильное развитие признака, чем у гомозиготных доминантов и рецессивов *AA* и *aa* и это выражается формулой $Aa > AA$ и aa .

При сверхдоминировании у гибридов первого поколения проявляется гетерозис, который проявляется в превосходстве потомства над родительскими формами по жизнеспособности, энергии роста, плодовитости и продуктивности.

Большинство исследователей считают, что при сверхдоминировании доминантный ген в одной фазе, т.е. в гетерозиготе *Aa*, более благоприятно влияет на развитие признака, чем в двойной дозе, т.е. в гомозиготе доминантной *AA*, и поэтому можно считать, что всякая гетерозигота – *Aa*, *Bb*, A_1A_1 или A_1A_2 – лучше по развитию, чем гомозиготы – *AA*, *BB*, A_1A_1 , A_2A_2 .

До открытия сверхдоминирования проф. Д.А. Кисловский высказал предложение о существовании генов, которые влияют на усиление развития признака, когда находятся в гетерозиготном состоянии, и, наоборот, могут ослаблять и даже отрицательно влиять на организм в гомозиготном доминантном состоянии.

Такие гены Д.А. Кисловский предложил называть облигатно-гетерозиготными и его гипотеза была подтверждена при изучении гемоглобинов человека.

Люди, гомозиготные по нормальному гемоглобину *A*, заражаются тропической малярией и тяжело переносят эту болезнь.

Ген, обуславливающий выработку гемоглобина *S* у человека находясь в гомозиготном состоянии *SS*, вызывает гибель от серповидно-клеточной анемии, а гетерозиготы *Ss* не заболевают тропической малярией или легко переносят эту болезнь.

Явление сверхдоминирования известно у сельскохозяйственных животных и имеет важное практическое значение.

Сверхдоминирование объясняется эффектом гетерозиса, наблюдаемый, при получении в птицеводстве, трех и четырех гибридов.

При скрещивании повышается гетерозиготность потомства, которая оказывает благотворное действие на признаки организма.

Например, ген «декстер» *D* у мясного скота в гетерозиготном состоянии *Dd* обуславливает повышенную скороспелость, жиротложение,

пышное развитие мускулатуры, а в гомозиготном доминантном состоянии *ДД* вызывает бульдогообразность у телят.

При спаривании скота породы «декстер» между собой у 50 % потомков генотипа *Дд* проявляется сверхдоминирование:

| | | | |
|----------------|------------|-----------|-----------------------|
| Р ♀ | <i>Дд</i> | × | <i>Дд</i> ♂ |
| г | <i>Д д</i> | | <i>Д д</i> |
| F ₁ | <i>ДД</i> | <i>Дд</i> | <i>Дд</i> |
| | Гибель | 50 % | животные породы керри |

Гетерозиготные по ряду групп крови антигенных факторов – коровы молочных пород более продуктивные по сравнению с гомозиготными коровами сверстницами.

Гетерозиготные по системе групп крови свиней, например по аллелю *G_{ab}*, более плодовитые, чем гомозиготные.

Явление сверхдоминирования широко используют при производстве гибридных сортов растений, гибридных семян кукурузы путем комбинации четырех неродственных линий, межпородном и межвидовом скрещивании животных.

Примером сверхдоминирования признаков у сельскохозяйственных животных является гибрид осла и лошади – мул, который превосходит родительские формы по живой массе, выносливости и долголетию.

Сверхдоминирование по ряду признаков проявляется при межвидовой гибридизации рыб:

Гибриды осетровых – осетр × стерлядь, белуга × стерлядь и их гибриды бестеры успешно внедряются в практику; гибриды карповых рыб – карп × карась.

Доминирование связанное с полом.

В ряде случаев наблюдается явление, когда один и тот же ген у самцов доминирует над своим аллелем, а у самок оказывается рецессивным.

Так у овцематок доминирует комолость – ген *P*, а рецессив рогатость – ген *P₁*. У баранов доминирует рогатость – ген *P₁*, а рецессив комолость – ген *P*.

| Признак | Ген | Доминирование | Рецессив |
|-----------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Комолость | <i>P</i> | У ♀ <i>P</i> | У ♂ <i>P</i> |
| Рогатость | <i>P₁</i> | У ♂ <i>P₁</i> | У ♀ <i>P₁</i> |

Наличие бороды у козлов обусловлено доминантным геном *A*, а у самок рецессивным *A₁*.

У мужчин ген раннего облысения доминантный *O*, а у женщин он рецессивный *O₁*.

| Признак | Ген | Доминирование | Рецессив |
|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------------------|
| Раннее облысение | <i>O</i> | У мужчин <i>O</i> | |
| Позднее облысение | <i>O₁</i> | | У женщин <i>O₁</i> |

Характер наследования таких признаков (генов) необычный.

Во-первых, гетерозиготные ♂ и ♀ имеют одинаковый генотип *PP₁*, но по фенотипу они различные: баран рогатый, овцематка комолая (безрогая).

Во-вторых, так как оба родителя гетерозиготны, они продуцируют гаметы двух типов. Но так как фенотип ♀ при одинаковом генотипе отличается от фенотипа ♂, то в первом поколении расщепление по фенотипу

среди ярочек и баранчиков с учетом взаимодействия аллельных генов следует рассматривать отдельно.

Расщепление по фенотипу среди ярок составляет 3 комолых к 1 рогатой, а среди баранчиков 3 рогатых к 1 комолу.

Более наглядно это выглядит на схеме:

| | | | |
|----------------|-------------------------------|---|-----------------------------|
| Р генотип | ♀ PP_1 | × | PP_1 ♂ |
| Фенотип | комолая | | рогатый |
| г | Р P_1 | | Р P_1 |
| F ₁ | ♀ PP PP_1 PP_1 P_1P_1 | ♂ | PP PP_1 PP_1 P_1P_1 |
| | 3 комолые 1 рогатая | | 1 комолый 3 рогатые |

Подобный тип наследования касается и других признаков, связанных с половой дифференциацией признаков продуктивности и полового развития.

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. У кроликов шерсть нормальной длины (ген «L») доминантный, короткая (ген «l») - рецессивный. У короткошерстной крольчихи родилось 5 крольчат: 3 короткошерстных и 2 с нормальной шерстью. Составьте схему скрещивания. Определите генотип и фенотип отца, генотипы матери и потомков.

Задача 2. При скрещивании длинноухих овец («AA») с безухими («aa») получается потомство с короткой ушной раковиной. Какое потомство получится при скрещивании короткоухих овец с такими же баранами? Безухих овец с короткоухими баранами? Составьте схемы скрещиваний и сделайте их анализ.

Задача 3. У андалузских кур черная окраска оперения (ген «В») доминирует над белой (ген «в»). Гетерозиготная птица имеет голубое оперение. Какое потомство даст голубая курица при скрещивании с белым, голубым и черным петухами? Почему голубые андалузские куры при разведении «в себе» не дают однообразного потомства?

Задача 4. У крупного рогатого скота шортгорнской породы красная масть (ген «R») доминирует над белой (ген «r»). Гетерозиготные животные имеют чалую масть. В Шотландии одна шортгорнская корова принесла за один отел 5 телят, в том числе одного бычка красной масти, двух телок чалой и двух телок белой масти. Можете ли вы определить масть и генотип быка и коровы, от которых родились эти телята?

Задача 5. При скрещивании белого мериносового барана с черной валахской маткой, имевшей на шее белую полосу в виде ошейника, был получен белый баран. При скрещивании его с черными матками без белой полоски появилось потомство, среди которого было 17 черных ягнят: 8 с белой полоской и 9 без нее. Как наследуется белая полоска на шее?

Задача 6. При скрещивании длинноухих овец (ген В) с безухими (ген b) получается потомство с короткой ушной раковиной. Какой характер наследования здесь имеет место? Какое потомство получится при скрещивании короткоухих овец с такими же баранами? Безухих овец с

короткоухими баранами? Какое соотношение по фенотипу и генотипу будет наблюдаться во втором поколении, полученном при скрещивании потомства F₁ друг с другом?

Задача 7. Кохинуровые норки (светлая окраска с черным крестом на спине) получают от скрещивания белых норок с темными. Скрещивание между собой белых норок дает белое потомство, темных – темное. Какое потомство возникает при скрещивании между собой кохинуровых норок? Какое потомство получится от скрещивания кохинуровых норок с белыми?

Задача 8. Цвет волосяного покрова морских свинок зависит от содержания темного пигмента меланина. Белые свинки (альбиносы) при скрещивании между собой дают белое потомство. Точно так же и темные свинки (шиншилла), скрещиваясь друг с другом, дают темное потомство. Гибриды же альбиносов с шиншиллой дают промежуточную (полутемную) окраску. Какое потомство получится в результате скрещивания между собой полутемных гибридов? А в результате скрещивания такого гибрида с белой свинкой?

Задание 9. При скрещивании белой хохлатой курицы с черным без хохла петухом получают хохлатые цыплята, имеющие пестрое (белое с черными крапинками) оперение. Определите генотипы и фенотипы в F₂. Что получится, если гибридов F₁ скрестить с обеими родительскими формами?

Задача 10. При скрещивании черного петуха и белой курицы получают потомков голубого цвета (андалузские куры). Известно, что скрещивание андалузских кур между собой не дает чистого по этому признаку потомства. Какое потомство даст голубая курица при скрещивании с особями, имеющими черное, голубое, белое оперение?

Занятие 14. Наследование признаков при плейотропном взаимодействии аллельных генов

Цель занятия: Уяснить сущность плейотропного действия генов на развитие признака. При решении задач провести генетический анализ по соотношению фенотипов и генотипов среди потомства F₁ и F₂.

Методические указания. Наследование признаков при разных типах взаимодействия аллельных генов – полнодоминантное, неполнодоминантное, кодоминирование, доминирование связанное с полом – основано на принципе, что каждый ген оказывает влияние только на развитие одного признака. Среди потомков F₂ расщепление по фенотипу соответственно в соотношении 3:1, 1:2:1, т.е. 2 и 3 фенотипа и по 3 генотипа в соотношении 1:2:1. Фактически многие гены могут оказывать влияние не на один признак, а одновременно на несколько признаков организма, т.е. проявляться множественное действие.

Плейотропия – один ген действует на развитие нескольких признаков организма и в этом проявляется плейотропное или множественное действие гена.

Например: У кур доминантный ген F вызывает скручивание стержня перьев, они обламываются, теряется часть перьевого покрова, птица не может взлетать на насест и одновременно:

- Повышается дыхание и потребление пищи для поддержания необходимой температуры тела;
- Развивается гипертрофия сердечной мышцы;
- Запаздывает наступление половой зрелости;
- Яичная продуктивность, оплодотворяемость и выводимость яиц полученные от такой птицы низкие.

Мутантный ген « S^e » серповидно-клеточной анемии у человека также проявляет плейотропное действие.

На молекулярном уровне образуется аномальный гемоглобин, на уровне клетки снижение жизнеспособности эритроцитов, изменение их формы и склонность к гемолизу в венозном кровотоке.

На уровне организма плейотропное действие гена « S » проявляется в развитии синдрома тканевого удушья и летальности в гомозиготном доминантном состоянии $S^e S^e$.

Люди имеющие такой мутационный ген « S^e » в гетерозиготном состоянии $A S^e$ устойчив к малярии.

Серебристо-серая окраска шерсти или ширази, черная окраска шерсти или араби, развитие рубца и парасимпатической нервной системы у овец каракульской породы определяется одной аллельной парой генов.

Черная окраска каракуля и нормальное развитие рубца определяется под контролем рецессивного гена « s » и их генотип ss .

Серая окраска каракуля и недоразвитие рубца определяется под контролем доминантного гена S^e и их генотипы $S^e S^e$ и $S^e s$.

Серая окраска каракуля доминирует над черной окраской каракуля, а нормальное развитие рубца доминирует над недоразвитием рубца.

Гомозиготные по гену серого цвета каракуля и недоразвитие рубца овцы генотипа $S^e S^e$ после отбивки от матерей в 3-4-х месячном возрасте погибают.

Плейотропный доминантный ген может обладать рецессивным летальным эффектом и тогда среди потомков соотношение фенотипов не 3:1, а 2:1, т.е. 25 % животных гомозиготных доминантных генотипов по плейотропному гену погибают.

Если плейотропным действием обладает рецессивный ген, то в потомстве только один фенотип и два генотипа. В этом случае гибнут животные рецессивного генотипа.

Взрослые серые каракульские овцы имеют только гетерозиготный генотип и при скрещивании их между собой расщепление по окраске

каракуля и функции желудочно-кишечного тракта происходит следующим образом:

| | | | | | | |
|----------------|-----------|---|---|---------|---------|--------------------------------------|
| P ♀ | $S^e s$ | × | ♂ | $S^e s$ | серые | |
| г | $S^e s$ | | | $S^e s$ | s | |
| F ₁ | $S^e S^e$ | | | $S^e s$ | $S^e s$ | ss |
| | Гибель | | | серые | черные | два фенотипа 2:1 два генотипа 2:1 |

Среди потомства F₁ :

- 25% гомозиготные доминантные серые с недоразвитым рубцом нежизнеспособные
- 50% гетерозиготные серые с нормальной функцией рубца
- 25% рецессивные черные с нормальной функцией рубца.

Решение типовой задачи.

Задача. У крупного рогатого скота доминантный ген «D^c» свойственный породе «Декстер», обладает рецессивной леталью и вызывает укорочение конечностей и головы, но одновременно улучшает мясные качества.

Рецессивная аллель «d» обуславливает нормальное телосложение и нормальную жизнеспособность животных породы «керри».

D^c – формирование укороченных конечностей, головы, но хорошие мясные качества животных породы декстер

d – нормальное телосложение и жизнеспособность породы «керри».

Определите:

1. Генотипы взрослых животных с учетом фенотипа породы декстер.
2. Соотношение фенотипов и генотипов в потомстве F₁ от скрещивания между собой животных декстер.
3. Будет ли происходить генетически обусловленный отход потомства при скрещивании коров породы декстер с быками породы керри?

Ответы:

1. Генотип животных породы декстер только гетерозиготный D^cd и по фенотипу нормальное телосложение и хорошие мясные качества, обусловленные взаимодействием доминантной и рецессивной аллелями D^c и d.

При этом летальность доминантного гена D^c прикрыта рецессивным геном d, не обладающего летальным фактором.

| | | | | |
|----------------|------------|---|-------------|------------|
| 2. P ♀ | $D^c d$ | × | $D^c d$ ♂ | |
| г | $D^c d$ | | $D^c d$ | |
| F ₁ | $D^c D^c$ | | $D^c d$ | $D^c d$ |
| | Гибель 25% | | декстер 50% | керри 25 % |
| | 1 | | 2 | 1 |

Среди потомства F₁:

- 25% гомозиготы доминанты генотипа D^cD^c породы декстер, это выкидыши на 7 – 8 месяце стельности уродливых бульдогообразных телят, у которых на основании изучения строения черепа выявлено, что у них наследственное недоразвитие гипофиза
- 50% животные породы декстер генотипа гетерозиготного D^cd

- 25% животные породы керри генотипа рецессивного dd .

Итак, среди потомков первого поколения два фенотипа в соотношении $2 D^c d$ декстер : $1 dd$ керри или $50\%:25\%$ и два генотипа в соотношении $2 D^c d$ гетерозиготы : $1 dd$ рецессивы или $50\% : 25\%$.

3. 2. $P \quad \begin{matrix} \text{♀} & D^c d \\ \text{г} & D^c d \end{matrix} \quad \times \quad \begin{matrix} dd \text{♂} \\ \text{д} & \text{д} \end{matrix}$

$F_1 \quad \begin{matrix} D^c d \\ \text{Декстер} \\ 1 \end{matrix} \quad : \quad \begin{matrix} dd \\ \text{керри} \\ 1 \end{matrix}$

В потомстве F_1 всегда будет два фенотипа в соотношении $1:1$ – 50% животных породы декстер генотипа гетерозиготного $D^c d$ и 50% животных породы керри рецессивного генотипа dd и отхода телят не будет.

Задачи для самостоятельной работы.

