

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Комин Андрей Эдуардович

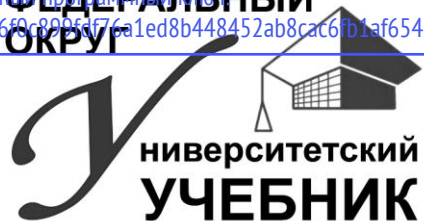
Должность: ректор

Дата подписания: 23.07.2026 11:45:48

Уникальный программный ключ:

f6c6d686f8c89b5df76a1ed8b448452ab8cac6fb1af6547b6d40cdf1bdc60ae2

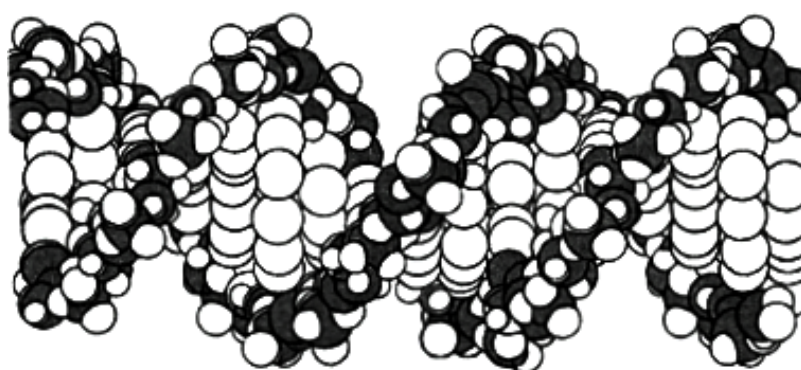
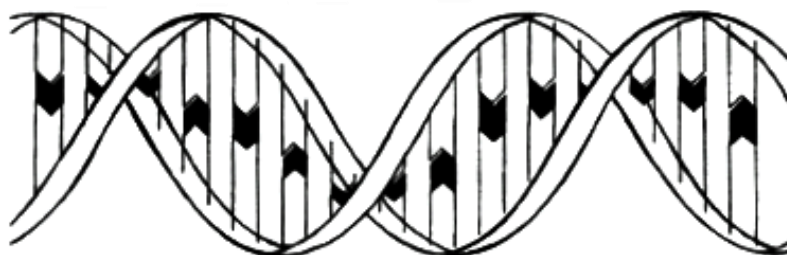
**ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ОКРУГ**



Н.В. Репш, А.С. Коляда

Решение задач по общей генетике

Практикум



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Приморский государственный аграрно-технологический университет»

Н.В. Репш, А.С. Коляда

Решение задач по общей генетике

Практикум

Рекомендовано Дальневосточным региональным учебно-методическим центром (ДВ РУМЦ) в качестве практикума для студентов направлений подготовки 35.03.04 «Агрономия», 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции», 36.03.01 «Ветеринарно-санитарная экспертиза», 36.03.02 «Зоотехния», 44.03.01 «Педагогическое образование», профиль «Биология», 44.03.05 «Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)», профиль «Биология и Химия» и специальностей 31.05.01 «Лечебное дело», 36.05.01 «Ветеринария» вузов региона.

Уссурийск
2024

Решение о включении практикума в серию «Университетский учебник Дальневосточного федерального округа» принято редакционным советом ДВ РУМЦ, протокол № 15 от 27.05.2024 г.

Рецензенты:

Ю.А. Колина, д-р биол. наук, профессор Института животноводства и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Приморский ГАТУ;

М.А. Шишлова, канд. биол. наук, доцент Департамента теории и практики преподавания математики, информатики, естественных наук Школы педагогики ДВФУ;

Н.А. Чаус, канд. биол. наук, доцент, заместитель директора по инновационной деятельности КГБ ПОУ «Уссурийский агропромышленный колледж».

Репш Н.В.

Решение задач по общей генетике: Практикум / Н.В. Репш, А.С. Коляда; ФГБОУ ВО Приморский ГАТУ. – Уссурийск, 2024. – 145 с. – ISBN 978-5-4281-0132-4. – Текст: непосредственный.

В практикуме рассматриваются пути решения задач по основным разделам общей генетики. В начале каждого раздела дается краткое изложение теоретического материала, приводятся образцы решения типовых задач.

Предназначено для биологов, преподавателей, обучающихся средних и высших учебных заведений. Учебное пособие может быть использовано обучающимися направлений подготовки: 35.03.04 Агрономия, 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции, 36.03.01 Ветеринарно-санитарная экспертиза, 36.03.02 Зоотехния, 44.03.01 Педагогическое образование (профиль «Биология»), 44.03.05 Педагогическое образование (профиль «Биология и Химия») и специальностям 31.05.01 Лечебное дело, 36.05.01 Ветеринария.

Ключевые слова: общая генетика, митоз, мейоз, взаимодействие аллельных генов, взаимодействие неаллельных генов, полиплоидия, инбридинг, гетерозис, генетика популяций, анализ родословных.

Издается по решению методического совета ФГБОУ ВО Приморский ГАТУ

© Н.В. Репш, А.С. Коляда, 2024

© ФГБОУ ВО Приморский ГАТУ, 2024

ISBN 978-5-4281-0132-4

Содержание

Введение	4
Генетические механизмы наследования	5
Деление клеток	15
Митоз и митотический цикл	15
Мейоз и гаметогенез	16
Закономерности наследования признаков	22
Закономерности наследования признаков, установленные Г. Менделем	22
Моногибридное скрещивание	22
Дигибридное скрещивание	29
Полигибридное скрещивание	35
Неполное доминирование	38
Множественные аллели и группы крови	43
Наследование признаков, сцепленных с полом	50
Сцепленное наследование и кроссинговер	55
Взаимодействие неаллельных генов	63
Комплементарное взаимодействие генов	64
Эпистатическое взаимодействие генов	69
Полимерное действие генов	73
Плейотропное действие генов	77
Пенетрантность	79
Статистический характер расщепления	81
Полиплоидия	84
Инбридинг и гетерозис	87
Генетика популяций	93
Анализ родословных	99
Глоссарий	110
Ответы к задачам на самостоятельное решение	119
Литература	135
Приложение А	136
Приложение Б	137
Приложение В	138
Приложение Г	139
Приложение Д	140
Приложение Е	141
Приложение Ж	142
Приложение З	143
Приложение И	144

Введение

Начало XXI-го века характеризуется бурным развитием генетики. Повышенный интерес к этой биологической дисциплине определяется необходимостью получения новых материалов, высокопродуктивных пород животных и сортов растений, возможностью лечения наследственных заболеваний. А это связано с решением проблем здоровья человека, голода, с успешностью борьбы с загрязнением нашей планеты, сохранением биоразнообразия.

Генетика является одним из наиболее важных, и в то же время одним из наиболее трудных разделов в курсе общей биологии общеобразовательной школы либо дисциплин в вузах биологического или сельскохозяйственного направлений.

Одним из необходимых этапов в изучении генетики является решение задач. Формирование навыков решения генетических задач не только облегчает познание закономерностей передачи наследственной информации, но и помогает решать практические задачи в генетике и селекции сельскохозяйственных растений и животных.