Задача 1. Среди животных герефордской, абердин-ангусской, шортгорнской пород иногда появляются карликовые животные ростом $90-100$ см, имеющие бульдогообразную голову, укороченные конечности, толстое туловище. Многие из них гибнут до отъема матери.

У животных нормального роста хорошие мясные формы телосложения, обусловленные доминантной аллелью «А», а у карликовых проявляется также склонность к тимпани и частым заболеваниям.

Нормальный рост животных ген «А» доминирует над карликовостью ген «а^е», обладающего летальным фактором.

Определите соотношение фенотипов и генотипов в потомстве F_1 , полученного при скрещивании нормальных животных с гетерозиготными, гетерозиготных с гетерозиготными.

Задача 2. Коротконогость у кур обусловленная доминантным геном «А^е», обладающим летальным фактором, доминирует над длинноногостью, обусловленная рецессивным геном «а». Доминантный ген коротконогости «А^е» в гомозиготном состоянии вызывает недоразвитие клюва у эмбриона и эмбриональную гибель в яйце.

Рецессивный ген «а» контролирует нормальное развитие эмбриона в яйце.

А^е – коротконогость, недоразвитие клюва у эмбриона в яйце

а – длинноногость и нормальное развитие эмбриона в яйце.

При инкубации 10000 яиц, полученных от коротконогих кур, вывелось 7500 цыплят, в том числе 2500 имели, длинные ноги, а остальные короткие.

1. Каковы генотипы спариваемых родителей?
2. Каковы генотипы среди потомков F_1 ?
3. Каков генотип невылупившихся цыплят?
4. Каково соотношение по фенотипу и генотипу среди потомков F_1 ?

Задача 3. От скрещивания платиновых короткошерстных лисиц в потомстве F_1 наблюдалось расщепление по окраске меха $2:1$ и по длине шерсти $3:1$.

Каковы генотипы скрещиваемых лисиц?

Каковы фенотипы и их соотношение в потомстве F_1 ?

Генотипы и их соотношение в F_1 ?

Какая часть потомков будет серебристо-черной окраски меха и длинношерстности?

Какие доказательства соотношений 2:1 и 3:1?

P – платиновая окраска меха (леталь)

p – серебристо-черная окраска меха

A – короткошерстность

a – длинношерстность

Задача 4. У норок ген «F» определяет серебристо-соболиную окраску – «бос», но обладает летальным действием. Его рецессивная аллель «f» обуславливает стандартную окраску. Все взрослые особи «бос» гетерозиготны «Ff». Какое потомство получится при спаривании гетерозигот между собой? Как избежать отхода?

Задача 5. На ферме все утки, и селезни имеют хохолок на голове. Ген хохлатости обладает летальным действием – эмбрионы гибнут перед вылуплением из яйца. В инкубатор было заложено 2400 яиц, полученных в этом стаде. Составьте схему скрещивания и определите, какими могут быть генетически обусловленные потери. Какое количество из полученных утят будут иметь хохолок? Какую схему скрещивания можно предложить, чтобы избежать отхода?

Задача 6. Признак укороченности ног у кур (ген «Ср») доминирует над длинноногостью (ген «ср»). У гомозиготных по гену коротконогости цыплят клюв настолько мал, что они не могут пробить яичную скорлупу и гибнут, не вылупившись из яйца. В хозяйстве, разводящем только коротконогих кур, получено 3000 цыплят. Сколько среди них коротконогих?

Задача 7. У каракульских овец серый цвет шерстного покрова (ген «W») доминирует над черным (ген «w»). От скрещивания серых овец с черными баранами получено половина серых и половина черных ягнят. Напишите генотипы родителей и потомства. Составьте схему скрещивания и выясните, какое получится отношение по генотипу и фенотипу в F_2 при скрещивании серых овец F_1 с серыми и черными баранами. Почему в практике разведения каракульских овец серой окраски не встречаются серые бараны, дающие при скрещивании с черными овцами всех серых ягнят?

Задача 8. У крупного рогатого скота ген «Д» (декстер) определяет укороченность головы и ног, обуславливает улучшение мясных качеств, но обладает летальным действием. Каким будет расщепление при спаривании между собой двух гетерозиготных животных; гетерозиготных с рецессивным гомозиготным?

Задача 9. У мышей доминантный ген желтой окраски «У» обладает летальным действием. Его рецессивная аллель «у» в гомозиготном состоянии обуславливает черную окраску. Каков генотип взрослых желтых мышей? Какое будет расщепление при спаривании их между собой; при спаривании с черными?

Задача 10. Очень ценится серый каракуль. Однако до сих пор не удалось вывести породу овец, дающих ягнят только с серой окраской. При скрещивании серых овец между собой рождается 50% серых, 25% черных и 25% нежизнеспособных (погибают до отбивки) ягнят. Установлено, что жизнеспособные серые гетерозиготны (Ww). Почему нельзя вывести породу серых каракульских овец?

Задача 11. В племенном хозяйстве, производящем серых племенных баранов с высоким качеством каракуля, скрещивали серых каракульских овец с такими же баранами. В результате скрещивания получили 115 ягнят, из них 77 серых и 38 черных. С использованием условных обозначений генов напишите схему скрещивания. Сколько типов гамет может образовать серый баран? Сколько типов гамет может образовать черный баран? Сколько разных генотипов может образоваться при таком скрещивании?

Задача 12. Одна из пород кур отличается укороченными ногами (такие куры не разрывают огороды). Этот признак является доминирующим. Управляющий им ген C вызывает одновременно также и укорочение клюва. При этом у гомозиготных цыплят клюв так мал, что они не в состоянии пробить яичную скорлупу и гибнут, не вылупившись из яйца. В инкубаторе хозяйства, разводящего только коротконогих кур, получено 8000 цыплят. Сколько среди них коротконогих?

Задача 13. Одна из пород кур отличается укороченными ногами (такие куры не разрывают огороды). Этот признак является доминирующим. Управляющий им ген C вызывает одновременно также и укорочение клюва. При этом у гомозиготных цыплят клюв так мал, что они не в состоянии пробить яичную скорлупу и гибнут, не вылупившись из яйца. Генотип FF обуславливает курчавое оперение, Ff – волнистое, ff – нормальное. Определите фенотип потомства в скрещивании $CcFf \times CcFf$.

Задача 14. Одна из пород кур отличается укороченными ногами (такие куры не разрывают огороды). Этот признак является доминирующим. Управляющий им ген C вызывает одновременно также и укорочение клюва. При этом у гомозиготных цыплят клюв так мал, что они не в состоянии пробить яичную скорлупу и гибнут, не вылупившись из яйца. Генотип FF обуславливает курчавое оперение, Ff – волнистое, ff – нормальное. Определите фенотип потомства в скрещивании $Ccff \times ccFF$.

Задача 15. Одна из пород кур отличается укороченными ногами (такие куры не разрывают огороды). Этот признак является доминирующим. Управляющий им ген C вызывает одновременно также и укорочение клюва. При этом у гомозиготных цыплят клюв так мал, что они не в состоянии пробить яичную скорлупу и гибнут, не вылупившись из яйца. Генотип FF обуславливает курчавое оперение, Ff – волнистое, ff – нормальное. Определите фенотип потомства в следующих скрещиваниях: $CcFf \times ccff$, $ccFf \times ccFf$.

Задача 16. Одна из пород кур отличается укороченными ногами (такие куры не разрывают огороды). Этот признак является доминирующим.

Управляющий им ген С вызывает одновременно также и укорочение клюва. При этом у гомозиготных цыплят клюв так мал, что они не в состоянии пробить яичную скорлупу и гибнут, не вылупившись из яйца. Генотип FF обуславливает курчавое оперение, Ff – волнистое, ff – нормальное. Определите фенотип потомства в следующих скрещиваниях: Cc^{ff} x cc^{Ff} Cc^{FF} x cc^{ff}.

Задача 17. Одна из пород кур отличается укороченными ногами (такие куры не разрывают огороды). Этот признак является доминирующим. Управляющий им ген С вызывает одновременно также и укорочение клюва. При этом у гомозиготных цыплят клюв так мал, что они не в состоянии пробить яичную скорлупу и гибнут, не вылупившись из яйца. В инкубаторе хозяйства, разводящего только коротконогих кур, получено 3127 цыплят, из них 2085 коротконогих и 1042 с нормальными ногами. С использованием условных обозначений генов напишите схему скрещивания. Сколько типов гамет может образовать коротконогая курица? Сколько гомозиготных цыплят было получено? Сколько разных генотипов может образоваться при таком скрещивании?

Задача 18. На ферме все утки и селезни имеют хохолок на голове. Ген хохлатости А обладает летальным действием – гомозиготные эмбрионы гибнут перед вылуплением из яйца. В инкубатор было заложено 2400 яиц, полученных в этом стаде. Составьте схему скрещивания и определите, какими могут быть генетически обусловленные потери, при условии, что все яйца являются оплодотворенными. Какое количество из полученных утят будут иметь хохолок? Какую схему скрещивания можно предложить, чтобы избежать отхода?

Задача 19. Так называемые хохлатые утки гетерозиготны по гену А, который в гомозиготном состоянии вызывает гибель эмбрионов. Ген А доминантен по отношению к нормальному гену а. От скрещивания хохлатых уток и селезней было получено 36 утят. Сколько типов гамет может образовывать хохлатый селезень? Сколько утят не вылупилось из яиц? Сколько утят были хохлатыми? Сколько всего нужно было положить в инкубатор яиц, при условии, что все они были оплодотворены, чтобы получить 36 утят? При скрещивании хохлатых уток с нормальными селезнями было получено 44 утенка. Сколько среди них хохлатых?

Задание 20. У лисиц, разводимых в неволе, «платиновая» окраска меха, обусловленная геном А, доминирует в гетерозиготном состоянии над геном а, дающим серебристо-черную окраску. В гомозиготном состоянии ген А вызывает гибель зародышей на ранней стадии развития. Какое потомство следует ожидать при скрещивании «платинового» самца с такой же самкой? Гетерозиготной самки и серебристо-черного самца?

Контрольные вопросы:

1. Методы изучения закономерностей наследования признаков.
2. Какой метод использовал Г. Мендель в опытах по изучению наследственности?

3. Какие основные законы наследственности установил Мендель? В чем суть его открытий?
4. Какие основные принципы гибридологического анализа?
5. Моногибридное скрещивание.
6. Что такое зигота, гомозиготность и гетерозиготность?
7. Обоснуйте связь между процессом мейоза и первым законом Менделя?
8. Что означает термин «локус»?
9. Что такое доминанта и рецессивность?
10. На чем основано четкое расщепление в потомстве при скрещивании гибридов F_1 между собой?
11. Что такое альтернативные и контрастные признаки?
12. Что такое аллели и пара аллелей?
13. В чем различие моногибридного расщепления при его анализе по фенотипу и генотипу?
14. Определение понятий фенотип и генотип.
15. Назовите особенности моно- и дигибридного скрещивания.
16. В чем заключается независимое комбинирование признаков? Какой механизм лежит в основе их расщепления?
17. Какое соотношение потомков бывает во втором поколении дигибридного скрещивания по фенотипу и генотипу?
18. В чем заключается закон частоты гамет?
19. Сколько типов гамет дает дигетерозигота? Тригетерозигота?
20. Полностью ли отражает фенотип генотипическое строение организма? Могут ли особи, одинаковые по фенотипу, иметь различный генотип?
21. Анализирующее скрещивание, для чего оно проводится?
22. Аллеломорфы и аллели.
23. Новообразование.
24. Комплементарные или дополнительные факторы.
25. Криптомерия.
26. Эпистаз и гипостаз.
27. В чем различие между доминированием и эпистазом?
28. Полимерия.
29. Наследование количественных признаков.
30. Приведите примеры различных форм доминирования.
31. Чем отличаются аллельные и неаллельные гены?
32. Охарактеризуйте формы взаимодействия неаллельных генов?
33. Что такое неполное доминирование?
34. Какое соотношение фенотипов и генотипов бывает при неполном доминировании? Приведите примеры.
35. Модифицирующее и плейотропное действие генов.
36. Летальные гены.
37. Генный баланс и генотипическая среда.

3.ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Занятие 15. Сцепленное наследование признаков и кроссинговер

Цель занятия. Знакомство с особенностями сцепленного наследования признаков и кроссинговера.

Методические указания. Сцепленное наследование открыли в 1906 г английские генетики В. Бэтсон и Р. Пеннет, но они не смогли описать причины этого явления. Природу сцепленного наследования выяснили американские исследователи Т. Морган и его сотрудники С. Бриджес и А. Стертевант в 1910 г. Уже в начале 20 века было признано, что правила Менделя носят всеобщий характер. Однако, позже было замечено, что некоторые признаки не дают независимого распределения в потомстве, и таких исключений из третьего закона Менделя накапливалось все больше.

Третий закон Менделя о независимом наследовании признаков имеет место только в том случае, если гены, определяющие эти признаки, находятся в разных парах хромосом. Однако у всех живых организмов число генов во много раз превышает число хромосом в клетке. Из этого положения вытекает вывод, что в каждой хромосоме имеется не один, а много генов. Гены расположены в одной хромосоме, передаются от родителей потомков вместе, т.е. сцепленно.

Сцепленное наследование признаков – это совместное наследование различных генов, находящихся в одной и той же хромосоме.

Основные положения закона сцепленного наследования признаков Т.Моргана:

1. Признаки, гены которых локализованы в одной хромосоме, наследуются сцепленно, и не подчиняются закону независимого наследования признаков:
2. Гены, локализованные в одной хромосоме, называются сцепленными и образуют группу сцепления генов. Количество групп сцепления генов равно гаплоидному количеству хромосом. Например, групп сцепления у человека – 23, дрозофилы – 4, крупного рогатого скота – 30.
3. Сцепление генов бывает полным и неполным. Полное сцепление генов бывает редко, и оно встречается у самцов дрозофилы и самок тутового шелкопряда.
4. Наличие сцепления генов в хромосоме определяется на основе анализирующего дигибридного скрещивания с полной рецессивной формой, как анализатор:
5. Гены расположены в хромосоме в линейной последовательности и находятся друг от друга на определенном расстоянии.
6. Причиной неполного сцепления генов в хромосоме является кроссинговер или перекрест хромосом в профазе митоза и в профазе первого деления мейоза.
7. Кроссинговер – это обмен идентичными участками между гомологичными хромосомами.

8. Гаметы и особи с новыми сочетаниями признаков (генов), появившиеся в результате кроссинговера, называются кроссоверами или рекомбинатами, а сама явление кроссинговера – генетическая рекомбинация.

9. Чем дальше расположены друг от друга в хромосоме гены, тем меньше сила сцепления между генами и тем чаще между ними кроссинговер:

10. Частота кроссинговера определяется в процентах и показывает расстояние между генами в хромосоме:

$$\text{Частота кроссинговера} = \frac{\text{число кроссоверных потомков}}{\text{общее число потомков}} \times 100 \%$$

11. За единицу расстояния между генами в хромосоме принята одна морганида или 1 % кроссоверных особей.

Задание 1. У кролика сцепленные гены пятнистой окраски меха E и короткошерстности N и их рецессивные аллели локализованы в одной паре аутосомных хромосом, гены A и a в другой паре аутосом, а ген D в X-половой хромосоме.

Сколько сортов гамет образуется у кроликов следующих генотипов?

Самец генотипа $\begin{matrix} E & e \\ N & n \end{matrix} \longrightarrow \begin{matrix} E & e \\ N & n \end{matrix}$ 2 сорта 1:1

Самец генотипа $\begin{matrix} E & e & A & a & E & A & E & a & e & A & e & a \end{matrix}$ 4 сорта гамет
 $\begin{matrix} N & n & & & N & n & n & n & & n & & \end{matrix}$

Самка генотипа $\begin{matrix} E & e & D & d & E & D & E & d & e & D & e & d \end{matrix}$ 4 сорта гамет
 $\begin{matrix} N & n & X & X & N & X & N & X & n & X & n & X \end{matrix}$

Самец генотипа $\begin{matrix} E & e & D & d & E & D & E & d & e & D & e & d \end{matrix}$ 4 сорта гамет
 $\begin{matrix} N & n & X & Y & N & X & N & Y & n & X & n & Y \end{matrix}$

Решение типовых задач.