Настоящее пособие включает задачи по основным разделам общей генетики. Каждый раздел содержит краткое теоретическое обоснование, приводятся типовые задачи с полными решениями и широкий спектр задач для самостоятельного решения, к которым даются ответы. Это в целом позволяет решать задачи любого уровня сложности.

Справочные данные для решения задач содержатся в приложении. Глоссарий включает объяснение различных генетических терминов.

Материалы пособия предназначены для биологов, преподавателей, обучающихся средних и высших учебных заведений. Учебное пособие может быть использовано обучающимися направлений подготовки: 35.03.04 Агрономия, 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции, 36.03.01 Ветеринарно-санитарная экспертиза, 36.03.02 Зоотехния, 44.03.01 Педагогическое образование (профиль «Биология»), 44.03.05 Педагогическое образование (профиль «Биология и Химия») и специальностям 31.05.01 Лечебное дело, 36.05.01 Ветеринария.

Генетические механизмы наследования

Главную роль в передаче наследственной информации играют биологические полимеры – нуклеиновые кислоты, входящие в состав клеток представителей всего органического мира, от самых примитивных до самых сложноустроенных его форм.

Существует два вида нуклеиновых кислот – дезоксирибонуклеиновая кислота и рибонуклеиновая кислота.

ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота – биологическая макромолекула, носитель генетической информации во всех эукариотических и прокариотических клетках и во многих вирусах.

Функции ДНК:

- хранение генетической информации и передача ее следующему поколению;
- регуляция процессов обмена в клетке.

Молекула ДНК состоит из двух спирально закрученных антипараллельных (5'-конец одной цепи лежит против 3'-конца другой) полинуклеотидных цепей (рис. 1). Она является биополимером, мономером которого является нуклеотид. Нуклеотид состоит из азотистого основания, 5-углеродного сахара (дезоксирибозы) и фосфатной группы. В состав нуклеотида ДНК может входить четыре типа азотистых оснований – пуриновые: аденин (А) и гуанин (Г) и пиримидиновые: цитозин (Ц) и тимин (Т).

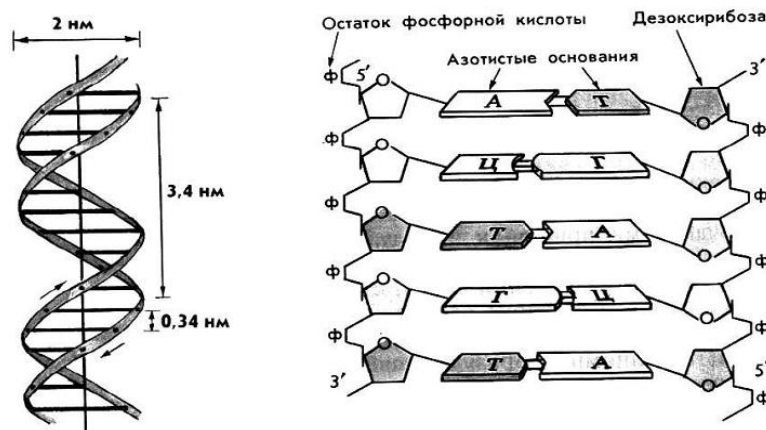


Рисунок 1. Схема участка молекулы ДНК

Азотистые основания одной цепи связаны с азотистыми основаниями другой цепи этой же молекулы ДНК комплементарно: аденин с тимином, гуанин с цитозином при помощи водородных связей. Между аденином и тимином таких связей две ($A=T$), а между гуанином и цитозином – три ($G\equiv C$). Молярная сумма пуриновых оснований ($A+G$) равна сумме пиримидиновых ($C+T$), молярное содержание А равно молярному содержанию Т, а молярная сумма Г равно молярной сумме Ц (правила Чаргаффа).

Азотистое основание, ковалентно соединенное с первым атомом углерода сахара, формирует нуклеозид; образуются дезоксиаденозин, дезоксигуанозин, дезоксицитидин, дезокситимидин.

РНК – рибонуклеиновая кислота, имеет много общего со структурой ДНК, но отличается от нее рядом признаков:

- углеводом РНК является рибоза;
- в состав РНК, как и в состав ДНК, входят азотистые основания аденин, гуанин и цитозин. Но вместо тимина содержит урацил.

- РНК – одноцепочная молекула;
- РНК состоит из меньшего количества нуклеотидов.

В зависимости от выполняемой в клетке функции или местонахождения существует несколько типов РНК:

- информационная РНК (и-РНК): создается на матрице ДНК, является основой для синтеза белка;
- рибосомная РНК (р-РНК): создается на матрице ДНК, входит в состав рибосом;
- транспортная РНК (т-РНК): создается на матрице ДНК, переносит аминокислоты к рибосоме в процессе биосинтеза белка.

Единицей генетической информации является ген – участок молекулы ДНК, несущий информацию о последовательности аминокислот в полипептиде (белке). Это возможно благодаря существованию генетического кода.

Генетический код – это последовательность расположения нуклеотидов в молекуле ДНК, определяющая последовательность расположения аминокислот в белковой молекуле (приложение А). Рассмотрим основные свойства генетического кода.

1. Триплетность: 1 аминокислоту кодируют 3 нуклеотида (триплет, кодон);
2. Однозначность – один триплет не может кодировать две разные аминокислоты;
3. Вырожденность (избыточность): 1 аминокислоту могут кодировать несколько триплетов;
4. Универсальность: код един для всех организмов;
5. Полярность: Имеются нонсенс-кодоны, прерывающие синтез белка (не кодирующие аминокислоты: УАА, УАГ, УГА);
6. Неперекрываемость: нуклеотид входит в состав только одного триплета.

Двойная спираль ДНК определяет возможность репликации (самоудвоения) ДНК. Репликация осуществляется полуконсервативно: из одной молекулы ДНК образуются две, в каждой из которых одна цепь консервативная (родительская), вторая синтезированная вновь.

У прокариот молекула ДНК представляет собой один репликон, поскольку содержит одну точку начала репликации. У эукариот молекулы ДНК могут содержать сотни точек инициации репликации.

Репликация идет в обоих направлениях от точки инициации. Образующаяся при этом структура называется репликативным глазком. Место сосредоточения комплекса ферментов репликации представляет собой репликативную вилку (рис. 2).

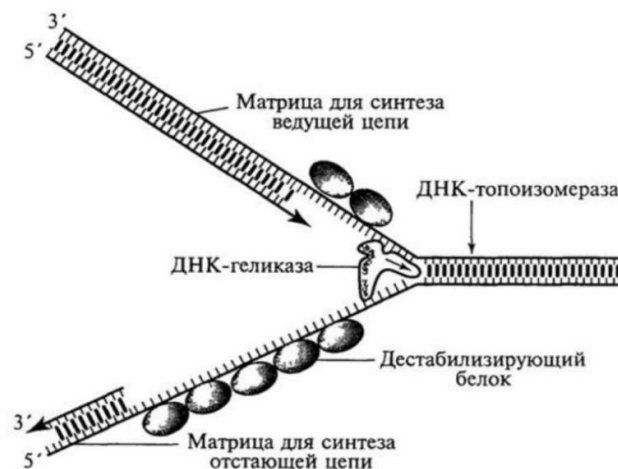


Рисунок 2. Схема образования репликативной вилки ДНК

При репликации соблюдается правило: новая цепь синтезируется в направлении от 5' -конца к 3' -концу, поскольку ДНК-полимеразы прокариот и эукариот способны присоединять нуклеотиды к 3' -ОН концу.