Задача 1. При скрещивании пятнисто-белых (E) и короткошерстных (N) кроликов одноцветными (e) длинношерстными (n) ангорскими кроликами получено потомство F_1 и F_2 . Расстояние между генами пятнистого окраса меха E и короткошерстности N составляет 13 морганид или 13 %. Каковы генотипы спариваемых родителей?

Определите количество и соотношение фенотипов среди потомства F_1 и F_2 .

Генотипы родителей – гомозиготный доминантный и рецессивный. Потомки F_1 гетерозиготный генотип и фенотип пятнисто-белые и

короткошерстные у которых образуется 2 сорта гамет родительского типа 1:1 и 2 сорта кроссинговерных гамет 1:1.

Количество и соотношение фенотипов среди потомков в F_2 :

- Расстояние между генами пятнистого окраса меха E и короткой шерсти N известно и составляет 13 морганид или 13%;
- Значит, кроссинговерных потомков 13 % и среди них два фенотипа и два генотипа в соотношении 1:1 или 6,5 % : 6,5 %;
- У кроссоверов сочетание генов в хромосоме иное, чем у исходных родителей, а именно: « E » с « n », и « e » с « N », а у родителей « E » с « N » и « e » с « n »;
- Потомков родительской формы 87 % и среди них два фенотипа и два генотипа в соотношении 1:1 или 43,5 % : 43,5 % и сочетание генов в хромосоме как у исходных родителей « E » с « N » и « e » с « n ».

Задачи для самостоятельной работы.

Задача 1. У кур коротконогость « A » доминирует над нормальными ногами « a », а розовидный гребень « R » над простым гребнем « r ».

На птицефабрике при скрещивании петухов, имеющих нормальные ноги и простой гребень, с курицами гомозиготного доминантного генотипа, имевшие короткие ноги и розовидный гребень, получены цыплята F_1 .

Курицы F_1 были спарены с петухами гомозиготного рецессивного генотипа по этим признакам.

Среди потомков F_2 получено следующее расщепление по фенотипу:

Коротконогие и розовидный гребень – 387 голов $A. R.$

Нормальные ноги и простой гребень – 395 голов $a. r.$

Нормальные ноги и розовидный гребень – 36 голов $a. R.$

Коротконогие и простой гребень – 32 головы $A. r.$

Определите:

1. Каковы генотипы родителей?
2. Генотип и фенотип цыплят F_1 .
3. Генотипы и фенотипы кур F_2 и их соотношение.
4. Расстояние между генами коротконогости « A » и розовидного гребня « R »

Задача 2. От скрещивания серебристых ген « S » полосатых ген « B » с петухами золотистыми ген « s » не полосатыми ген « b » из F_1 отобрали петухов для анализирующего дигибридного скрещивания с золотистыми не полосатыми курами, и в F_2 было получено:

1. серебристо полосатые 282 головы $S.B.$

2. золотисто не полосатые 266 голов $ssbb$

3. серебристо не полосатые 126 голов $S.b$

4. золотисто полосатые 106 голов $sB.$

Каковы генотипы исходный скрещиваемых родительских форм? Каковы генотипы и фенотипы потомков F_1 ? Каковы генотипы и фенотипы и их соотношение в потомстве F_2 ?

Какой % кроссинговера или расстояние в хромосоме между генами серебристости «S» и полосатости оперения «В»?

Задача 3. На птицефабрике проведено спаривание белых без хохолка на голове куриц с черными хохлатыми петухами. Гибриды F_1 по фенотипу белые хохлатки, а по генотипу дигетерозиготные.

Проведено спаривание гибридов F_1 с рецессивной формой и в F_2 получено:

Белые без хохла – 5005 голов

Черные хохлатые – 5030 голов

Черные без хохла – 2505 голов

Белые хохлатые – 2406 голов

Каковы генотипы спариваемых родителей?

Определить процент кроссинговера между генами белого оперения и наличие хохолка на голове.

A – белое оперение

a – черное оперение

B – наличие хохолка на голове

b – нет хохолка на голове

Задача 4. При скрещивании чистопородных свиной черной масти с чистопородными белыми в F_1 получили 212 белых поросят. В F_2 получили 425 поросят, из которых 319 имели белую масть, 106 – черную. С использованием условных обозначений генов напишите схемы скрещивания. Сколько типов гамет может образовать свинья F_1 ? Сколько типов гамет может образовать чистопородный белый самец? С какими свиньями необходимо скрестить белого хряка, чтобы выяснить, имеет ли он в генотипе аллель черной масти?

Задача 5. При скрещивании голошеих кур с петухами, имеющими нормально оперенную шею, в F_1 получили 137 голошеих цыплят. В F_2 получили 365 цыплят, из которых 275 были голошеими, 90 имели нормально оперенную шею. С использованием условных обозначений генов напишите схемы скрещивания. Сколько типов гамет может образовать курица F_1 ? Сколько разных генотипов может быть в F_2 ?

Задание 6. При скрещивании шелковистых кур с нормальными петухами в F_1 получили 45 нормальных цыплят, в F_2 – 218, из них 162 нормальных и 56 шелковистых. С использованием условных обозначений генов напишите схемы скрещивания. Сколько разных генотипов может образоваться в F_2 ? Какова вероятность появления гомозиготных нормальных цыплят в F_2 ? Сколько типов гамет может образовать курица F_2 ?

Занятие 16. Наследование признаков сцепленных с полом

Цель занятия. Уяснить символику обозначения половых хромосом, гетерогаметного и гомогаметного пола, образование типов гамет у самцов и

самок. Познать характер и особенности наследования признаков, сцепленных с полом у сельскохозяйственных животных.

Методические указания. Пол как любой другой признак, наследственно обусловлен. Наследование пола, как и сцепленных с полом признаков, является доказательством роли хромосом в наследственности.

Самки и самцы разных видов животных различаются по набору хромосом.

У млекопитающих, включая человека и сельскохозяйственных животных, особи женского пола содержат две гомологичные половые хромосомы, названные X – половыми хромосомами, а мужские особи одну X – хромосому, а вторая не гомологичная ей хромосома называется Y – хромосома.

Итак, набор половых хромосом женского пола обозначен XX , а мужского пола XY . У птиц в кариотипе мужского пола две одинаковые половые хромосомы ZZ , а у женских особей ZW .

Женский пол млекопитающих и человека XX – называется гомогаметным полом, дающим один тип половых гамет, а мужской пол XY – называют гетерогаметным полом, дающий два типа гамет в соотношении 1:1 или 50 % : 50 %.

Женский пол птиц - ZW – гетерогаметным, а мужской пол – ZZ – гомогаметным, дающие соответственно два и один тип половых гамет.

Признаки, гены которых локализованы в X и Z – хромосомах, называют признаками, сцепленными с полом.

Наследование таких признаков зависит от поведения половых хромосом в мейозе при образовании гамет, от гетерогаметности или гомогаметности пола и от генетических особенностей половых хромосом.

Y и W – хромосомы, в отличие от X и Z – хромосом, генетически инертны и локализованные в X и Z – хромосомах гены не имеют своих аллелей в Y и W – хромосомах.

При сцеплении гена с X – хромосомой он передается от матери сыновьями и дочерям, а от отца только дочерям.

Решение типовых задач.

Задача 1. В диплоидном наборе соматических клеток крупного рогатого скота содержится 60 хромосом, лошади – 64, овец – 54, свиньи – 38, кур – 78.

Сколько хромосом содержится в половых клетках этих животных?

| Крупный рогатый скот | лошади | овцы | свиньи | куры |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $2n = 60$ | $2n = 64$ | $2n = 54$ | $2n = 38$ | $2n = 78$ |
| 30 30 | 32 32 | 27 27 | 19 19 | 39 39 |

Сколько пар аутомсомных и половых хромосом содержится в соматических клетках этих животных?

| Крупный рогатый скот | лошади | овцы | свиньи | куры |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $A = 29 + XX$ | $A = 31 + XX$ | $A = 26 + XX$ | $A = 18 + XX$ | $A = 38 + ZZ$ |
| 29 + XY | 31 + XY | 26 + XY | 18 + XX | 38 + ZW |

Задача 2. Пестрая (полосатая) окраска оперения кур породы плимутрок обусловлена доминантным геном «В», локализованным в Z – половой хромосоме. Рецессивный ген «в» обуславливает черную окраску оперения.

3. Соотношение по окраске оперения в потомстве F_1 , полученном от спаривания серого петуха, мать которого имела черное оперение, с курицами черного оперения:

$$\begin{array}{l}
 P \quad \text{♂} \quad \overset{B}{Z} \overset{b}{Z} \quad \times \quad \overset{b}{Z} W \quad \text{♀} \\
 G \quad \overset{B}{Z} \overset{b}{Z} \quad \quad \quad \overset{b}{Z} W \\
 F_1 \quad \overset{B}{Z} \overset{b}{Z} \quad \overset{b}{Z} \overset{b}{Z} \quad \overset{B}{Z} W \quad \overset{b}{Z} W \\
 \text{♂} \text{ серая} \quad \text{черная} \quad \quad \text{серая} \quad \text{черная} \quad \text{♀}
 \end{array}$$

Среди петушков два фенотипа и два генотипа в соотношениях 1:1 или 25 % : 25 %.

Среди курочек также два фенотипа и два генотипа в соотношениях 1:1 или 25 % : 25 %.

Такое соотношение фенотипов с учетом пола потомков F_1 обуславливается гетерозиготным генотипом петухов $\overset{B}{Z} \overset{b}{Z}$ и наличием рецессива «в» в Z – хромосоме куриц $\overset{b}{Z} W$, а также характером наследования – отец передает признак дочерям (ген «В» и «в»), а мать сыновьям (ген «в»).

Задачи для самостоятельной работы.

Задача 1. У кур породы плимутрок, сцепленный с полом доминантный ген серой окраски оперения «В», проявляется у однодневных цыплят в виде белого пятна на голове. Оперившиеся цыплята становятся серыми.

Можно ли по метке на голове определить пол цыплят в суточном возрасте:

- Если черные курицы спариваются с гетерозиготными серыми петухами
- Если серые курицы спариваются с гетерозиготными серыми петухами
- Если черные курицы спариваются с гомозиготными серыми петухами
- Если серые курицы спариваются с черными петухами

Задача 2. У кур породы виандот имеется две формы полосатости – серебристая (белая) и золотистая (коричневая).

При спаривании серебристо-полосатых куриц с золотисто-полосатыми петухами в F_1 все петушки имели серебристую полосатость, а курочки золотистую.

Определите, какая аллель доминирует?

Задача 3. У кошек гены определяющие окраску шерсти, сцеплены с полом. Рыжая окраска ген «В» доминирует неполно над черной ген «в» и у гетерозигот «Вв» формируется пестрая или «черепаховая» или «мраморная» окраска.

Каким будет потомство по фенотипу, полученное от спаривания черного кота с пестрой кошкой и с рыжей кошкой?

Задача 4. Каких детей можно ожидать от брака:

1. между нормальным мужчиной и женщиной, страдающей дальтонизмом.
2. между мужчиной и женщиной страдающих дальтонизмом
3. между мужчиной дальтоником и нормальной женщиной, отец которой был дальтоник.

Задача 5. Голубоглазый нормальный по гемофилии юноша, родители которого имели карие глаза, женился на кареглазой нормальной по гемофилии девушке, отец которой имел голубые, а мать карие глаза. От этого брака родилось несколько детей, в том числе два сына, один из которых

гемофилик голубоглазый. Каковы генотипы родителей? Каковы генотипы детей? Каковы фенотипы детей?

Задача 6. Гемофилия и дальтонизм наследуются как рецессивные признаки, сцепленные с X-половой хромосомой. Расстояние между этими генами 9,8 морганид или 9,8 %.

1. Девушка, отец которой страдает одновременно гемофилией и дальтонизмом, а мать здорова и происходит от благополучной по этим заболеваниям семьи. Выход замуж за здорового мужчину. Определить фенотипы и генотипы девушки, мужчины и вероятные фенотипы детей и их соотношение.

2. Девушка, мать которой страдал дальтонизмом, а отец гемофилией, вступает в брак с женщиной, страдающей обоими заболеваниями. Определите фенотипы и генотипы девушки и мужчины и вероятность рождения детей в этой семье одновременно с обоими аномалиями.

Задача 7. У канарейки сцепленный с полом доминантный ген В, локализованный в Z-хромосоме, определяет зеленую окраску оперения, а рецессивный ген в коричневую окраску оперения.

Наличие хохолка зависит от аутосомного доминантного гена С, а его отсутствие от аутосомного рецессивного гена с.

1. Зеленого хохлатого самца скрещивают с коричневой самкой без хохолка. Получено потомство F₁ и F₂. Определить генотипы спариваемых родителей. Фенотип и генотип потомков в F₁. Фенотипы и их соотношение в потомстве F₂ с учетом пола.

2. Зеленого без хохла самца скрещивают с коричневой хохлатой самкой.

3. Оба родители зеленые хохлатые и от их спаривания в F₁ получено: - самцы зеленые хохлатые, самки зеленые хохлатые, самки коричневые хохлатые.

Задача 8. У бронзовых индеек встречается своеобразное дрожание тела – вибрирование. Оно оказалось наследственным и сцепленным с полом. Жизнеспособность птиц,отягощенных этим дефектом, была нормальной, а при разведении их «в себе» получалось аномальное потомство. Но когда «вибрирующих» индюков скрещивали с нормальными индейками, то все потомки-самки были аномальны, а самцы – нормальны. Как объяснить это явление? Напишите схему скрещивания. Примите во внимание, что у птиц гетерогаметный пол женский.

Контрольные вопросы

1. Что означает сцепление генов?
2. Какие признаки называются сцепленными?
3. Что такое «группа сцепления»?
4. Какое количество групп сцепления у разных видов домашних и промысловых животных?

5. Что является причиной нарушения сцепления между признаками?
6. Что такое кроссинговер?
7. В каких единицах измеряется расстояние между генами в хромосоме?
8. Как определяется частота перекреста между двумя генами, локализованными в одной хромосоме?
9. Сформулируйте основные положения хромосомной теории наследственности.
10. Какие гаметы называются кроссинговерными и некроссинговерными?
11. У каких организмов не происходит явление кроссинговера и по какой причине?
12. Какие гаметы называются кроссоверными и некроссоверными?
13. Что такое половые хромосомы и аутосомы?
14. Всегда ли кроссинговер приводит к генетической рекомбинации?
15. Как доказать, что гены в хромосомах расположены линейно?
16. Опишите механизмы определения пола.
17. Как наследуется пол у млекопитающих, мухи дрозофилы, птицы, тутового шелкопряда?
18. В чем различия между половыми хромосомами и аутосомами?
19. Чем отличаются наборы хромосом самок и самцов у млекопитающих и птиц?
20. Какой пол называется гомогаметным, а какой гетерогаметным?
21. Какие признаки называются сцепленными с полом? Каковы особенности их наследования?
22. Что такое гомозиготность?
23. В чем заключается сущность балансовой теории определения пола?
24. Как можно объяснить генетическую природу бисексуальности организмов? Какие исследования свидетельствуют о возможности искусственной регуляции пола?
25. Приведите примеры практического использования сцепленного с полом наследования.

4. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Занятие 17. Строение и репликация нуклеиновых кислот

Цель занятия. Изучение на молекулярном уровне генетического материала клетки, составляющего материальную основу наследственности. Это позволит выяснить структурные и функциональные особенности, определяющие основные свойства наследственности.

Методические указания. Из ядер клеток человека Ф. Мишером (1868 г.) было выделено вещество, названное им нуклеином. При изучении нуклеина установлено, что он представлен двумя типами нуклеиновых кислот – дезоксирибонуклеиновой кислотой (ДНК), локализованной

преимущественно в ядре, и рибонуклеиновой кислоты (РНК), находящейся в ядре клетки и цитоплазме.