Одна новая цепь синтезируется целиком в направлении от 5' -конца к 3' -концу. Это ведущая цепь. Вторая цепь образуется не сразу целиком, а по фрагментам (каждый от 5' к 3'), которые затем сшиваются, т.е. правило (от 5' к 3') выполняется, а в целом осуществляется продвижение репликативной вилки вдоль родительской молекулы ДНК.

Совокупность ферментов репликации называется репликативным комплексом. Рассмотрим функции ферментов, входящих в состав репликативного комплекса.

Инициаторный белок присоединяется к ДНК в точке начала репликации и способствует образованию репликативной вилки.

В процессе продвижения вилки геликаза разделяет цепи родительской ДНК, а чтобы эти цепи вновь не соединялись, их фиксируют белки, связывающиеся с одноцепочечной ДНК.

Топоизомераза релаксирует возникающие при расплетении дополнительные витки ДНК, т.е. выпрямляет спираль ДНК.

Синтез новых цепей осуществляет ДНК-полимераза. Для того, чтобы начался синтез фрагментов отстающей цепи, необходимы РНК-затравки, в образовании которых участвует праймаза.

Затем к этим РНК-затравкам присоединяются нуклеотиды ДНК при участии ДНК-полимеразы. РНК-затравочный участок одного фрагмента ДНК посредством 5'→3'-экзонуклеазной активности ДНК-полимеразы удаляется после того, как завершается синтез следующего фрагмента.

Затем фрагменты ДНК сшиваются лигазой.

Все ДНК-полимеразы прокариот и эукариот обладают основной синтетической активностью. В клетках прокариот содержатся ДНК-полимераза I, II, III.

ДНК-полимераза I удаляет РНК-затравки, начиная с 5' -конца, проявляя 5'→3'-экзонуклеазную активность; застраивает бреши, возникающие после удаления РНК-затравок из отстающей цепи; выполняет функцию коррекции, т.е. отщепляет неправильно включенные в ДНК нуклеотиды, проявляя 5'→3'-экзонуклеазную активность.

Если в клетке отсутствует ДНК-полимераза I, ДНК-полимераза II достраивает фрагменты ДНК, образующиеся при репликации.

В клетках эукариот обнаружены три вида ДНК-полимераз. ДНК-полимераза α служит основной полимеразой, вовлеченной в синтез ДНК в репликативной вилке.

ДНК-полимераза β участвует в репарационных процессах.

ДНК-полимераза γ обнаружена в митохондриях, осуществляет репликацию митохондриальной ДНК.

ДНК-полимеразы эукариот не обладают 5'→3'-экзонуклеазной активностью и поэтому не могут выполнять функцию коррекции.

В последовательности процессов, происходящих при синтезе белковых молекул, можно выделить три этапа: транскрипция, процессинг и трансляция (рис. 3).

Транскрипция – это синтез и-РНК на молекуле ДНК, при которой последовательность оснований одной цепи ДНК копируется в комплементарную (взаимодополняющую) последовательность оснований и-РНК. Молекула ДНК на участке гена раскручивается, и списание информации происходит с одной из двух раскручиваемых нитей ДНК. Та нить, с которой снимается информация, называется кодогенной. Сборка молекул и-РНК по принципу комплементарности идет с помощью фермента ДНК-зависимой РНК-полимеразы. Скорость сборки достигает 50 нуклеотидов в секунду. Некоторые участки и-РНК не несут информацию о будущей молекуле белка. Их присутствие связано с особенностями строения генов и механизма транскрипции, поэтому эту и-РНК называют незрелой или про-и-РНК.

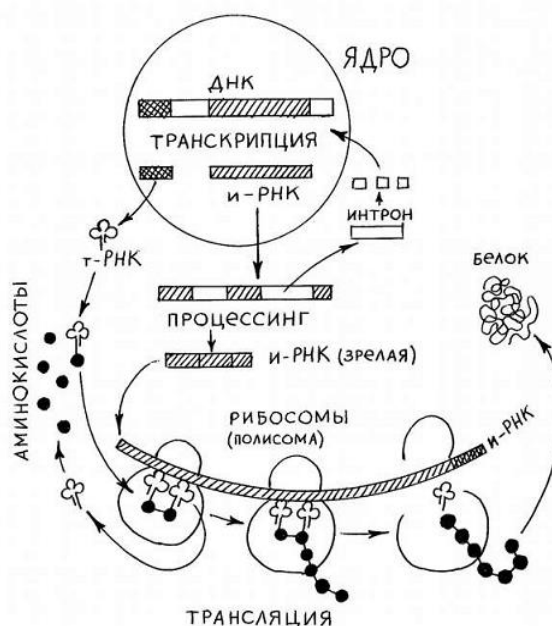


Рисунок 3. Схематическое изображение биосинтеза белка

Процессинг – это процесс созревания молекулы и-РНК, сопровождающийся удалением неинформативных участков (интронов) и сращиванием (сплайсингом) остающихся информативных последовательностей, называемых экзонами. Поэтому длина зрелой, направляющейся к рибосомам, и-РНК оказывается короче первоначальной. Эту РНК называют матричной (м-РНК).

Трансляция – перевод информации с языка нуклеотидов на язык аминокислот. На рибосомах идет синтез комплементарных цепей белков по матрице м-РНК.

Аминокислоты, из которых синтезируются белки, доставляются к рибосомам с помощью специальных т-РНК. Молекулы т-РНК по форме напоминают лист клевера и состоят из 85-100 нуклеотидов. В клетке присутствуют около 40 т-РНК. На вершине «листа» т-РНК имеется триплет, который называется антикодоном. Он комплементарен нуклеотидам кодона м-РНК. К основанию молекулы т-РНК присоединяется та аминокислота, которую кодирует триплет, комплементарный антикодону. Этот процесс проходит с помощью фермента – кодазы с затратой энергии, получаемой при расщеплении молекулы АТФ.

Трансляция состоит из трех последовательных фаз: инициации, элонгации и терминации.

Во время инициации происходит сборка белоксинтезирующего комплекса – м-РНК, рибосома, первая т-РНК с аминокислотой.

Элонгация – это процесс удлинение белковой молекулы с помощью фермента синтетазы и подхода новых т-РНК. Он продолжается до тех пор, пока в рибосому не попадет один из трех кодонов, не кодирующих аминокислоты. Это триплеты терминации: УАА, УГА, УАГ.

Терминация – завершение синтеза белковой молекулы. В клетке не существует т-РНК с антикодонами, комплементарными триплетам терминации. К рибосоме присоединяется специальный фактор терминации, который способствует разъединению субъединиц и освобождению синтезируемой молекулы белка.

Для увеличения производства белков по одной молекуле м-РНК перемещается сразу много рибосом. Такой комплекс рибосом, объединенных одной молекулой м-РНК, называют полирибосомой.

Примеры решения задач

1. Задачи на определение последовательности аминокислот в белке и массы молекулы белка

Напишите последовательность пар нуклеотидов в участке молекулы ДНК, который кодирует данную последовательность аминокислот: Мет-Фен-Вал-Сер-Лиз-Ала.

Решение:

1. По таблице генетического кода определяем триплеты РНК, которые кодируют данные аминокислоты (поскольку одну аминокислоту может кодировать несколько кодонов (вырожденность генетического кода), выбираем любой из них, т.е. возможно множество правильных решений этой задачи. Одним из решений пусть будет такая последовательность нуклеотидов РНК: АУГ-УУУ-ГУУ-АГУ-ААА-ГЦУ);
2. По принципу комплементарности определяем одну цепь ДНК (следует помнить, что в РНК вместо тимина имеется урацил): ТАЦ-ААА-ЦАА-ТЦА-ТТТ-ЦГА;
3. Затем по принципу комплементарности достраиваем участок второй цепи молекулы ДНК: АТГ-ТТТ-ГТТ-АГТ-ААА-ГЦТ.

2. Задачи на определение структуры, длины и массы гена или участка ДНК

Длина фрагмента молекулы ДНК бактерии равняется 20,4 нм. Сколько аминокислот будет в белке, кодируемом данным фрагментом ДНК? (длина одного нуклеотида 0,34 нм).

Решение:

1. Определяем число нуклеотидов: $20,4 : 0,34 = 60$ нуклеотидов;
2. Определяем число аминокислот, учитывая, что одну аминокислоту кодируют 3 нуклеотида: $60 : 3 = 20$ аминокислот.

Участок молекулы ДНК состоит из 60 пар нуклеотидов. Определите длину этого участка (длина одного нуклеотида 0,34 нм).

Решение:

1. Умножаем 60 (число пар нуклеотидов) на 0,34 = 20,4 нм (длина участка молекулы ДНК).

Число нуклеотидов в цепи ДНК равно 100. Определите длину этого участка.

Решение:

1. ДНК состоит из 2-х цепей, следовательно, имеем 50 пар нуклеотидов;
2. Определяем длину участка ДНК: $50 \times 0,34$ (длина нуклеотида) = 17 нм.

Молекулярная масса полипептида составляет 40000. Определите длину кодирующего его гена, если молекулярная масса одной аминокислоты в среднем равна 100, а расстояние между соседними нуклеотидами в цепи ДНК составляет 0,34 нм.

Решение:

1. Так как белок (полипептид) состоит из аминокислот, найдем количество аминокислот: $40000 : 100 = 400$;
2. Одну аминокислоту кодируют 3 нуклеотида: $400 \times 3 = 1200$ нуклеотидов имеет ген. Длина гена $1200 \times 0,34 = 408$ нм.

Белок состоит из 100 аминокислот. Установите, во сколько раз молекулярная масса участка гена, кодирующего данный белок, превышает молекулярную массу белка, если средняя молекулярная масса аминокислоты – 110, а нуклеотида – 300.

Решение:

1. Определим число нуклеотидов (одну аминокислоту кодируют 3 нуклеотида): $100 \times 3 = 300$ нуклеотидов;
2. Определим молекулярную массу белка: $100 \times 110 = 11\,000$;
3. Определим молекулярную массу гена: $300 \times 300 = 90\,000$;
4. Определим, во сколько раз молекулярная масса гена превышает молекулярную массу белка: $90\,000 : 11\,000 = 8$ раз.

Какую длину имеет участок молекулы ДНК, в котором закодирована первичная структура инсулина, если молекула инсулина содержит 51 аминокислоту, а один нуклеотид занимает 0,34 нм в цепи ДНК? Какое число молекул т-РНК необходимо для переноса этого количества аминокислот к месту синтеза?

Решение:

1. Определяем число нуклеотидов в участке ДНК: $51 \times 3 = 153$ нуклеотида;
- 2) Определяем длину участка ДНК: $0,34 \times 153 = 52$ нм;
- 3) Одна т-РНК переносит одну аминокислоту, поэтому необходимы 51 молекула т-РНК.

3. Определение влияния генных мутаций на первичную структуру молекулы белка и последовательность в ней аминокислот

Как изменится структура белка, если из участка гена – АЦАТТТАААГТЦ – удалить второй и 10-й слева нуклеотиды?

Решение:

1. Определяем последовательность нуклеотидов ДНК, и-РНК и аминокислот в белке до замены:
ДНК: АЦА ТТТ ААА ГТЦ
и-РНК: УГУ ААА УУУ ЦАГ
белок: Цис-Лиз-Фен-Глн
2. Определяем последовательность нуклеотидов ДНК, и-РНК и аминокислот в белке после замены:
ДНК: ААТ ТТА ААТ Ц
и-РНК: УУА ААУ УУА Г
белок: Лей-Асн-Лей

4. Определение количественного соотношения нуклеотидов, входящих в ДНК и РНК

В молекуле ДНК тимидиловый нуклеотид составляет 16% от общего количества нуклеотидов. Определите количество (в %) каждого из остальных видов нуклеотидов.

Решение:

1. По правилу Чаргаффа количество Т в ДНК равно количеству А (16%);
2. Следовательно, на Г+Ц приходится 68% ($100\% - 32\%$);
3. По отдельности на Г и Ц придется по 34% ($68\% : 2$).

В и-РНК на долю А приходится 28%, на долю Г – 6%, на долю У – 40%. Каков должен быть нуклеотидный состав соответствующего участка одной цепи гена, информация с которого «переписана» на данную и-РНК?

Решение:

1. Определяем процентное содержание Ц: $100\% - (28\% + 6\% + 40\%) = 26\%$;
2. По принципу комплементарности подсчитываем процентный состав нуклеотидов в одной цепочке гена: Ц и-РНК = Г гена = 26%; Г и-РНК = Ц гена = 6%; А и-РНК = Т гена = 28%; У и-РНК = А гена = 40%.

5. Задачи на репликацию ДНК, синтез белка и определение последовательности нуклеотидов и аминокислот

В одной из цепей молекулы ДНК нуклеотиды расположены в последовательности ГАГТЦЦГАЦАЦГ... Какова последовательность нуклеотидов в комплементарной цепи этой же молекулы?

Решение:

Пользуясь правилом комплементарности, выстраиваем комплементарную цепь ДНК: ЦТЦАГТГЦТГТГЦ...

Вирус гриппа относится к группе РНК-содержащих вирусов. Фрагмент одной из нуклеиновых кислот вируса гриппа имеет следующий нуклеотидный состав:

–АЦААЦАЦАЦУЦУГГАУГЦЦААААГА–. Определите аминокислотный состав фрагмента молекулы белка вируса. У РНК-содержащих вирусов вначале идёт процесс обратной транскрипции – синтез ДНК (две цепи) на матрице РНК вируса, а далее синтезируется и-РНК по второй цепи ДНК. Затем синтезируется белок.