Нуклеиновые кислоты – сложные биологические полимеры, состоящие из более простых соединений (нуклеотидов). ДНК – сложный биополимер состоящий из 10^8 нуклеотидов и более, способный к самовоспроизведению. Нуклеотиды ДНК состоят из остатка фосфорной кислоты (Ф), сахара – дезоксирибозы (Д) и одного из четырех азотистых оснований: пуриновых – аденина (А), гуанина (Г) и пиримидиновых – тимина (Т), цитозина (Ц).

ДНК построена по типу комплементарности, т.е. дополнительности (как застежка «молния») аденин всегда присоединяет тимин, цитозин – гуанин. Отличается одна ДНК от другой числом и последовательностью расположения азотистых оснований.

Нуклеотиды в молекулах ДНК и РНК связываются между собой через фосфорную кислоту. Аденин и тимин соединены между собой двойными водородными связями, гуанин с цитозином – тройными.

Нуклеотиды ДНК:



Нуклеотиды называются по входящим в их состав азотистым основаниям и обозначаются начальными буквами их названий.

Расстояние между нуклеотидами $3,4 \text{ \AA}$ (1 \AA - ангстрем равен десяти миллионной доле миллиметра или 0,34 нм (нанометра)). Молекула ДНК состоит из двух цепочек нуклеотидов, соединенных комплементарно.

Число нуклеотидов их последовательность в молекуле ДНК специфичны для каждого вида и частично для каждой особи.

Коэффициентом видовой специфичности называют соотношение

$$\frac{A + T}{G + C}$$

Репликация ДНК происходит в интерфазе митоза. Репликацией называют процесс самокопирования молекулы ДНК с точным соблюдением порядка чередования нуклеотидов, присущего исходным комплементарным нитям. Под действием ферментов двойные нити ДНК расплетаются, и каждая нить по правилу комплементарности достраивает вторую.

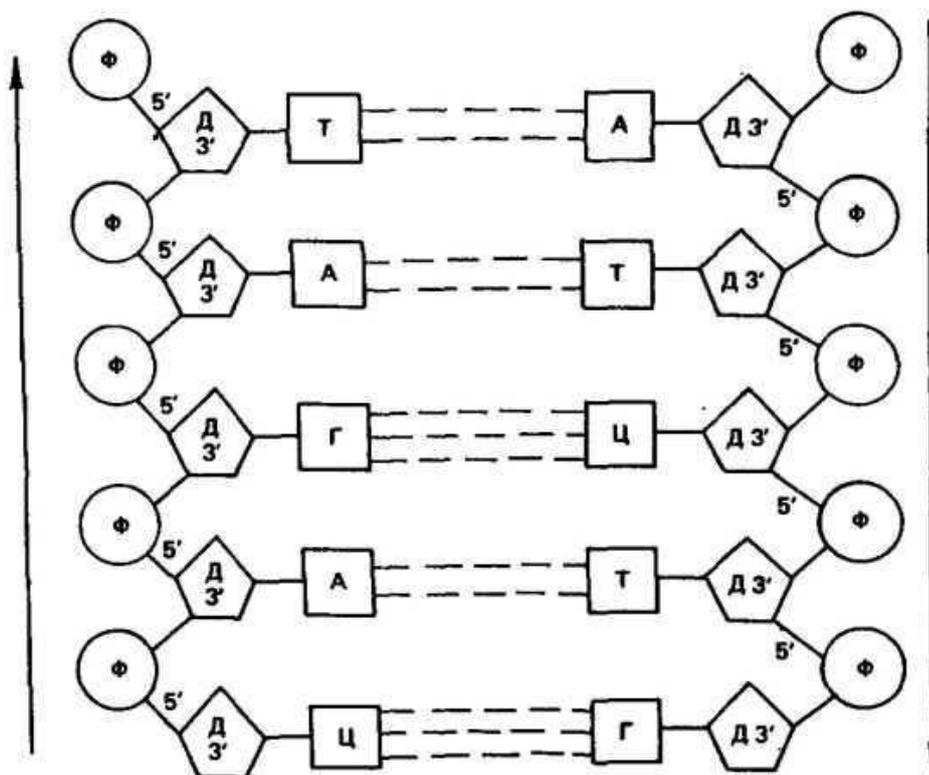
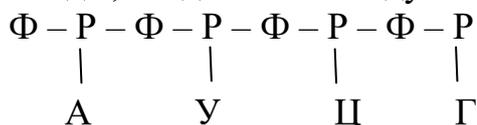


Рис. 15 – Схема отрезка двухцепочной молекулы ДНК

РНК состоит из двух нуклеотидов, в состав которых входит остаток фосфорной кислоты (Ф), пентозный сахар рибоза (Р) и одно из четырех азотистых оснований аденин (А), гуанин (Г), цитозин (Ц) и урацил (У). Нуклеотиды, соединяясь между собой, образуют нить РНК.



Урацил комплементарен аденину. В отличие от ДНК, РНК является в основном одноцепочной и не способна у многоклеточных организмов к делению и самовоспроизведению.

Информационная РНК (и-РНК) синтезируется на структурных генах ДНК. Двойная нить ДНК расплетается, образуя одиночные нити, и только одна из них является матрицей для синтеза и-РНК, на которой по правилу комплементарности она и синтезируется.

Занятие 18. Генный контроль синтез белка, фермента, гормона в клетке

Цель занятия. Уяснить процесс синтеза молекул ДНК, РНК, белков, ферментов, гормонов и познать сущность генетического кода наследственности.

Методические указания. Основания соединены друг с другом не случайно, а согласно правилам Э. Чаргаффа, который установил, что количество аденина в ДНК равно количеству тимина, а количество гуанина –

количеству цитозина. Следовательно, соединений нитей ДНК носит комплементарный характер (А – Т, Г – Ц).

Процесс реализации наследственной информации в биосинтезе белка в клетке осуществляется при участии трех видов рибонуклеиновых кислот: информационной – и-РНК, рибосомальной – р-РНК и транспортной – т-РНК. Все рибонуклеиновые кислоты синтезируются на соответствующих участках молекулы ДНК.

Белки различаются друг от друга составом и порядком расположения аминокислот. Информация о составе белка находится в молекулах ДНК. Последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК, определяющая последовательность аминокислот в молекуле синтезируемого белка, называется **генетическим кодом**. Одну аминокислоту кодируют три нуклеотида, называемых **кодоном**.

Процесс биосинтеза белка включает транскрипцию и трансляцию. Транскрипция происходит в ядре клетки: на участке определенного гена молекулы ДНК синтезируется и-РНК. В результате транскрипции и-РНК содержит генетическую информацию в виде последовательного чередования нуклеотидов, порядок которых точно скопирован с соответствующего участка (гена) молекулы ДНК (рис. 16)

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----|---|---|-----|---|---|-----|---|---|-----|---|---|
| ДНК (фрагмент) | Г | Т | Г | Г | Г | А | Т | Т | Т | Ц | Г | Т |
| | Ц | А | Ц | Ц | Ц | Т | А | А | А | Г | Ц | А |
| иРНК (фрагмент) | Г | У | Г | Г | Г | А | У | У | У | Ц | Г | У |
| Антикодоны тРНК | Ц | А | Ц | Ц | Ц | У | А | А | А | Г | Ц | А |
| Полипептид (фрагмент) | Вал | | | Гли | | | Фен | | | Арг | | |

Рисунок. 16 – Схема кодирования аминокислот кодонами

Перенос генетической информации об аминокислотном составе с ДНК (трансляция) осуществляется путем синтеза и-РНК на структурных генах матричной нити ДНК. В синтезе белка участвуют 20 аминокислот, каждая из которых переносится своей транспортной (т-РНК) на рибосому. Транспортная РНК имеет антикодон, комплементарный кодону на и-РНК, благодаря которому к акцепторному участку (конец) т-РНК присоединяется соответствующая аминокислота.

Таблица 5 – Последовательность нуклеотидов в кодонах и-РНК для различных аминокислот

| Аминокислота | КОДОН | | | | | |
|-----------------------------|--------|-----|------|------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Фенилаланин (Фен) | УУУ | УУЦ | | | | |
| Лейцин (Лей) | УУА | УУГ | ЦУУ | ЦУЦ | ЦУА | ЦУГ |
| Изолейцин (Илей) | АУУ | АУЦ | АУА | | | |
| Метионин (Мет) | АУГ* | | | | | |
| Валин (Вал) | ГУУ | ГУЦ | ГУА | ГУГ* | | |
| Серин (Сер) | УЦУ | УЦЦ | УЦА | УЦГ | АГУ | АГЦ |
| Пролин (Про) | ЦЦУ | ЦЦЦ | ЦЦА | ЦЦГ | | |
| Треонин (Тре) | АЦУ | АЦЦ | АЦА | АЦГ | | |
| Аланин (Ала) | ГЦУ | ГЦЦ | ГЦА | ГЦГ | | |
| Тирозин (Тир) | УАУ | УАЦ | УАА* | УАГ* | | |
| Гистидин (Гис) | ЦАУ | ЦАЦ | | | | |
| Аспарагин (Асп) | ААУ | ААЦ | | | | |
| Аспарагиновая кислота (Асп) | ГАУ | ГАЦ | | | | |
| Лизин (Лиз) | ААА | ААГ | | | | |
| Глутамин (Глн) | ЦАА | ЦАГ | | | | |
| Глутаминовая кислота (Глу) | ГАА | ГАГ | | | | |
| Цистеин (Цис) | УГУ | УГЦ | УГА* | | | |
| Триптофан (Три) | УГГ | | | | | |
| Аргинин (Арг) | ЦГУ | ЦГЦ | ЦГА | ЦГГ | АГА | АГГ |
| Глицин (Гли) | ГГУ | ГГЦ | ГГА | ГГГ | | |
| «Охра» (стоп-сигнал) | УАА** | | | | | |
| «Амбер» (стоп-сигнал) | УАГ** | | | | | |
| «Опал» (стоп-сигнал) | УГА** | | | | | |
| Инициатор синтеза | АУГ*** | | | | | |
| Инициатор синтеза | ГУГ*** | | | | | |

* Если кодон АУГ находится в начале молекулы и-РНК, он выполняет функцию инициатора синтеза полипептидной цепи; если же он расположен на одном из внутренних участков молекулы и-РНК, то кодирует аминокислоту метионин.

** Триплеты УАА, УАГ, УГА не кодируют аминокислот, а служат сигналами терминации полипептидной цепи и получили название нонсенс-кодонов (бессмысленных кодонов).

*** Триплеты АУГ и ГУГ одновременно выполняют роль старт-кодонов (кодонов инициаторов).

При комплементарности антикодона т-РНК с основаниями и-РНК аминокислота включается в полипептидную цепь на рибосомах. Матрицей для синтеза белка служит и-РНК.

Путем информации, которую несет и-РНК от ДНК, определяется последовательность аминокислот во всех белках. Этот процесс носит название **трансляция**.

В таблице 5 можно найти нуклеотиды и-РНК, кодирующие аминокислоты. В ней показано, что аланин могут кодировать четыре кодона

– ГЦУ, ГЦЦ, ГЦА, ГЦГ; фенилаланин – два кодона – УУУ и УУЦ; серин – шесть и т.д.

Одна аминокислота кодируется несколькими кодонами. Такой код, когда одна аминокислота может быть включена в белковую молекулу несколькими триплетами, называется **вырожденным**.

Определить антикодоны т-РНК не представляет трудности. Нуклеотиды антикодона комплементарны нуклеотидам и-РНК.

Задача 1. Укажите, какие из перечисленных химических соединений: рибоза – Р, дезоксирибоза – Д, фосфорная кислота – Ф, азотистые основания – аденин А, гуанин Г, цитозин Ц, урацил У, тимин Т – входят в состав нуклеотидов молекул ДНК и РНК.

Задача 2. На участке одной цепи молекулы ДНК нуклеотиды расположены в такой последовательности: ТГГАЦЦГТАГЦТА.

Составьте модель двухцепочной структуры молекулы ДНК.

Каким принципом при этом следует руководствоваться?

Какова длина (в А°) этого фрагмента ДНК.

Задача 3. В молекуле ДНК адениновый нуклеотид составляет 22 % от общего количества нуклеотидов.

Определите количество Т, Ц, Г в %. Каким правилом нужно воспользоваться?

Задача 4. Чему равна общая длина молекул ДНК человека в одной половой клетке, если общее количество нуклеотидов в ядре клетки составляет 3,4 млрд. пар?

Задача 5. В одной цепи молекулы ДНК следующее расположение азотистых оснований:

ГГЦ АТЦ ТТА ГЦА АТЦ ГЦА

Подсчитайте число каждого из четырех оснований в двойной цепи молекулы ДНК. Определите отношение комплементарных оснований в молекуле ДНК.

Задача 6. Участок гена имеет нуклеотиды

ГГГ АТЦ ТАА ЦГЦ ТГА ГГА ЦАТ

Определите комплементарные азотистые основания в молекуле и-РНК

Задача 7. В и – РНК следующие антикодоны:

ГАА ЦАГ УЦА ГАЦ АУУ

Каковы кодоны в гене?

Задача 8. Какую длину имеют гены, кодирующие молекулы нормального гемоглобина А человека, в структуре которого 287 аминокислот и инсулина быка, состоящего из 51 аминокислоты.

Задача 9. Ген вазопрессина, гормона гипофиза, повышающий кровяное давление состоит из 27 нуклеотидов или 9 триплетов.

Составьте нуклеотидную структуру и – РНК.

Определите аминокислотную структуру гормона вазопрессина, пользуясь генетическим кодом наследственности. Какая стадия синтеза гормона называется транскрипцией, а какая трансляцией?

Ген АЦА АТА ААА ЦТТ ЦТА АЦА ГГА ГЦА ЦЦА

Задача 10. Окситоцин, гормон гипофиза, вызывающий сокращение гладкой мускулатуры имеет такую же аминокислотную структуру, как гормон вазопрессин, но на 3-м месте стоит изолейцин вместо фенилаланина и на 8-м месте лейцин вместо аргинина.

Пользуясь генетическим кодом наследственности постройте нуклеотидную или триплетную структуру и – РНК и гена, хранящего программу синтеза окситоцина.

Гормон цистеин тирозин изолейцин глут. к. аспарг. к. цистеин пролин лейцин глицин

Задача 11. При синдроме Фанкони – нарушение образования костной ткани – у больного с мочой выделяются аминокислоты, которым соответствуют следующие триплеты и – РНК.

Определите нуклеотидную структуру участка гена.

Выделение каких аминокислот с мочой характерно для синдрома Фанкони?

И – РНК АУА ГУЦ АУГ УЦА УУГ УАУ ГУУ АУУ

Задача 12. У человека, больного цистинурией – содержание в моче большего, чем в норме, количества аминокислот, особенно цистина, что и приводит к образованию цистиновых камней в почках с мочой выделяются аминокислоты, которым соответствуют триплеты и – РНК: ЦЦУ ГУУ ЦУГ ГУГ УЦГ ГУЦ АУА.

У здоровых людей в моче обнаруживаются аминокислоты: аланин – серин – глутаминовая кислота – глицин.

Какова нуклеотидная структура гена, кодирующего аминокислоты у больных и здоровых людей? Выделение каких аминокислот с мочой характерно для больных цистинурией?

Задача 13. Четвертый пептид в нормальном гемоглобине «А» человека состоит из аминокислот: валин – гистидин – лейцин – треонин – пролин – глутаминовая кислота – глутаминовая кислота – лизин.

У больного с синдромом спленомегалия при умеренной анемии – хроническое увеличение печени – аминокислотный состав четвертого пептида гемоглобина «С» (мутантная форма): валин – гистидин – лейцин – треонин – пролин – лизин – глутаминовая кислота – лизин.

У больного серповидноклеточной анемией – гемоглобин «S» мутантная форма – состав аминокислот четвертого пептида: валин – гистидин – лейцин – треонин – пролин – валин – глутаминовая кислота – лизин.

Определите изменения в участке гена, кодирующим четвертый пептид гемоглобина, приведшие к заболеваниям.