Решение:

1. По принципу комплементарности строим фрагмент двухцепочечной молекулы ДНК:
1-я цепь: ТГТ–ТГТ–ГТГ–АГГ–АЦЦ–ТАЦ–ГГГ–ТТТ–ТЦТ
2-я цепь: АЦА–АЦА–ЦАЦ–ТЦЦ–ТГГ–АТГ–ЦЦЦ–ААА–АГА
2. По 2-ой цепи ДНК по принципу комплементарности определяем нуклеотидный состав и-РНК:
–УГУ–УГУ–ГУГ–АГГ–АЦЦ–УАЦ–ГГГ–УУУ–УЦУ–;
3. По таблице генетического кода определяем аминокислотный состав фрагмента молекулы белка:
–Цис–Цис–Вал–Арг–Тре–Тир–Гли–Фен–Сер–.

Фрагмент начала гена имеет следующую последовательность нуклеотидов (верхняя цепь – смысловая, нижняя – транскрибируемая):

5' – АЦАТГГГАТЦЦАТАТАЦГЦГ – 3'

3' – ТГТАЦЦЦТАГГАТАТАГЦЦГ – 5'

Ген содержит информативную и неинформативную части для трансляции. Информативная часть гена начинается с триплета, кодирующего аминокислоту Мет. С какого нуклеотида начинается информативная часть гена? Определите последовательность аминокислот во фрагменте полипептидной цепи.

Решение:

1. По принципу комплементарности находим цепь и-РНК (матрицей является транскрибируемая цепь): 5' – АЦАУГГГАУЦЦУАУАУЦГЦГ – 3';
2. Чтобы определить информативную часть, найдем кодон, кодирующий Мет – АУГ. Найдём АУГ на и-РНК: 5' – АЦАУГГГАУЦЦУАУАУЦГЦГ – 3', следовательно информативная часть гена начинается с третьего нуклеотида Т на ДНК (транскрибируемая цепь);
3. Последовательность аминокислот находим по кодонам и-РНК в таблице генетического кода: Мет-Гли-Сер-Тир-Иле-Ала.

Задачи для самостоятельного решения

1. Масса молекулы гемоглобина 16 471 (атомных единиц массы). Определите длину этого белка (масса аминокислоты 100, длина аминокислоты 0,36 нм).
2. Даны антикодоны т-РНК (ГАА-ГЦА-ААА-АЦГ). Используя таблицу генетического кода, определите 1) последовательность аминокислот в молекуле белка, 2) кодоны на и-РНК и 3) триплеты во фрагменте гена, кодирующего этот белок.
3. Фрагмент молекулы ДНК имеет следующую последовательность нуклеотидов (верхняя цепь – смысловая, нижняя – транскрибируемая):
5' – ГТЦАЦАГЦГАТЦААТ – 3'
3' – ЦАГТГТЦГЦТАГТТА – 5'
Определите последовательность аминокислот во фрагменте полипептидной цепи. Какие изменения могли произойти в результате генной мутации во фрагменте молекулы ДНК, если вторая аминокислота в полипептиде заменилась на аминокислоту Про? Какое свойство генетического кода определяет возможность существования разных фрагментов мутированной молекулы ДНК? Для решения задания используйте таблицу генетического кода.
4. Фрагмент цепи ДНК имеет последовательность ТГГЦАГ. Определите 1) последовательность второй цепи в 2) общее число водородных связей между азотистыми основаниями.
5. Молекула и-РНК состоит из 300 нуклеотидов. Какова длина и масса этой молекулы? Длина одного нуклеотида 0,34 нм, а его средняя масса 300.
6. Молекула ДНК состоит из 1000 нуклеотидов, какова ее длина? Какова длина и-РНК, построенной на данной молекуле ДНК?
7. В кодирующей цепи гена содержится 600 нуклеотидов. Сколько аминокислот содержится в молекуле белка, информация о которой закодирована в этом гене, если в конце гена имеются два стоп-триплета?
8. Фрагмент нуклеотидной цепи ДНК имеет последовательность ААГТГАЦ. Определите нуклеотидную последовательность второй цепи и общее число водородных связей, которые образуются между двумя цепями.
9. В молекуле ДНК 20% гуаниловых нуклеотидов. Определите процентное содержание Ц, Т, А и длину молекулы ДНК, если в ней всего 300 нуклеотидов.
10. Укажите последовательность нуклеотидов в обеих цепочках фрагмента ДНК, если известно, что РНК, построенная на этом участке ДНК, имеет следующее строение

АГУАЦЦГАУАЦУУГАУУУАЦГ. Какова длина этого фрагмента ДНК, если длина одного нуклеотида 0,34 нм?

11. Белковая цепочка состоит из следующих аминокислот: Вал–Лей–Гис–Сер–Иле. Какой последовательностью пар нуклеотидов ДНК кодируется данный белок?

12. Участок цепи ДНК имеет следующее строение: ЦГГЦГЦТЦААААТЦГ. Как изменится пептид, который кодируется этим участком ДНК, если произошла вставка нуклеотида, содержащего аденин, между третьим и четвертым нуклеотидами, и произошло выпадение восьмого нуклеотида исходной цепи?

13. Как изменится последовательность аминокислот, кодируемая такой последовательностью нуклеотидов: ТАЦАГТАЦЦГАТЦГААЦТ, если произойдет генная мутация, заключающаяся в инверсии (поворот на 180°) участка, который начинается с шестого нуклеотида и заканчивается одиннадцатым, считая слева направо?

14. Какое наименьшее количество нуклеотидных замен может привести к замене в полипептидной цепи пролина на треонин?

15. Фрагмент зрелой и-РНК инсулина имеет следующий состав: УУУГУУГАУЦААЦАЦУУАУГУТГГУЦАЦАЦ. Определите длину фрагмента ДНК, если экзоны составляют 20% всех нуклеотидов гена.

16. Длина белка вируса табачной мозаики 56,88 нм. Какова масса этого белка (масса аминокислоты 100, длина аминокислоты 0,36 нм)?

17. Почему при репликации ДНК отстающая цепь синтезируется пофрагментно?

18. В состав белка входит 400 аминокислот. Определить, какую длину имеет контролирующий его ген, если расстояние между двумя нуклеотидами в молекуле ДНК составляет $3,4 \times 10^{-4}$ мкм?

19. Известно процентное соотношение нуклеотидов в одной из молекул и-РНК: на долю урацила приходится 30%, цитозина – 30%, аденина – 30% и гуанина – 10%. Исходя из этого, установите соотношение нуклеотидов в молекуле ДНК, с одной из двух цепей которой транскрибируется данная и-РНК?

20. В молекуле ДНК адениловые нуклеотиды составляют 15%. Определить процентное содержание остальных нуклеотидов и длину этого фрагмента ДНК, если в нем содержится 700 цитидиловых нуклеотидов, а длина одного нуклеотида равна 0,34 нм.

21. Пользуясь кодом наследственности, определить, какие аминокислоты кодируются следующими триплетами: а) ГГТ; б) ААГ; в) ЦТТ; г) ТЦГ; д) АГТ; е) ААА.

22. В связи с «вырожденностью» генетического кода любая аминокислота в белковой молекуле может быть закодирована не одним, а двумя-четырьмя разными триплетами. Закодируйте следующую последовательность аминокислот: Гис–Сер–Гли–Три, используя одни, а затем другие триплеты генетического кода.