Задача 14. Участок матричной цепи молекулы ДНК имеет последовательность нуклеотидов:

AAA ТГЦ ГЦГ ТТТ ЦЦА АГТ ГГЦ ТАА

Какова первичная структура белка, закодированная в этом гене? Какой станет структура синтезируемого белка при выпадении в этой цепи гена 8-го и 12-го нуклеотида под влиянием облучения?

Задача 15. Молекула инсулина (гормон поджелудочной железы) состоит из двух связанных между собой полипептидов А и В.

У крупного рогатого скота, овец и лошадей в полипептиде А состав аминокислот: глицин – изолейцин – валин – глутаминовая кислота – глутаминовая кислота – цистеин – цистеин. Восьмая и девятая аминокислоты у крупного рогатого скота – аланин и серин, у овец – аланин и глицин, у лошадей – треонин и глицин.

Определите строение участка гена, кодирующего эту часть инсулина у этих животных.

Задача 16. Амилаза – фермент, расщепляющий крахмал. У крупного рогатого скота чаще всего встречаются два типа этого фермента: В и С, которые контролируются двумя кодоминантными генами «Am b» и «Amc». В стаде крупного рогатого скота было установлено следующее распределение этого фермента по типам: 58 особей типа ВВ, 216 – ВС и 186 – СС. Определите частоту фенотипов и концентрацию аллелей Atb и Atc.

Задача 17. Цепочка аминокислот участка рибонуклеазы имеет следующее строение: лизин—глутамин—треонин—аланин—аланин—аланин— лизин ... Какова последовательность азотистых оснований участка гена, соответствующего этому участку белка?

Контрольные вопросы.

1. Каким образом ДНК сохраняет, передает и реализует наследственную информацию?
2. Какую функцию выполняет каждый входящий в оперон фрагмент ДНК?
3. Свойства генетического кода
4. Что такое «ген» в современном понятии? Функции и свойства генов различных типов.
5. Как осуществляется синтез и выделение генов?
6. Сколько встречается пар оснований в двойной спирали ДНК?
7. В чем заключается комплементарность азотистых оснований в цепи ДНК?
8. Какого биологического значения ДНК?
9. В чем различие молекул ДНК и РНК?
10. Определение понятий трансляция и транскрипция?
11. Что такое кодон и антикодон? Какова их биологическая роль?

12. Можно ли между понятиями «триплет» и «кодон» ставить знак равенства?
13. По какой схеме идет синтез белка?
14. Что служит доказательством генетической роли нуклеиновых кислот?
15. Каковы механизмы репликации ДНК?
16. Могут ли т-РНК встраивать в полипептидную цепь несвойственную им аминокислоту? Могут ли т-РНК «ошибаться»?
17. Каким образом в клетке закодирована наследственная информация.
18. Что такое ген в современном понимании.

5. ГЕНЕТИКА ПОПУЛЯЦИЙ

Занятие 19. Основные понятия. Генетические процессы в популяции

Цель занятия. Приобрести навыки по анализу и учету структуры популяций. На основе полученных параметров популяционной генетики необходимо научиться прогнозировать вероятность появления новых генотипов.

Методические указания. Популяция – многочисленная совокупность организмов одного вида, общего происхождения, с характерными особенностями, занимающая определенную территорию и свободно спаривающаяся друг с другом. Генетика популяций изучает процессы, происходящие в данной совокупности и определяющие ее генетическую структуру. Генетическая структура популяции может изменяться под воздействием скрещивания, отбора, мутаций и т.д. и может оставаться неизменной, т.е. находиться в состоянии равновесия.

В 1908 г английский математик Харди и немецкий врач Вайнберг, работая независимо друг от друга, опубликовали некоторые фундаментальные представления о распределении генов в популяциях, которые теперь известны под названием закона Харди-Вайнберга.

Суть закона Харди-Вайнберга заключается в том, что в популяции, при свободном скрещивании сохраняется постоянство генетической структуры при постоянстве частоты генотипов, что выражается коэффициентом частот размножения бинорма. Сохранение в потомстве той же генетической структуры, что и в исходном поколении, называется генетическим состоянием популяции.

Панмиктической называют такую популяцию, которая имеет большую численность особей, свободно спаривающихся между собой, не подвергающихся действию отбора, миграции и мутации. В результате этого генетическая структура популяции не изменяется и может находиться в состоянии равновесия ($AA + Aa + aa = 1$ или 100 %), которое можно выразить формулой Харди-Вайнберга:

$$p^2 AA + 2pq Aa + q^2 aa = 1 \text{ (100 \%)}$$

где p^2 - частота доминантных гомозигот (генотип AA);

q^2 – частота рецессивных гомозигот (генотип aa);

$2 \cdot p \cdot q$ – частота гетерозигот (генотип Aa)

p – частота доминантного аллеля A

q – частота рецессивного аллеля a .

Если наличие доминантного аллеля A обозначить буквой p , а рецессивного аллеля a – буквой q , и сделав анализ скрещивания между особями F_1 , возникшие при этом генотипы и их частоты можно выразить в решетке Пеннета.

| | | |
|-------------|-----------------|-----------------|
| ♀ \ ♂ | $(p) A=0,5$ | $(q) a=0,5$ |
| $(p) A=0,5$ | $(p^2) AA=0,25$ | $(pq) Aa=0,25$ |
| $(q) a=0,5$ | $(pq) Aa=0,25$ | $(q^2) aa=0,25$ |

Три возможных генотипа, образующих при скрещивании в популяции, могут теоретически представлены следующими частотами: AA (0,25); $2Aa$ (0,5); aa (0,25). Сумма частот трех генотипов в данной популяции равна единице. Пользуясь буквенными обозначениями p и q можно сделать вывод, что вероятность генотипов будет следующая:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

На математическом уровне $p + q = 1$ представляет собой уравнение вероятности, тогда как $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ является квадратом этого уравнения, т.е. $(p+q)^2$. В связи с этим можно вычислить частоты всех аллелей и генотипов, пользуясь выражениями для частот аллелей:

$$p + q = 1 \quad (p = 1 - q, \quad q = 1 - p), \quad \text{для частот генотипов } p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Таким образом, закон гласит, что в больших популяциях, где спаривания происходят случайно по меньшей мере на протяжении жизни одного поколения и где:

1. частота одного из двух аллелей равна p частота другого аллеля q . Сумма частот p и $q = 1$.
2. потомство трех генотипов будет находиться в четко различимых соотношениях p^2 , $2pq$, q^2 .
3. число гомозиготных доминантных особей p^2A , число гомозиготных рецессивных особей q^2a , число гетерозиготных особей $2pq Aa$.

Однако, для большинства популяций частоту обоих аллелей (A и a) можно вычислить только по доле особей гомозиготных по рецессивному аллелю, так как это единственный генотип, который можно распознать непосредственно по его фенотипическому выражению.

Породы и стада сельскохозяйственных животных не являются свободно размножающимися панмиктическими популяциями. В хозяйствах обычно проводится целенаправленная племенная работа, специальный подбор родительских пар для получения потомства желаемого качества и строгий отбор производителей. Тем не менее, закономерности, установленные для панмиктических популяций Г. Харди и В. Вайнбергом, позволяют анализировать генетические процессы, протекающие в популяции сельскохозяйственных животных. Подобные расчеты имеют большое

значение в селекции животных, когда приходится иметь дело с довольно многочисленной группой наследственных заболеваний, наследующихся по простому рецессивному типу.

Занятие 20. Определение частот фенотипов, генотипов и аллелей Определение генетической структуры и генного равновесия популяции животных

Определение частот фенотипов, генотипов и аллелей зависит от характера признака, его наследования и проявления фенотипически.

Вычисление в популяции животных частоты фенотипов и генотипов.

Частота определенного фенотипа в популяции – это количество животных данного фенотипа, выраженное в процентах или долях единицы от общего количества животных в популяции.

Формула для вычисления частот фенотипов в популяции:

$$\text{Частота фенотипа } A = \frac{n_1 \times 100\%}{N}$$

$$\text{Частота фенотипа } a = \frac{n_2 \times 100\%}{N}$$

Где N – количество животных в популяции

n_1 – количество животных в популяции с признаком A

n_2 – количество животных в популяции с признаком a .

Эти формулы применимы не только для идеальной популяции, но и для любой популяционной группы животных.

Решение типовой задачи.

Задача 1. На звероферме 836 голов стандартной норки и 270 голов алеутской норки. Вычислить частоту фенотипов стандартной и алеутской норки.

Решение:

$N = 1106$ голов

$n_1 = 836$ голов стандартной норки – « A »

$n_2 = 270$ голов алеутской норки – « a »

частота фенотипа « A » - стандартной норки

$$A = \frac{n_1 \times 100\%}{N} = \frac{836 \times 100\%}{1106} = 75,5\% \text{ или } 0,76 \text{ долей единицы}$$

Частота фенотипа « a » - алеутской норки

$$a = \frac{n_2 \times 100\%}{N} = \frac{270 \times 100\%}{1106} = 24,4\% \text{ или } 0,24 \text{ долей единицы.}$$

Задачи для самостоятельной работы.

Задача 2. Вычислить частоту доминантного аллеля « A » и рецессивного аллеля « a » в популяции соболя, в которой 400 голов черного окраса меха и 100 голов светлого окраса.

Задача 3. Контрактура мышц, крупного рогатого скота, при которой конечности родившихся телят согнуты в суставах и лишены подвижности.

В одной из ферм Норвегии из 376 родившихся за год телят 9 были с этой рецессивной аномалии.

Задача 4. В отаре каракульских овец 536 голов ширази (серая окраска смушков) и 272 головы араби (черная окраска смушков).

Вычислите частоту фенотипов ширази и араби..

Задача 5. β – лактоглобулин (β -Lq) один из полиморфных белков сыворотки молока. У крупного рогатого скота большинства отечественных пород встречается два типа этого белка: β -Lq A и β -Lq B.

По наличию обоих типов белка с учетом кодоминирования различают три фенотипа: β -Lq A β -Lq B β -Lq AB

Результаты исследования сыворотки молока 520 коров красной степной породы показали следующее распределение их по типам β – лактоглобулина: β -Lq A – 39 коров β -Lq B – 275 коров β -Lq AB – 206.

Вычислить частоты фенотипов.

Задача 6. У свиней система групп крови M включает 7 фенотипов.

При иммунологическом исследовании 748 свиней породы ландрас установлено следующее распределение животных по фенотипам:

Группы крови – Ma – 34 головы, Mb – 242, Mc – 170, Mav – 14, Mac – 12, Mbc – 68, M – 208 голов.

Вычислите частоту фенотипов.

Задача 7. Церулоплазмин – белок сыворотки крови, участвующий в метаболизме организма.

У крупного рогатого скота встречается два типа этого белка:

- церулоплазмин CpA (A)
- церулоплазмин CpB (B)
- контролируемые аллелями Cp^A и Cp^B, которые наследуются кодоминантно.

В стаде черно-пестрого скота установлено следующее распределение по генотипам:

- гомозиготы доминанты Cp^A Cp^A 432 головы
- гомозиготы доминанты Cp^B Cp^B 237 голов
- гетерозиготы Cp^A Cp^B 644 головы.

Определите частоту генотипов в популяции стада черно-пестрого скота.

Задача 8. У крупного рогатого скота бурая масть обусловлена доминантным геном A, серая масть – рецессивным геном A¹ и светло-бурая масть обусловлена неполным доминированием и наблюдается у гетерозигот A A¹.

В стаде швицезебувидного скота распределение животных по масти такое:

- бурая 600 голов
- серая 100 голов
- светло-бурая 300 голов

Установить частоту генотипов.

Задача 9. Среди крупного рогатого скота встречаются животные, имеющие гемоглобин типа «A» и типа «B», контролируемые аллелями Hb^A и Hb^B.

В стаде джерсейского скота установлено следующее распределение по генотипам:

- 120 животных генотипа $Hb^A Hb^A$
- 102 животных генотипа $Hb^A Hb^B$
- 11 животных генотипа $Hb^B Hb^B$

Определить частоту генотипов

Задача 10. У кроликов окраска волосяного покрова «шиншилла» (ген c^{ch}) доминирует над альбинизмом (ген c^a). Гетерозиготы $c^{ch}c^a$ имеют светло-серую окраску. На кролиководческой ферме среди молодняка кроликов шиншилла произошло выщепление альбиносов. Из 5400 крольчат 17 оказались альбиносами. Пользуясь формулой Харди-Вайнберга, выясните, сколько было получено гомозиготных крольчат шиншилла.

Определение генетической структуры и генного равновесия популяции животных

Решение типовой задачи.

Задача 1. Популяция крупного рогатого скота состоит из 80 % животных генотипа AA с доминантным признаком и 20 % животных генотипа aa с рецессивным признаком. Скрещивание свободное.

Установить:

1. соотношение генотипов AA , Aa , aa
2. генетическое равновесие популяции

Решение:

Определяем частоту аллелей « A » и « a » в долях единицы

$$A = \frac{80}{100} = 0,8 \quad a = \frac{20}{100} = 0,2$$

И следовательно, $pA = 0,8$ и $qa = 0,2$, т.е. в этой исходной популяции $pA + qa = 1$

Согласно формулы Харди-Вайнберга $p^2AA + 2pqAa + q^2aa = 1$ ожидаемое соотношение генотипов будет таким: $p^2AA = 0,8^2 = 0,64$ $2pqAa = 2 \times 0,8 \times 0,2 = 0,32$ $q^2aa = 0,2^2 = 0,04$

Определяем генетическое равновесие популяции

$$p^2AA \times q^2aa = \left(\frac{2pqAq}{2} \right)^2 = (0,64 \times 100) \times 4 = 64 \times 4 = \left(\frac{32}{2} \right)^2 = 256 = 256$$

значит, популяция генетически равновесная по соотношению генотипов и аллелей pA и qa .

Задачи для самостоятельной работы.

Задача 1. Вычислить частоты генотипов AA , Aa , aa в популяции норок в которой гомозиготные рецессивы составляют 1 % или 0,01.

Задача 2. Вычислить частоту аллелей pA и qa в популяции лошадей орловской рысистой породы в которой следующий состав генотипов AA 36 % + Aa 48 % + aa 16 %), и ее генетическое равновесие.

Задача 3. На ферме, разводящих кроликов породы шиншилла, из 5000 родившихся крольчат 120 голов альбиносы, а 4880 голов шиншиллы.

Определить:

1. частоту аллеля альбинизма – qc

2. частоту аллеля шиншилла – pc
3. соотношение генотипов
4. какова доля кроликов, носителей гена альбинизма

Задача 4. В стаде крупного рогатого скота коров черной масти 60 % (ген А) и 40 % коров белой масти (ген а).

Требуется определить:

- генетическую или генотипическую структуру стада по соотношению генотипов АА, Аа, аа;
- генное или генетическое равновесие стада по соотношению генотипов АА, Аа, аа;
- провести выбраковку коров белой масти и определить генотипическую структуру стада по соотношению генотипов АА, Аа, аа и генетическое равновесие по соотношению генотипов АА, Аа, аа;
- определить изменение в генотипической структуре стада после выбраковки коров белой масти.

Задача 5. В свободно размножающейся популяции доля особей «АА» равна 0,81. Какая часть должна быть гетерозиготной «Аа»? Вычислите это, используя формулу Харди-Вайнберга.

Задача 6. Изучая распространение безухости в популяции каракульских овец, Б.Н. Васин установил по гену безухости следующее соотношение генотипов: $729AA+111Aa+4aa$. Соответствует ли это соотношению теоретически ожидаемому, рассчитанному по формуле Харди-Вайнберга?

Задача 7. Какова концентрация доминантного гена «R» (при условии применимости закона Харди-Вайнберга), если гомозиготы по рецессивному гену «r» составляют такой процент от всех популяций: 49, 36, 25, 4? Определите генетическую структуру этих популяций.

Задача 8. У крупного рогатого скота гидроцефалия (водянка головного мозга) приводит к смерти телят на 2-3 день жизни. Заболевание обусловлено действием аутосомного рецессивного гена. На одной из ферм из 600 родившихся телят 3 погибли от гидроцефалии. Пользуясь формулой Харди-Вайнберга, определите количество телят-носителей гена данного заболевания.