23. Какую последовательность аминокислот кодирует такая последовательность нуклеотидов: ТАЦГГТЦЦГ?

24. Как будет самокопироваться молекула ДНК при следующем составе нуклеотидов в одной из ее цепочки: ТААГАТААЦАЦГТЦА?
25. Известно, что определенный ген эукариотической клетки содержит 4 интрона (два по 24 нуклеотида и два по 36 нуклеотидов) и 3 экзона (два по 120 нуклеотидов и один 96 нуклеотидов). Определите: 1) количество нуклеотидов в м-РНК; 2) количество кодонов в м-РНК; 3) количество аминокислот в полипептидной цепи; 4) количество т-РНК, участвующих в трансляции.
26. Определить молекулярную массу гена, контролирующего образование белка, состоящего из 400 аминокислот. Известно, что средняя молекулярная масса нуклеотида – 300.
27. Определить последовательность аминокислот в начале цепочки белковой молекулы, если они закодированы в ДНК так: АТГГТТГАГГГГТТЦ?
28. Участок молекулы и-РНК имеет следующую последовательность: ГАЦГУУГГААААГГАЦАА. Указать порядок расположения аминокислот в белковой молекуле, синтезируемой на этой и-РНК?
29. Участок цепи и-РНК имеет следующие строение: УЦУ–ЦУУ–ЦЦУ–АЦГ–ГЦА. Замены каких нуклеотидов не приведут к изменению в аминокислотной последовательности, которая соответствует этой нуклеотидной последовательности?
30. Исследования показали, что нуклеотидный состав м-РНК следующий: 30% приходится на гуанин, 10% – на цитозин, 16% – на аденин и 44% – на урацил. Определите процентный состав по нуклеотидам той части ДНК, слепком которой является изученная м-РНК.

Деление клеток

Деление клеток лежит в основе роста многоклеточных организмов, а для одноклеточных оно является и способом их размножения. Существуют три типа деления клеток – амитоз, митоз и мейоз.

Амитоз наблюдается у малоспециализированных клеток (отмирающих клеток эпителия, фолликулярных клеток яичников), при патологических процессах (воспалении, злокачественном росте). При амитозе не происходит равномерного распределения генетического материала, не образуется веретено деления, ядро делится перетяжкой, цитокинез часто не происходит, что ведет к образованию многоядерных клеток. После амитоза митоз невозможен.

При митозе из одной материнской клетки образуются две дочерние, идентичные друг другу и материнской клетке. Митоз обеспечивает постоянство числа хромосом в ряду поколений, отвечает за рост, регенерацию и бесполое размножение.

Мейоз – тип деления клетки, при котором из одной материнской диплоидной клетки образуются четыре дочерние гаплоидные клетки. Мейоз приводит к образованию гамет (у животных) и спор (у растений).

Митоз и митотический цикл

Митотический цикл (рис. 4) представляет собой время от момента появления клетки до ее деления и включает в себя интерфазу и митоз.

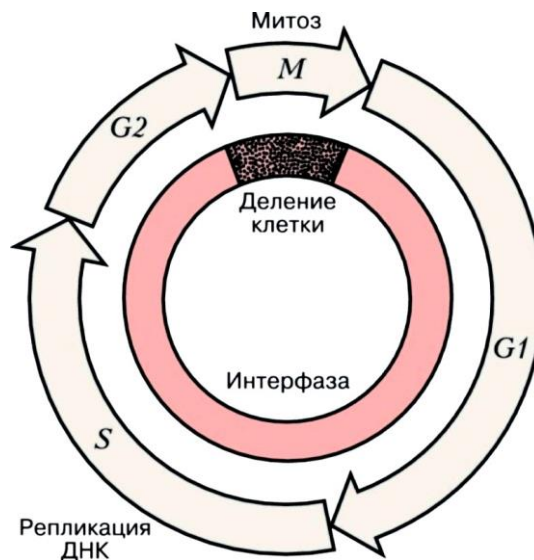


Рисунок 4. Митотический цикл

1. Интерфаза (10-20 часов): подготовка клетки к делению

- *пресинтетический этап* (G1 – длится 2-3 часа до нескольких суток, самая продолжительная стадия; происходят процессы жизнедеятельности, идет синтез белков, нуклеотидов, образуется АТФ, каждая хромосома имеет одну хроматиду, набор хромосом двойной); **2n2c**.

- *синтетический* (S – 6-10 час., идет удвоение (репликация) молекул ДНК, синтез РНК, продолжаются процессы жизнедеятельности; набор хромосом двойной, каждая хромосома состоит из двух хроматид); **2n4c**
- *постсинтетический* (G2 – 2-5 час., процессы синтеза затухают, меняются ядерно-плазменное отношение (от 1/6 до 1/69), вязкость цитоплазмы, накапливаются белки для построения ахроматинового веретена); **2n4c**

2. Митоз

Включает деление ядра (кариокinesis, рис. 5) и деление цитоплазмы (цитокinesis).

КАРИОКИНЕЗ

- *профаза* (объем ядра увеличивается, хромосомы спирализуются, центриоли удваиваются и расходятся к полюсам клетки, к концу профазы образуются нити веретена деления, ядерная оболочка распадается, ядрышко постепенно исчезает); **2n4c**
- *метафаза* (нити веретена деления полностью сформированы, хромосомы прикрепляются к ним центромерами и перемещаются в экваториальную плоскость клетки. Центромеры делятся, каждая хроматида становится самостоятельной дочерней хромосомой); **2n4c**
- *анафаза* (окончательное деление центромер, хроматиды расходятся к полюсам клетки); **4n4c**
- *телофаза* (хромосомы деспирализуются, формируется ядерная оболочка, ядрышки, нити веретена деления растворяются); **2n2c**

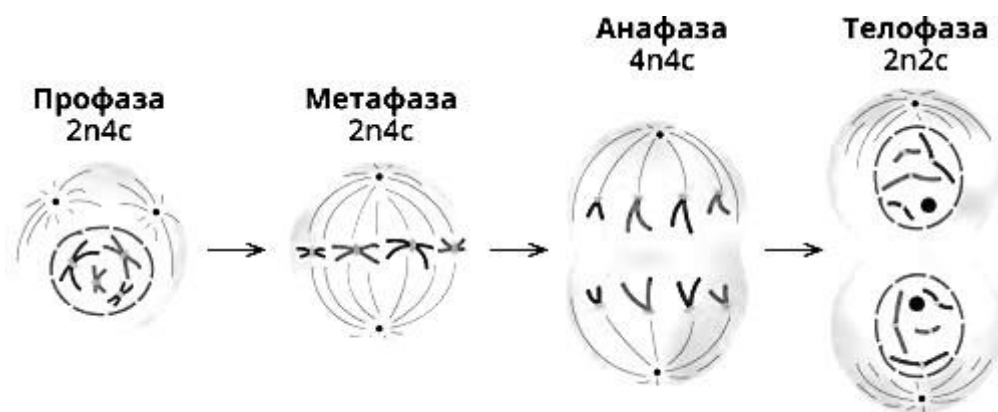


Рисунок 5. Схема кариокinesis

ЦИТОКИНЕЗ

Заключается в разделении цитоплазмы клетки после деления ее ядра. У растительных клеток цитокinesis происходит путем образования клеточной перегородки, поперечной веретену деления. Перегородка в конечном итоге сливается с боковыми стенками клетки, что способствует ее разделению на две дочерние. У животных цитокinesis осуществляется за счет образования перетяжки – борозды деления. Она формируется на периферии клетки, углубляется и делит цитоплазму на две части.