Задача 9. У крупного рогатого скота сплошная окраска (ген «С») доминирует над пестрой (ген «с»). В популяции беспородного скота, насчитывающей 940 голов, 705 животных имели черно-пеструю масть и 235 – сплошную черную. Пользуясь формулой Харди-Вайнберга, определите частоту фенотипов и концентрацию генов «С» и «с».

Задача 10. У крупного рогатого скота черная масть (ген «А») доминирует над красной (ген «а»). В популяции ярославского скота, состоящей из 850 животных, 799 имели черную масть и 51 – красную. Определите частоту фенотипов, концентрацию генов «А» и «а» и структуру популяции по генотипам.

Задача 11. У крупного рогатого скота шортгорнской породы было установлено следующее расщепление по масти: 4169 красных, 3780 чалых и 756 белых особей. Красная масть обусловлена геном «R», белая – геном «r». У гетерозигот формируется чалая масть. Определите концентрацию генов «R» и «r» и теоретически ожидаемое, рассчитанное по формуле Харди-Вайнберга, соотношение генотипов.

Задача 12. Амилаза – фермент, расщепляющий крахмал. У крупного рогатого скота чаще всего встречаются два типа этого фермента: В и С, которые контролируются двумя кодоминантными генами «Av m» и «Ac m». В стаде крупного рогатого скота было установлено следующее распределение этого фермента по типам: 58 особей типа ВВ, 216 – ВС и 186 – СС. Определите частоту фенотипов и концентрацию аллелей «Av m» и «Ac m».

Занятие 21. Изменение генетической структуры популяции животных при инбридинге

Цель занятия. Уяснить понятие инбридинг, приобрести навыки по анализу и учету структуры популяций при инбридинге.

Методические указания. *Инбридинг* – или родственное спаривание – это спаривание животных, находящихся в кровном родстве и применяется при чистопородном разведении, породообразовании, разведении по мужским линиям, женским семействам.

Инбридинг является основным методом получения племенных животных.

Учение об инбридинге возникло очень давно, и оно прошло несколько этапов и на каждом этапе были разные толкования, понимания и отношения животноводов к методу родственного спаривания.

Инбридинг нарушает панмиксию популяции, изменяет генетическую структуру популяции, увеличивая долю гомозиготных генотипов и снижая долю гетерозиготных генотипов.

Например, признак животных данной популяции обусловлен двухаллельной системой генов - *DA* и *Ra*. В этой популяции будут формироваться три генотипа: AA, Aa, aa

$$- AA \times AA = AA$$

$$- AA \times aa = Aa$$

$$- Aa \times Aa = AA + Aa + aa$$

$$- aa \times aa = aa$$

Если бы данная популяция находилась в состоянии панмиксии или свободного скрещивания, т.е. никакие факторы на нее не влияют, то соотношение генотипов в этой популяции, согласно закона Харди-Вайнберга, имело бы такое выражение:

$$p^2 AA + 2pq Aa + q^2 aa = 1, \text{ т.е. } p^2 0,25 + 2pq 0,5 + q^2 0,25$$

При родственном спаривании животных частота гомозиготных генотипов будет увеличиваться, а частота гетерозиготного генотипа будет уменьшаться и, следовательно, в первом поколении соотношение генотипов изменится по отношению к исходно родительскому поколению.

С учетом величины коэффициента инбридинга *по Райту-Кисловскому* $F = 0,5^{n_1+n_2-1}$ доли генотипов в популяции составляет:

$$\text{Доля генотипа } AA \quad p^2 AA + 2 pA \times qa \times F$$

$$\text{Доля генотипа } Aa \quad 2pA \times qa - 2pA \times qa \times F$$

$$\text{Доля генотипа } aa \quad q^2 aa + 2pA \times qa \times F$$

По этим формулам производим расчет в первом инбридированном поколении потомков.

Например, в популяции крупного рогатого скота частота D аллеля черной масти $pA = 0,7$ и R аллеля красной масти и $qa = 0,3$, а коэффициент инбридинга $F = 0,5^{2+1-1} = 0,5^2 = 0,25$, т.е. спаривание отца с дочерью:

Марта (пробанд)

| | | | | | | | | |
|---|----------|-----|--------------|--------------|---------|--|----------|--|
| 1 | М Милка | | | О Лунатик + | | | | |
| 2 | ММ Мурка | | ОМ Лунатик + | | МО Луна | | ОО Валет | |
| 3 | МММ | ОММ | МОМ Луна | ООМ Валет | | | | |

Соотношение генотипов в исходном родительском поколении, согласно закона и формулы Харди-Вайнберга, следующее:

$$\text{Гомозиготы } D \quad pA = 0,7 \quad p^2 AA = 0,7^2 = 0,49$$

$$\text{Гомозиготы } R \quad qa = 0,3 \quad q^2 aa = 0,3^2 = 0,09$$

$$\text{Гетерозиготы } 2pA \times qa = 2 \times 0,7 \times 0,3 = 0,42$$

Итак, соотношение генотипов в исходном родительском поколении, т.е. соотношение генотипов родительских форм:

$$p^2 AA 0,49 + 2 pq Aa 0,42 + q^2 aa 0,09 = 1$$

В результате инбридинга, т.е. спаривание отца с дочерью (2-1), в инбридированном потомстве 1-го поколения соотношение генотипов и частота D и R аллелей изменяется в сравнении с исходным родительским поколением.

Итак, соотношение генотипов в 1-м поколении инбридированных потомков:

Гомозиготы $D - AA$

$$p^2 AA + 2 pA \times qa \times F = 0,49 + 0,7 \times 0,3 \times 0,25 = 0,49 + 0,0525 = 0,5425$$

Гомозиготы $R - aa$

$$q^2 aa + 2 pA \times qa \times F = 0,09 + 0,7 \times 0,3 \times 0,25 = 0,09 + 0,0525 = 0,1425$$

Гетерозиготы Aa

$$2pA \times qa - 2 pA \times qa \times F = 2 \times 0,7 \times 0,3 - 2 \times 0,7 \times 0,3 \times 0,25 = 0,42 - 0,42 \times 0,25 = 0,42 - 0,105 = 0,315$$

$$p^2 AA 0,5425 + 2 pq Aa 0,315 + q^2 aa 0,1425 = 1$$

Итак, в результате инбридинга доля гомозиготных генотипов $D + R$ повысилась с 0,58 (0,49+0,09) до 0,6850 (0,5425 + 0,1425), тогда как доля гетерозиготных генотипов уменьшилась с 0,42 до 0,315 или на 0,105.

При повторении инбридинга в нескольких поколениях возрастание гомозиготности по поколениям животных увеличивается.

Задачи для самостоятельной работы.

Задача 1. В популяции свиней крупной белой породы частота D аллели белой окраски щетины $pA = 0,8$ и R аллели черной окраски щетины $qa = 0,2$ и коэффициент инбридинга по Райту-Кисловскому $F = 0,5^{2+1-1} = 0,5^2 = 0,25$

Рассчитать:

- соотношение генотипов AA , Aa , aa по формуле Харди-Вайнберга в исходном родительском поколении;
- соотношение генотипов AA , Aa , aa в 1-ом поколении инбридированных потомков;
- сформировать обоснованные выводы на основе полученных результатов.

Контрольные вопросы:

1. Основные свойства генетической (панмиктической) популяции.
2. Какими параметрами характеризуется генетическая структура популяции?
3. Методы изучения популяций.
4. Факторы влияющие на структуру популяций.
5. Что такое популяция?
6. Чем отличаются панмиктические популяции от популяций сельскохозяйственных животных?
7. Что такое чистые линии и их особенности?
8. Закон Харди — Вайнберга.
9. Каким образом вычисляются частоты фенотипов и генотипов?
10. Каким образом вычисляются частоты аллелей?
11. Каковы причины нарушения генного равновесия?
12. Какое значение для практики животноводства имеет закон Харди-Вайнберга?
13. Типы отбора и их влияние на генетическую структуру популяции.
14. Влияние мутационного процесса на генетическую структуру популяции.
15. В чем проявляются биологические и генетические свойства инбридинга?
16. Методы оценки степени инбридинга.
17. Суть теорий, объясняющих явление инбредной депрессии.
18. Типы инбридинга, используемые в животноводстве; их терминологические названия.
19. Теории, объясняющие гетерозис.

20. Как используют явление гетерозиса в практике животноводства?
21. Что такое коэффициент инбридинга?
22. Дайте определение популяции и чистой линии.
23. К каким выводам пришел Иоганнсен в результате отбора в популяциях и чистых линиях?
24. Каково практическое значение опытов Иоганнсена?
25. Какова формула Харди-Вайнберга для определения соотношения генотипов в свободно размножающейся популяции?
26. Какое влияние на генетическую структуру популяции оказывает мутационный процесс?
27. Как внешняя среда влияет на структуру популяции по генотипам?
28. Как влияет скрещивание на генетическую структуру популяции?
29. Какое влияние оказывает инбридинг на генетическую структуру популяции?

6. ИММУНОЛОГИЯ И ИММУНОГЕНЕТИКА

В составе современной биологии иммунология развивается как самостоятельная наука. Объектом ее изучения служит способность организмов проявлять иммунитет, то есть реагировать в виде неспецифической или специфической реакции на воздействие чужеродных для него веществ (антигенов), проникающих в организм.

В основе иммунологических методов исследований положено определение реакции клеточных элементов иммунной системы – лейкоцитов, которые синтезируют защитные белковые вещества – антитела (иммуноглобулины). Антитела осуществляют разрушение чужеродных элементов вторгшихся в организм. В основе процесса иммунной защиты лежат генетические особенности клеток защитной системы.

Современная иммунология направлена на выявление механизмов иммунного ответа и его генетической обусловленности.

Новое направление в иммунологии начало формироваться открытием Карлом Ландштайнером (австрийский иммунолог) в 1900 году специфических реакций эритроцитов крови, происходящих при переливании крови у человека. В 1947 г. новое направление в биологии было названо иммуногенетикой. В основе ее объединены реакции между эритроцитарными антигенами и антителами.

Иммуногенетический метод основан на изучении наследственного полиморфизма белков, ферментов, антигенного состава клеток, крови, слюны и других жидкостей организма человека и животных. Полиморфные системы объединены под названием «генетические маркеры». Генетические маркеры используются при решении следующих вопросов:

1. Контроль за происхождением потомства при выращивании племенного молодняка, при оценке производителей по качеству потомства.
2. Характеристика генетической структуры, популяций сельскохозяйственных животных по иммунологическим параметрам, выяснение происхождения и эволюции популяций в филогенезе.
3. Установление связи иммуногенетических показателей с устойчивостью к некоторым наследственным болезням, стрессам, с продуктивностью, воспроизводительными качествами животных и др.

Антиген – сложное органическое соединение, которое при введении в кровь или ткани, вызывает реакцию иммунизации, проявляющуюся в выработке специфических белков – антител, защищающих организм. В организме животного присутствует огромное количество антигенов, каждый из которых имеет генетическую обусловленность и связан с действием определенного гена.

Антигенный состав крови и других веществ указывает на широкое распространение генетического полиморфизма антигенов, источником которого является множественный аллелизм, вызванный многократным мутированием гена.

Антигены образуются на эритроцитах в эмбриональный период развития животного и не изменяются в течение всей его жизни, поэтому они могут служить пожизненным показателем генетической структуры организма по тому или иному локусу.

Кодоминантный тип наследования антигенов позволяет по фенотипу судить о генотипе, что облегчает наблюдение за передачей антигена от родителей потомству.

Иммунологическая номенклатура.

Начиная с 1954 г. на I Международной конференции по изучению групп крови в Копенгагене и до настоящего времени номенклатура генетических маркеров сельскохозяйственных животных еще не унифицирована и продолжает совершенствоваться.

Антигены обозначаются заглавными буквами латинского алфавита (A, B, C ...) с добавлением к ним подстрочных индексов ($A_1, B_1, C_1...$), а также с другими индексами ($G_1, G_2, G_3...$).

У одного животного в каждом из локусов может быть не более двух аллелей, соответствующих числу гомологичных хромосом. Генотип животного записывается через вертикальную черточку (слэш) (A/A).

Группы крови в каждой системе наследуются как простые менделеевские признаки независимо от других систем. Каждый антиген обусловлен одним аллелем.

Аллели, контролирующие отсутствие антигенов, называются рецессивными или нулевыми. Их обозначают дефисом «-» или строчной буквой латинского алфавита – «а» в А – локусе, «в» - в В – локусе и т.д.

Животные могут быть гомо- и гетерозиготными по этим аллелям. Гомозиготные выявляются гемолитическими тестами (отсутствие реакций), гетерозиготные – семейным анализом.

Один локус обуславливает одну группу крови, независимо от того, состоит ли она из одного, двух или большего числа антигенов. Иммуногенетическая номенклатура для разных видов животных имеет свои особенности.

Аллели гена, контролирующие группы крови у животных, обозначаются путем указания систем групп крови и антигенов, записанных в виде надстрочного знака (*A A1, B K, C C1...* – у крупного рогатого скота; *A E_p, E A_c, F F_d...* – у свиней, лошадей, овец; *C 1, B 2, E 3...* – у птиц). Для обозначения генотипа животных по группам крови пишут два аллеля, разделенным наклонной чертой: *A A2/A A2; B j /B j; E E_a/E E_a; C ' /C ';* *A A2 /D D2* и т.д. Каждое животное в генотипе соматических клеток несет два аллеля локуса – один от матери, другой от отца. Если отсутствует один из аллелей, то такое состояние гена в локусе считается рецессивным и тогда генотип животного выражают в виде дроби, в числителе и знаменателе которой для отсутствующего аллеля ставят прочерк. Например, при наличии одного аллельного состояния антигена А при отсутствии его второго аллеля генотип животного записывают так: *A / -* или *- / A*. Для обозначения локусов полиморфных белков и ферментов используют 2-3 буквы их латинского названия (например, трансферрин - *Tf*, амилаза - *Am*, каталаза - *Cat* и т.д.), соответственно генотип животных записывают как *Tf A / Tf A* (гомозигота) и *TfA / Tf D* (гетерозигота).

Занятие 22. Иммунология

Цель занятия. Ознакомление с механизмом взаимодействия организма и среды на клеточном уровне.

Методические указания. Защитная функция. Различают две основные формы защитной функции: неспецифическую и специфическую, каждая из которых имеет определенные особенности в защите организма. Вместе с тем между обеими формами защиты организма существует взаимодействие.

Неспецифическую функцию защиты осуществляет кожа, слизистые оболочки и их выделения.

Специфическую функцию осуществляют так называемые естественные (нормальные) антитела или иммуноглобулины. При уменьшении их количества снижается резистентность к инфекциям. Естественные антитела являются ответом иммунной системы на проникновение неизвестного антигена, но проявляют специфическую реакцию. Специфическая защита проявляется как реакция организма в виде синтеза специфических веществ

(антител) на проникшие в организм антигены, имеющие различную природу. Специфика этой защиты проявляется в том, что на каждый конкретный антиген лимфоциты типа «В» синтезируют в организме специфическое антитело и между ними происходит взаимная реакция, при которой образуется комплекс антиген – антитело, приводящий к устранению антигена. В рассматриваемом случае реакция может быть выражена различным образом: в виде преципитации, агглютинации или гемолиза.

Организмам разных видов присущ врожденный иммунитет. Примерами врожденного иммунитета служит невосприимчивость крупного рогатого скота к сапу, которым тяжело болеют лошади; алжирские овцы не болеют сибирской язвой; куры породы белый леггорн более устойчивы к пуллорозу, чем куры пород род-айланд, плимутрок, виандот. Высокой устойчивостью среди птиц обладают цесарки. Известно, что разные породы собак проявляют разную чувствительность к вирусу чумы. Более чувствительны и тяжело переносят все три типа чумы (легочную, кишечную, нервной ткани) немецкая и южнорусская овчарки и лайки, а фокстерьер и эрдельтерьер более устойчивы и при заболевании переносят чуму легче и без серьезных последствий.