Мейоз и гаметогенез

Мейоз – тип деления клетки, возникший позднее митоза и явившийся основой для полового размножения. Мейозом делятся клетки половых желез у животных, клетки органов бесполого размножения (спорангиев) – у растений.

- гаметный, или терминальный, мейоз (у всех многоклеточных животных и ряда низших растений) – происходит в половых органах и приводит к образованию гамет;

- зиготный, или начальный, мейоз (у многих грибов и водорослей), происходит в зиготе сразу после оплодотворения и приводит к образованию гаплоидного мицелия или таллома, а затем спор и гамет;
- споровый, или промежуточный, мейоз (у высших растений), имеет место накануне цветения и приводит к образованию гаплоидного гаметофита, в котором позднее образуются гаметы.

У простейших встречаются все 3 типа мейоза.

Мейоз состоит из двух следующих друг за другом делений.

Первое деление (редукционное) (рис. 6)

- *профаза* (наиболее длительная фаза мейоза, включающая 5 стадий:
 - лептотена (хромосомы спирализуются, гомологичные хромосомы начинают передвигаться друг к другу);
 - зиготена (гомологичные хромосомы соединяются (конъюгируют) вначале в области центромер, затем по всей длине);

Мейоз I

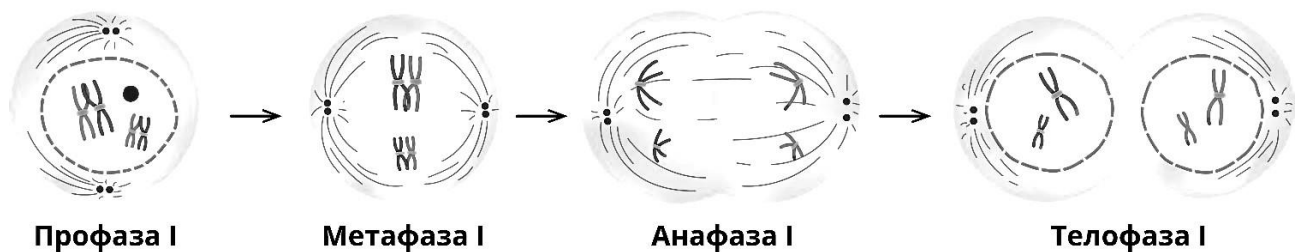


Рисунок 6. Схема первого деления мейоза

- пахитена (конъюгировавшие хромосомы образуют биваленты (парные хромосомы), число которых равно гаплоидному числу хромосом; происходит кроссинговер (обмен участками хроматид) – важнейшее событие мейоза, обеспечивающее разнообразие жизни);
- диплотена (хроматиды начинают расходиться, соединяясь лишь в отдельных местах – хиазмах);
- диакинез (спирализация хромосом завершается, биваленты обособляются, исчезают ядрышки и ядерная оболочка, к центромерам начинают прикрепляться нити веретена деления); **$2n4c$**
- *метафаза* (в экваториальной плоскости концентрируются биваленты, прикрепленные центромерами к нитям веретена); **$2n4c$**
- *анафаза* (хромосомы (не хроматиды, как при митозе!) расходятся к полюсам клетки. У каждого полюса сосредоточено половинное число от первоначального количества хромосом: например, если в диплоидной клетке человека 46 хромосом, то в анафазе 1 мейоза у полюсов будет по 23 хромосомы); **$2n4c$**
- *телофаза* (не отличается от телофазы митоза, но хромосомы не деспирализуются. Таким образом, в результате первого деления мейоза число хромосом у дочерних клеток уменьшается вдвое, его называют редукционным); **$n2c$**

Интеркинез при мейозе короткий, S-этап отсутствует, поскольку репликации ДНК не происходит.

Второе деление (эквационное, рис. 7) происходит по типу митоза.

- *профаза $n2c$* : хромосомы спирализуются, делится клеточный центр, ядерная оболочка разрушается, образуется веретено деления, перпендикулярное первому веретену деления;

- метафаза **n2c**: двуххроматидные хромосомы располагаются по экватору клетки, образуя метафазную пластинку;
- анафаза **2n2c**: хромосомы разделяются на хроматиды, которые расходятся к полюсам клетки;
- телофаза **nc**: хромосомы деспирализуются, образуется ядерная оболочка.

Мейоз II

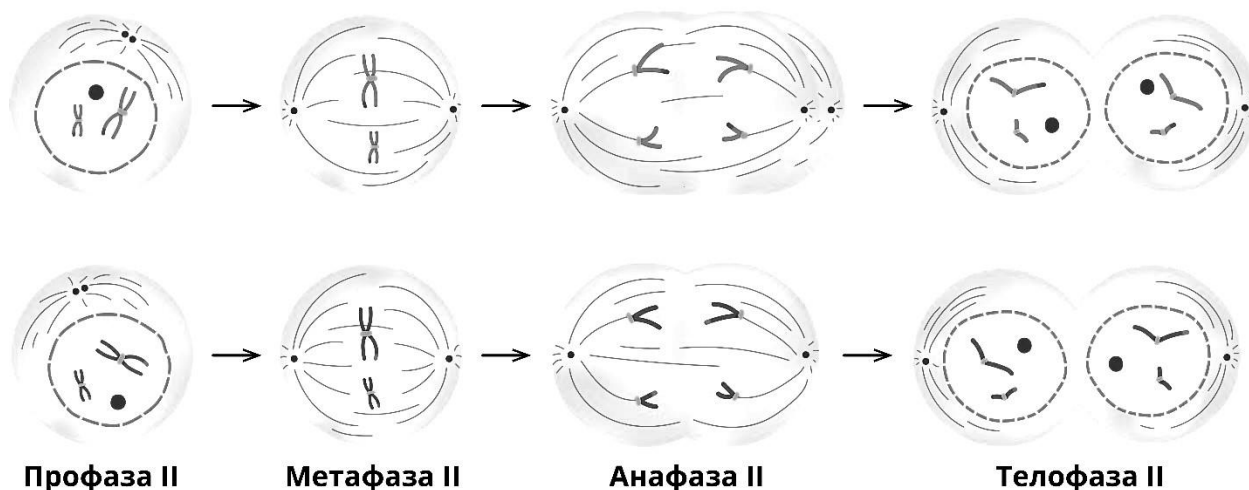


Рисунок 7. Схема второго деления мейоза

Результат мейоза: 4 дочерние гаплоидные клетки (у животных гаметы, у растений споры).

Гаметогенез – процесс образования гамет, половых клеток.