Естественная резистентность. Кожный покров, слизистые оболочки дыхательных путей, кишечника, мочеполовой системы и клетки этих тканей защищают организм путем выделения защитных биохимических веществ. Важную функцию в защите организма выполняет кровь, костная ткань, тимус, селезенка, печень, лимфатическая система, клетки которых служат источниками иммунной защиты.

Иммунную роль выполняют различные клетки: Т-лимфоциты тимуса, В-лимфоциты костного мозга, макрофаги, нейтрофильные гранулоциты, базофилы, эозинофилы и другие типы иммуноцитов.

Основные процессы формирования лимфоцитов определены функцией ряда органов:

- печень плода, в которой образуются стволовые кроветворные клетки – предшественники лимфоцитов;

- костный мозг – источник В-лимфоцитов. Здесь формируются стволовые клетки, которые покидают костный мозг в период эмбриогенеза и переходят в лимфоидные органы;

- тимус, в котором формируются Т-лимфоциты; им принадлежит ведущая роль в становлении клеточного иммунитета, так как они стимулируют синтез антител В-лимфоцитами. Клетки, покидающие тимус, превращаются в лимфоциты и, переходя в кровь, обладают полной иммунокомпетентностью. Тимус увеличивается в размерах до периода половой зрелости, а в процессе старения происходит его физиологическая инволюция;

- лимфатические узлы; это вторичные лимфоидные органы, которые улавливают антигены из лимфы. В ткани лимфоузла встречаются лимфоциты и макрофаги. Под влиянием проникающих в узел антигенов из лимфоцитов развиваются иммунобласты, из которых образуются иммунокомпетентные лимфоциты, участвующие в клеточном иммунитете;

-селезенка; выполняет роль фильтра для крови, удаляет отработанные клетки крови и образует новые лимфоциты. У птиц первичным лимфоидным органом является фабрициева сумка (бурса).

Неспецифический иммунитет включает гуморальные и клеточные факторы.

Гуморальные факторы. К этой группе относят бактерицидную активность крови (БА), которая объединяет антимикробную активность таких веществ, как комплемент, пропердин, нормальные антитела, лизоцим, бета-лизин, и действует на оболочку бактерии, которая разрушается лизоцимом.

Лизоцим – это фермент, молекула которого имеет одну цепочку из 129 аминокислотных остатков. Лизоцим синтезируется в клетках макрофагов и локализуется в лизосомах. Он широко распространен во всех биологических жидкостях: в околоплодной жидкости, молозиве, секретах слизистых оболочек, сыворотке крови. Его защитная роль обусловлена способностью лизировать оболочку многих видов микробов, особенно из грамположительной микрофлоры. Ферментативная активность лизоцима в большей степени связана с третичной структурой его молекулы. Таким образом, лизоцим является клеточным фактором неспецифической защиты, а его концентрация в исследуемой жидкости (ткани) служит показателем фагоцитарной активности организма. Уровень лизоцимной активности обусловлен наследственностью и может подвергаться селекционному воздействию, повышаясь у животных в различных линиях, семействах, у потомства разных производителей в результате селекционного подбора в породе или стаде.

Бета-лизин – это пептид, содержащий большое количество лизина и синтезируемый тромбоцитами. Он обнаружен в сыворотке крови, слюне, плазме, в легких, кишечнике, печени и др. Бета-лизин воздействует на грамположительные микроорганизмы, точнее – на цитоплазматическую мембрану бактерий, и вызывает их лизис,

Комплемент является сложным белком ферментного типа и состоит из 9 компонентов разного ферментного действия. У птиц в комплемент входят 4 компонента; у лошадей, крупного рогатого скота – 9 компонентов. Комплемент способен соединяться с комплексом антиген – антитело. Он разрушает липидную оболочку микроба под действием эстеразного комплекса и способствует процессу фагоцитоза. Синтез комплемента происходит в клетках тонкого отдела кишечника, лимфоцитах, клетках селезенки, лимфоузлов, костного мозга.

Пропердин играет важную роль в естественной неспецифической резистентности. В его состав входят белок сыворотки крови, ионы магния и комплемент. Действие его осуществляется совместно с другими защитными факторами.

Интерферон – неспецифическое противовирусное вещество, синтезируемое лейкоцитами; действует на разные вирусы и быстро

образуется в клетке с появлением вируса, влияя на нуклеиновые кислоты в период репликации их РНК.

Холинэстераза – это высокоактивный фермент. Он может служить показателем неспецифической резистентности организма. Присутствует в плазме крови, препятствует распространению ацетилхолина в тканях.

К группе гуморальных факторов можно отнести естественные антитела, которые присутствуют в крови или иной жидкости. Естественные антитела синтезируются в В-лимфоцитах, они усиливают клеточную защиту в виде фагоцитоза, стимулируют функцию рецепторов В- и Т-клеток, способствуют скучиванию и разрушению микробных клеток и нейтрализации токсинов. Антитела разделяют на сывороточные (в крови, молозиве, молоке) и на секреторные (на поверхности слизистых оболочек).

Неспецифическая гуморальная защита проявляется в виде так называемого бактерицидного эффекта (или активности), которая обеспечивается действием пропердина, лизоцима, комплемента, интерферона, бета-лизина, антител. Бактерицидная активность служит интегральным показателем гуморальных факторов естественной резистентности.

Клеточный тип защиты. Кроме гуморального иммунитета, важную роль в защите организма играет клеточный иммунитет, особенно необходимый при некоторых инфекциях, отторжении трансплантатов при пересадке органов или эмбрионов, аутоиммунных заболеваниях (в этом процессе клеточный иммунитет является формой защиты организма от инфекций, вызванных микроорганизмами).

Клеточный тип защиты обусловлен фагоцитозом, который осуществляют многие клетки: макрофаги (гранулярные лейкоциты и лимфоциты), микрофаги (ретикулоэндотелий печени, селезенки, костного мозга, лимфатических желез), подвижные клетки соединительной ткани (гистоциты, моноциты). Наиболее активно фагоцитируют полиморфно-ядерные зернистые лейкоциты. Тромбоциты, выделяя агглютинин, повышают активность нейтрофильных гранулоцитов.

Основным элементом иммунной системы служат популяции лимфоцитов двух основных типов: лимфоциты типа В и Т, символы которых приняты в 1969 г.

В-лимфоциты формируются в костном мозге. Их основная функция состоит в синтезе антител, то есть иммуноглобулинов, которые служат источником гуморальных факторов иммунитета.

Т-лимфоциты образуются в тимусе. Они не вырабатывают антитела, а выполняют защитную роль с помощью рецепторов, находящихся на поверхности лимфоцита.

Рецепторы – это образования макромолекулярной структуры В- и Т-лимфоцитов, расположенные на поверхности этих клеток и обеспечивающие «узнавание» конкретного антигена. Рецепторные клетки имеют

специфичность, обусловленную генетически в процессе их биосинтеза, что создает возможность распознавания каждого антигена.

Т-лимфоциты могут выполнять разные функции. Существуют Т-киллеры, которые, соединяясь с чужими клетками, убивают их. Другие Т-лимфоциты содействуют В-лимфоцитам в синтезе антител. Третий тип Т-лимфоцитов – это Т-супрессоры, подавляющие функции В-клеток,

Фагоцитоз регулируется нервной системой с помощью медиаторов, выделяемых нервными окончаниями. Процессу фагоцитоза способствует активация макрофагов антителами (опсонинами) и комплементом.

Иммунитет организма обеспечивает защиту не только от микроорганизмов, но и от других генетически чужеродных веществ, особенно при пересадках органов и тканей; от собственных переродившихся клеток при изменении их генетического аппарата, в том числе раковых.

Регуляция иммунного ответа осуществляется путем специфической стимуляции лимфоцитов, что приводит либо к биосинтезу антител, либо к усилению клеточного иммунитета. На регуляцию иммунного ответа оказывают влияние некоторые гормоны, например катехоламин и гормоны надпочечников. Кортикостероиды влияют на созревание, дифференцировку и распределение лимфоцитов.

Иммунная система характеризуется тесным взаимодействием факторов гуморального и клеточного иммунитета. Это проявляется в том, что гуморальные вещества, такие как опсонины, агглютинины и другие антитела, синтезируемые иммунокомпетентными лейкоцитами, способствуют осуществлению клеточного иммунитета, то есть реакции фагоцитоза. Фагоцитарные реакции не могут уничтожать вирусы и токсины, на которые активно действуют гуморальные факторы. Вместе с тем клеточная реакция способствует образованию антител, нейтрализующих токсины. Следовательно, гуморальные и клеточные факторы проявляют единство в системе защиты организма.

Основная способность иммунной системы заключается в определении «своего» и «чужого» в организме. Ее реакция на «чужое» сводится к устранению его из организма.

Вещества, вызывающие иммунный ответ организма на «чужое», называют **антигенами**. Ими могут быть различные белки, полисахариды, микроорганизмы (бактерии и их токсины, вирусы, грибы), аллергены (выделения растений или насекомых, комнатная пыль), антигены групп крови, трансплантационные антигены пересаживаемых тканей, чужеродные вещества других организмов.

Свойство антигенов вызывать иммунную реакцию организма называется **иммуногенностью**. Каждый антиген вызывает специфическую реакцию организма в виде синтеза специфических веществ (антител), образуемых в организме, подвергнутом воздействию антигенов. Не имеют антигенных свойств нуклеиновые кислоты, липиды (жиры, воск).

Занятие 23. Иммуногенетика

Цель занятия. На современном этапе крупномасштабной селекции при массовом искусственном осеменении всех видов сельскохозяйственных животных контроль за происхождением приобретает особое значение.

В 1983 года в РФ введен обязательный контроль происхождения производителей иммуногенетическим методом при отборе их для племенных целей. Приобретение знаний и навыков в проведении контроля за происхождением животных – одна из важных задач в практической работе селекционера.

Методические указания. Иммуногенетика представляет собой раздел генетики, изучающий наследственность антигенов, антител и особенности их взаимодействия.

Антигенами называют вещества, которые при их введении в организм вызывают образование специфических веществ – **антител**.

Антитела образуются из гамма-глобулина в особом классе лимфоцитов под воздействием антигенов.

Молекула антитела своей поверхностью связывает антиген и старается его нейтрализовать или изолировать. Наличие реакции антитело – антиген лежит в основе генетической несовместимости тканей, заканчивающейся отторжением.

Антигены наследственно обусловлены, следовательно, в потомстве обнаруживаются лишь те антигены, которые были у их родителей.

В организме в течение эмбрионального и постэмбрионального развития идет создание антител с конструкцией поверхности не комплиментарной (не идентичной) любому из антигенов данного организма. В результате чего, собственные антигены не связываются в организме собственными антителами. Антитела реагируют только на чуждые антигены при их введении в организм.

Значение иммуногенетики. Иммуногенетика позволяет решать следующие вопросы:

- при помощи методов иммуногенетики устанавливают происхождение по отцу и матери;
- выявляют бесплодных телочек родившихся в паре с бычком;
- устанавливают взаимосвязь между группами крови у животных и их продуктивностью, группами крови и их резистентностью, совместимостью крови между донором и реципиентом при пересадке тканей, органов, зигот, переливании сыворотки крови;
- выявляют наследуемость резус-фактора;
- определяют тип двоен: однойцовые – двухйцовые (однойцовые имеют одинаковую группу крови, двухйцовые однополые – мозаичность эритроцитов по антигену).

Группы крови и системы групп крови у животных, человека и их наследование. Одним из главных путей практического применения

иммуногенетики в животноводстве является контроль за достоверностью происхождения потомков при помощи групп крови.

Группа крови – это один или несколько антигенов, расположенных на поверхности эритроцитов крови. Группы крови наследуются по законам Г. Менделя и не изменяются в течение всей жизни.

Система групп крови включает две и более групп крови, которые обусловлены серией аллелей одного и того же гена. У сельскохозяйственных животных с помощью моноспецифических антисывороток обнаружен ряд систем групп крови. У крупного рогатого скота их насчитывается 12, у лошадей – 9, свиней – 17, овец – 16, кур – 14, кроликов – 12, собак – 7.

Антигены ряда систем групп крови крупного рогатого скота наследуются комплексно, поэтому в качестве аллеля выступает комбинация антигенов, или фенотип.

Системы антигенных локусов группы крови обозначают заглавными буквами латинского алфавита (А, В, С, Е и т.д.). Антигены обозначаются у разных видов животных по-разному. У крупного рогатого скота, в связи с большим числом антигенов, заглавными буквами латинского алфавита с добавлением к ним подстрочных или надстрочных индексов в виде цифр или штрихов ($A_1, B_1, C_1...$ или $A', B', C'...$), а также с теми и 283 другими индексами ($E_3, 'E_1', K'...$). Следует помнить, что A_1 и A' или B_1 и B' – это разные антигены, не связанные ни генетически, ни иммунологически друг с другом. Иногда антиген обозначают двумя буквами: строчной и прописной; так, некоторые антигены свиней записывают следующим образом: Ea, Ec, Ed.

У одного животного в каждом из локусов может быть не более двух аллелей, соответствующих числу гомологичных хромосом. Группы крови в каждой системе наследуются как простые менделевские признаки независимо от других систем. Каждый антиген обусловлен одним аллелем.

Система групп крови у человека АВО. Она обусловлена тремя аллелями одного и того же гена. Аллели А и В доминантные, аллель О – рецессивная и АВ – кодоминантная.

| Группы крови | | |
|--------------|---------|---------|
| | Фенотип | Генотип |
| 1 | О | ОО |
| 2 | А | АА, АО |
| 3 | В | ВВ, ВО |
| 4 | АВ | АВ |

В сыворотке крови человека, относящихся к О – группе, содержится естественные антитела (агглютинины), но нет антигенов к эритроцитам крови групп А и В, которые при встрече с последними агглютинируют их (явление несовместимости). Сыворотка крови людей группы А содержат антитела только против эритроцитарных антигенов группы В, а кровь группы В – антитела против эритроцитов группы А. Наконец, сыворотка крови, относящейся к группе АВ, не содержит антител ни к эритроцитам крови группы А, ни к таковым из группы В (но эритроциты крови группы АВ

содержат оба антигена А и В). Следовательно, люди с группой крови АВ являются универсальными реципиентами. Универсальной же донорской кровью является кровь О (нулевой группы), поскольку в ее эритроцитах нет антигенов А и В. Взаимоотношение групп крови людей системы АВО при переливании будет следующее (таблица 6): реципиентам группы А можно вливать кровь от доноров группы О и А; реципиентам группы В – от доноров группы В и О; реципиентам О-ой группы – только от доноров своей же группы; реципиентам АВ – от доноров всех групп О, А, В и АВ.

Таблица 6 – Наследование групп крови у человека

| Родительские фенотипы (группы крови) | Возможные генотипы родителей | Потомство (фенотип) | |
|--------------------------------------|------------------------------|---------------------|-------------|
| | | возможное | невозможное |
| О×О | ОО×ОО | О | А, В, АВ |
| О×А | ОО×(АА или АО) | А, О | В, АВ |
| О×В | ОО×(ВВ или ВО) | В, О | А, АВ |
| О×АВ | ОО×АВ | А, В | О, АВ |
| А×А | (АА или АО)×(АА или АО) | А, О | В, АВ |
| А×В | (АА или АО)×(ВВ или ВО) | А, В, А, В, О | - |
| А×АВ | (АА или АО)× АВ | А, В, АВ | О |
| В×В | (ВВ или ВО)×(ВВ или ВО) | В, О | А, АВ |
| В×АВ | (ВВ или ВО) × АВ | А, В, АВ | О |
| АВ×АВ | АВ × АВ | А, В, АВ | О |

Установление достоверности происхождения потомков. Во многих племенных хозяйствах разводящих сельскохозяйственных животных, большинство получаемого молодняка имеют неправильные записи о происхождении по отцу и матери.

Проблема контроля происхождения племенных животных стала особенно актуальной при массовом искусственном осеменении. Исследования отечественных и зарубежных авторов показали, что ошибки в записях происхождения племенных животных составляют от 5 до 30 %.

Причины подобных ошибок различны: недостатки в работе техников по искусственному осеменению; несоответствие спермы паспортным данным племпредприятий; потери бирок; неправильное чтение номеров; путаница в размещении телят при одновременном отеле нескольких коров и их мечении; неточность ведения племенных записей и т. д. Но самое главное, это повторное осеменение животных спермой разных производителей.

Проверка правильности происхождения на основе показателей групп крови является обязательным биотехнологическим элементом правильной организации воспроизведения животных и племенной работы.

При установлении достоверности происхождения потомков существует ряд правил:

1. Определяют наличие антигенов у потомка, матери и предполагаемых отцов.
2. Антигены, имеющиеся у матери, не могут быть использованы для определения отцовства.

3. Те антигены, которые есть хотя бы у двух из предполагаемых отцов, нельзя использовать для установления отцовства.
4. Отцовство может быть установлено по тем антигенам, которые есть у потомка, у одного из предполагаемых отцов, но отсутствуют у матери.
5. Для определения материнства могут быть использованы антигены, отсутствующие у отца.
6. Отсутствие или наличие антигенов у обоих родителей не является доказательством анализа происхождения потомков.

Решение типовой задачи.

Задача 1. К свиноматке были прикреплены два хряка – 357 и 513. Матка была покрыта одним из них, но из-за неточности записи в журнале случаев возникло сомнение, каким из хряков фактически она была покрыта. Чтобы установить происхождение поросят, провели иммунологический анализ поросят, матки и предполагаемых отцов. Результаты анализа приведены в таблице. (Знак «+» - наличие антигена, знак «-» - его отсутствие).

| Антигены | Aa | Fa | Fb | Fd | Fe | Ff | Ta | Gb | Hb | Ka | Kb | La |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Свиноматка | + | + | - | - | + | + | - | - | + | + | - | - |
| Хряк 357 | - | + | + | + | + | - | + | - | - | + | - | + |
| Хряк 513 | + | - | - | + | + | + | - | + | + | + | - | - |
| Поросенок 1561 | + | - | - | + | + | - | - | + | + | - | - | - |
| Поросенок 1562 | + | - | - | + | + | + | - | + | + | + | - | - |
| Поросенок 1563 | - | - | + | + | + | - | + | - | - | + | - | + |

1. Поросенок 1561. По антигену Aa – нельзя, т.к. он есть у матери и у отца; Fd – нельзя, есть у обоих предполагаемых отцов; Fe – нельзя, есть у матери и предполагаемого отца; Gb – отец, хряк 513; Hb – нельзя, есть у матери отца. Вывод: отец хряк 513.

2. Поросенок 1562. По антигену Aa – нельзя, т.к. он есть у матери и у отца; Fd – нельзя, есть у обоих предполагаемых отцов; Fe – нельзя, есть у матери и предполагаемого отца; Ff – нельзя, есть у матери и отца, Gb – отец, хряк 513; Hb – нельзя, есть у матери отца; Ka – нельзя, есть у матери и отцов. Вывод: отец хряк 513.

3. Поросенок 1563. По антигену Fb – отец хряк 357; Fd – нельзя, есть у обоих предполагаемых отцов; Fe – нельзя, есть у матери и предполагаемых отцов; Ta – отец, хряк 357; Ka – нельзя, есть у матери и отцов; La – отец, хряк 357. Вывод: отец хряк 357.

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Свиноматка была покрыта двумя хряками. Результаты иммунологического исследования родителей и потомства приведены ниже. Обоснуйте, какие антигены не могут быть использованы для установления отцовства, и какие антигены, могут быть для этого использованы. Установите также для каждого поросенка его отца, показав, по каким антигенам сделано заключение об отцовстве.

Результаты иммунологического исследования родителей и полученных от них поросят

| Антигены | Aa | Ea | Eb | Ed | Ee | Ef | Fa | Gb | Hb | Ka | Kb | La |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Матка № 123 | + | + | - | - | + | - | - | - | + | + | - | - |
| Хряк № 32 | - | + | + | + | + | - | + | - | - | + | - | + |
| Хряк № 36 | + | - | - | + | + | + | - | + | + | + | - | - |
| Поросенок №130 | + | - | - | + | + | - | - | + | + | - | - | - |
| Поросенок №131 | + | - | - | + | + | + | - | - | + | + | - | - |
| Поросенок № 132 | - | - | + | + | + | - | + | - | - | + | - | + |
| Поросенок № 133 | + | + | - | + | + | + | - | + | - | - | - | - |
| Поросенок № 134 | - | + | + | + | + | - | + | - | + | + | - | - |
| Поросенок № 135 | - | + | - | - | + | - | - | - | - | + | - | - |
| Поросенок № 136 | - | - | + | + | + | - | + | - | + | - | - | - |

Задача 2. Свиноматка КБ-6 крупной белой породы была осеменена смесью спермы трех хряков: крупного белого КБ-34, породы ландрас Л-31 и кемеровского К-244. Результаты иммунологического исследования родителей и потомства приведены в таблице. Определите: а) отцовство для каждого поросенка; б) могут ли по исследованным антигенам быть достоверно установлены отцы для всех поросят.

Результаты иммунологического исследования свиноматки, хряков и их потомства

| Антигены | Aa | Ka | Kb | Gb | La |
|---------------|----|----|----|----|----|
| Матка КБ-6 | - | - | - | - | - |
| Хряк КБ-34 | + | - | - | + | - |
| Хряк Л-31 | - | + | - | + | + |
| Хряк К-244 | - | + | + | - | - |
| Поросенок № 1 | - | + | - | - | + |
| Поросенок № 6 | - | - | - | - | - |
| Поросенок № 5 | - | + | + | - | - |
| Поросенок № 7 | - | + | - | - | - |
| Поросенок № 8 | + | - | - | + | - |

Задача 3. Установите истинное происхождение телят по генотипам родителей.

Генотипы быков, коров и их потомства

| Животные | Системы групп крови | | |
|-------------|-------------------------|---------------|-------|
| | B | C | F-V |
| Бык 458 | $I_2Y_2/O_1TE_3'F'K'$ | W/C_2W | F/V |
| Бык 1583 | $GE_3'F'O_1/O_1Y_2D'G'$ | WX_1/C_2R_2 | F/F |
| Корова 4589 | $DGKE_3'O'/O'$ | W/C_1 | F/V |
| Телка 156 | $I_2Y_2/DGKE_3'O'$ | C_2W/W | F/V |
| Корова 874 | $-/-$ | WX_1/R_2 | F/V |
| Телка 651 | $- / O_1Y_2D'G'$ | C_2R_2/WX_1 | F/V |

Задача 4. С целью проверки происхождения потомков высокопродуктивных производителей проведено иммунологическое исследование бычков, их матерей и производителей. Генотипы животных по

восьми системам групп крови приведены в таблице. Установите, соответствует ли происхождение потомков сведениям, записанным в их родословных.

Генотипы производителей, коров и их потомков

| Семейные отношения | Системы групп крови | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|--|--|-----|-----|-----|--------------------|-----|
| | A | B | C | F-V | J | L | S | Z |
| Бык № 879 | A ₂ /D ₂ | O ₁ TE ₃ 'F'K'/'J ₂ Y ₂ | C ₂ W/W | F/F | -/- | -/- | H ₁ /- | Z/- |
| Бык № 562 | A ₂ /D ₂ | A ₂ O ₁ Y ₂ D' <i>G</i> '/GE ₃ 'F'O' | C ₂ R ₂ /WX ₁ | F/F | -/- | L/- | SH'/H | Z/- |
| Корова № 578 | D ₂ /D ₂ | DGKE ₃ 'O'/O' | C ₁ /W | F/V | -/- | L/- | SH'/- | Z/Z |
| Потомок № 78 | D ₂ /D ₂ | I ₂ Y ₂ /DGKE ₃ 'O' | C ₂ W/W | F/V | -/- | L/- | H ₁ /- | Z/- |
| Корова № 542 | D ₂ /D ₂ | -/- | R ₂ /WX ₁ | F/V | -/- | L/L | SH ₁ /- | Z/- |
| Потомок № 52 | A ₂ /D ₂ | O ₁ Y ₂ D' <i>G</i> '/- | C ₂ R ₂ /WX ₁ | F/V | -/- | L/- | H ₁ /- | Z/Z |
| Корова № 54 | A ₂ /D ₂ | I' <i>G</i> '/O ₁ TY ₂ E ₃ 'F' | C ₁ /W | F/F | J/- | -/- | S/S | Z/- |
| Потомок № 79 | D ₂ /D ₂ | BQT/I' <i>G</i> ' | C ₂ R/C ₁ | F/F | -/- | L/- | S/S | Z/- |

Задача 5. При исследовании 150 потомков двух баранов-производителей 145 и 520 от овец каракульской породы методом электрофореза в сыворотке крови обнаружено 6 фенотипов амилазы ($AmA/A = 3$, $AmA/B = 15$, $AmA/C = 9$, $AmB/B = 27$, $AmB/C = 66$, $AmC/C = 30$). Баран 145 имел генотип AmA/B , баран 520 - AmC/C . Можно ли определить, сколько потомков было от барана 145, а сколько от барана 520?

Задача 6. Составить схему линии Лорда 231 симментальской породы. Какой аллель маркирует линию? Сколько животных, гомозиготных по аллелю родоначальника, имеется в линии? К какому поколению они относятся?

Антрацит 1728- /O₃QA₂'E'₁E'₂ от Инжира 637

Арка 82 O₁I'Q'/- от Думки 288 и Инжира 637

Дефицит 616 O₁I'Q'/ O₁I'Q' от Принца 5193

Дрозд 3708 b/ O₁I'Q' от Дыни 1411 и Егеря 1779

Дымка 4502 O₁I'Q'/ O₁I'Q' от Принца 5193

Дыня 14411 O₁I'Q'/ O₁I'Q' от Арки 82 и Инжира 637

Думка 288 O₁I'Q'/ O₁I'Q' от Изумруда 265

Егерь 1779 O₃QA₂'E'₁E'₂/b от Льна 1686

Запад 46 от Лорда II 329

Изумруд 265 от Лога 561

Инжир 637 O₁I'Q'/I₁E'₂ от Лога 561

Кадр 5022 O₁I'Q'/II E'₂ от Дрозда 3708

Лен 1686 - /O₃ QA'₂E'₁F'₁ от Инжира 637

Лог 561 O₁I'Q' от Лорда 231

Лорд II 329 от Лорда 231

Принц 5193 O₃QA₂'E'₁E'₂/ O₁I'Q' от Флажка 2085

Флажок 2085 O₃QA₂'E'₁E'₂/Q от Антрацита 1728

Задача 7. При иммуногенетическом исследовании у курицы обнаружен антиген C₁ системы группы крови C, а антигены C₂, C₃, C₄ – отсутствуют. У петуха обнаружен антиген C₄, но нет антигенов C₁, C₂, C₃. Ожидается ли в первом поколении расщепление потомства по системе групп крови C?

Задача 8. У лошадей английской чистокровной породы, чаще, чем у других пород, встречается гемолитическая болезнь, обусловленная геном А, вызывающая образование антител.

При спаривании кобыл с генотипом аа с жеребцами АА при первой беременности жеребенок родился здоровым. От второй жеребости жеребенок по внешнему виду был здоровый, но имел признаки гемолитической болезни. Какие меры нужно предпринять, чтобы жеребенок остался живым? Чем объяснить причину гемолитической болезни? Какова вероятность появления жеребят с гемолитической болезнью от гетерозиготного жеребца и гомозиготной кобылы? Является ли гемолитическая болезнь наследственным заболеванием, или она возникает в результате материнского влияния, или обусловлена другими факторами?

Задача 9. Корова первый раз была осеменена семенем одного быка, а при повторном осеменении – семенем другого быка. Уточните отца родившегося теленка. Объясните, с какой целью проводят гетероспермное осеменение самок? Приведите примеры, когда при повторном осеменении обязательно надо сменить производителя.

| Семейные отношения | Системы групп крови | | | | | | | |
|--------------------|---------------------|--|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | F-V | J | L | M | S |
| Бык 1 | A ₁ /DH | B/I ₂ E ₃ 'G'G' | C ₁ E/X ₁ | F/F | -/- | -/- | -/- | H/- |
| Бык 2 | A ₁ H/DH | A ₁ B'/BO ₁ | W/RWX ₂ | F/V | -/- | -/- | M/- | -/- |
| Корова | A ₂ /D | B/BO ₂ A ₂ ' | EWZ/R ₂ | F/V | -/- | -/- | -/- | -/- |
| Теленок | DH/D | A ₁ B'/BO ₂ A ₂ ' | W/R ₂ | V/V | -/- | -/- | -/- | -/- |

Контрольные вопросы:

1. Что такое антигены и антитела? Какова их роль?
2. Как определяются группы крови у животных?
3. Каковы особенности наследования групп крови?
4. Для чего используют определение групп крови в практике животноводства?
5. Какие типы реакций используют при определении групп крови?
6. Что такое генетическая система групп крови, тип крови, феногруппа, сложные, простые, открытые и закрытые системы?
7. Объясните, почему у новорожденных животных возникает гемолитическая болезнь. У каких видов животных, она установлена и у каких отсутствует?
8. Что такое иммунологическая несовместимость? К чему она приводит?
9. Что такое иммунитет и иммунная система организма?
10. Существует ли корреляция между группами крови и продуктивностью животных?
11. Что такое наследственный полиморфизм белков?
12. Каков характер наследования разных типов полиморфных белков?
13. Существует ли корреляция полиморфных белков с продуктивностью животных?

- 14.1 Дайте характеристику неспецифической и специфической защитной функции организмов и укажите, какие органы несут ведущую роль в создании этих функций.
15. Клеточные факторы защиты, роль клеток белой крови, их развитие в онтогенезе
16. Иммуноглобулины, их классы, место синтеза и основные особенности в структуре молекулы.
17. Что такое специфический иммунитет?
18. Возможна ли селекция животных на резистентность к отдельным заболеваниям.
19. Для чего используется определение групп крови в практике животноводства?
20. В чем заключается иммуногенетический контроль за происхождением животных?

Список литературы:

1. Бакай А.В. Генетика / А.В. Бакай, И.И.Кочиш, Г.Г Скрипниченко. Учеб. для высш. с.-х. учебн. завед. – М.: КолосС, 2007. – 448 с.
2. Глазер В.М. Задачи по современной генетике./В.М. Глазер, А.И. Ким, Н.Н. Орлова, И.Г. Удина, Ю.П. Алтухов - Москва, 2008. - 222 с.
3. Иванова О.А. Генетика / О.А. Иванова - М.: «Колос», 1983. - 399 с.
4. Ларцева С.Х. Практикум по генетике. / С.Х. Ларцева, М.К. Муксинов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 88 с.
5. Лисицын А.П. Методическое руководство к практическим занятиям по курсу «Генетика» (для студентов зоотехнического факультета). - Москва, 1976. - 102 с.
6. Меркурьева Е.К. Генетика с основами биометрии. / Е.К. Меркурьева, Г.Н. Шангин - Березовский - М.: «Колос», 1983. - 399 с.
7. Меркурьева Е.К. Генетика / Е.К. Меркурьева, А.В. Бакай, И.И. Кочиш - М.: Агропромиздат, 1991. - 446 с
8. Петухов В.Л. Генетика / В.Л. Петухов, О.С. Короткевич, С.Ж. Стамбеков. – Новосибирск, 2007.
9. Устимов Е.М. Генетика, биотехнология и биометрия / Е.М. Устимов, Т.В. Логинова, Л.Н. Карелина: методические указания.- Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2014. – 23 с.
10. Устимов Е.М. Краткий словарь-справочник по генетике / Е.М. Устимов, А.К. Гордеева, Т.В. Логинова. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2010. – 59 с.
11. Хелевин Н.В. Задачник по общей и медицинской генетике / Н.В. Хелевин, А.М. Лобанов, О.Ф. Колесова - М.: «Высшая школа», 1984. - 156 с.
12. Яковенко А.М. Практикум по генетике. / А.М. Яковенко, Т.И. Антоненко. – Ставрополь: УниПак-Юг, 2015. – 162 с.