Овогенез (периоды размножения и роста происходят в яичниках, созревания – в маточных трубах)	Сперматогенез (все периоды происходят в семенных канальцах яичка)
Период размножения 2n2c	
Из первичной диплоидной клетки образуются 2 овогонии (набор хромосом 2n2c)	Из первичной диплоидной клетки образуются 2 сперматогонии (набор хромосом 2n2c)
Период роста 2n4c	
Овогонии вступают в интерфазу и профазу 1 деления мейоза. Образуются овоциты 1 порядка (набор хромосом 2n4c)	Сперматогонии вступают в интерфазу и профазу 1 деления мейоза. Образуются сперматоциты 1 порядка (набор хромосом 2n4c)
Период созревания n2c/nc	
Происходят 1-е деление мейоза (образуются овоцит 2 порядка (n2c) и одно направительное тельце – весь объем цитоплазмы идет в будущую яйцеклетку) Затем происходит 2-е деление мейоза: направительное тельце делится и дает 2 дочерние клетки; овоцит 2 порядка делится и дает овотиду (nc) и третье направительное тельце. Овотида превращается в яйцеклетку.	Происходят 1 деление мейоза: образуются 2 сперматоцита 2 порядка (n2c). Затем происходит 2-е деление мейоза: образуются 4 сперматиды (nc).
	Период формирования nc У человека продолжается 4 недели. При этом сокращается объем цитоплазмы; комплекс Гольджи перемещается к полюсу клетки и превращается в акросому – ее ферменты растворяют оболочку яйцеклетки; митохондрии концентрируются в шейке сперматозоида; из центриолей образуется жгутик.

У растений процесс образования гамет усложнен. Из материнских клеток, делящихся мейозом, образуются гаплоидные одноклеточные споры. Споры делятся, образуя гаметофит (самостоятельное растение, как у плаунов или папоротников, или часть материнского организма, как голосеменных и покрытосеменных растений). На гаметофите образуются органы полового размножения, в которых путем митоза образуются гаметы.

Примеры решения задач

Для соматической клетки животного характерен диплоидный набор хромосом. Определите хромосомный набор (n) и число молекул ДНК (c) в клетке в профазе мейоза I и метафазе мейоза II. Объясните результаты в каждом случае.

Решение:

1. Диплоидный набор хромосом – $2n2c$.
2. Профаза мейоза I – $2n4c$. Перед началом мейоза в S-периоде интерфазы происходит удвоение ДНК.
3. Профаза мейоза II – $n2c$. После первого деления мейоза образуются две дочерние клетки с гаплоидным набором хромосом ($n2c$).
4. Метафаза мейоза I – $2n4c$. На экваторе клетки выстраиваются биваленты, с хромосомами ничего не происходит.
5. Метафаза мейоза II – $n2c$. На экваторе выстраиваются хромосомы, число их в два раза меньше по сравнению с метафазой мейоза I ($n2c$).

Какой хромосомный набор характерен для гаметофита и гамет мха сфагнума? Объясните из каких исходных клеток и в результате какого деления образуются эти клетки?

Решение:

1. Гаметофит и гаметы сфагнума гаплоидны, набор хромосом и количество ДНК в клетках отвечают формуле nc .
2. Гаметофит образуется из споры, которая образуется в результате мейоза из тканей спорофита. Спора делится митозом, образуя гаметофит.
3. Гаметы образуются на гаплоидном гаметофите путем митоза.

Соматические клетки кролика содержат 44 хромосомы. Как изменится число хромосом и молекул ДНК в ядре при гаметогенезе перед началом мейоза и в конце телофазы мейоза I? Объясните результаты в каждом случае.

Решение:

1. Перед началом мейоза: число хромосом – 44, молекул ДНК – 88 ($2n4c$); перед началом деления число хромосом не меняется, а число ДНК удвоилось за счет репликации.
2. В конце телофазы мейоза I число хромосом – 22, молекул ДНК – 44; после мейоза I (редукционного деления) число хромосом и количества ДНК уменьшаются в два раза

Задачи для самостоятельного решения

1. Исходная клетка зеленой лягушки имеет 26 хромосом. Сколько хроматид направляется к каждому полюсу клетки во время анафазы митоза?
2. Какой хромосомный набор характерен для гамет и спор растения мха кукушкина льна? Объясните, из каких клеток и в результате какого деления они образуются.

3. В ядре соматической клетки щуки содержится 16 пар хромосом, а в ядре малярийного плазмодия одна пара. Сколько будет хромосом, хроматид и ДНК в каждой дочерней клетке после прохождения митоза.
4. У крупного рогатого скота в соматических клетках 60 хромосом. Определите число хромосом и молекул ДНК в клетках яичников в интерфазе перед началом деления и после деления мейоза I.
5. Если сперматоцит I порядка самца европейского хомячка содержит 44 хромосомы, то сколько хромосом перемещается к полюсу в анафазу I? Сколько хроматид идет к полюсу в анафазу II?
6. Соматические клетки дрозофилы содержат 8 хромосом. Как изменится число хромосом и молекул ДНК в ядре при гаметогенезе 1) перед началом деления и 2) в конце телофазы мейоза I? Объясните результаты в каждом случае.
7. Хромосомный набор соматических клеток пшеницы равен 28. Определите хромосомный набор и число молекул ДНК в одной из клеток семязачатка 1) перед началом мейоза, 2) в анафазе мейоза I и 3) в анафазе мейоза II. Объясните, какие процессы происходят в эти периоды и как они влияют на изменение числа ДНК и хромосом.
8. Кариотип одного из видов рыб составляет 56 хромосом. Определите количество хромосом при сперматогенезе в клетках в зоне роста и конце зоны созревания.
9. Какой хромосомный набор характерен для 1) вегетативной, 2) генеративной клеток и 3) спермиев пыльцевого зерна люцерны? Объясните, из каких исходных клеток и в результате какого деления образуются эти клетки.
10. Общая масса всех молекул ДНК в 46 хромосомах одной соматической клетки человека составляет около $6 \cdot 10^{-9}$ мг. Определите, чему равна масса всех молекул ДНК в клетке, образующейся при овогенезе 1) в анафазе мейоза I и 2) анафазе мейоза II.
11. Соматические клетки дрозофилы содержат 8 хромосом. Определите хромосомный набор и число молекул ДНК в телофазе мейоза I и мейоза II.
12. Какой хромосомный набор характерен для 1) клеток листьев (хвои) и 2) спермиев ели? Объясните, из каких исходных клеток и в результате какого деления образуются эти клетки.
13. У полевой мыши 40 хромосом ($2n$). Сколько хромосом у самца мыши 1) в сперматогониях, с которых начинается формирование сперматозоидов, 2) в зрелых сперматозоидах и 3) в клетках зародыша? Какое деление приводит к образованию этих клеток? Из каких клеток они образуются?
14. У шимпанзе в соматических клетках 48 хромосом. Определите хромосомный набор и число молекул ДНК 1) в клетках перед началом мейоза, 2) в анафазе мейоза I и 3) в профазе мейоза II. Объясните ответ в каждом случае.
15. Кариотип собаки включает 78 хромосом. Определите число хромосом и число молекул ДНК в клетках при овогенезе в зоне размножения и в конце зоны созревания гамет. Какие процессы происходят в этих зонах?

16. В кариотипе домашней кошки 38 хромосом. Определите число хромосом и молекул ДНК при сперматогенезе 1) в клетках в конце периода роста и 2) в конце периода созревания гамет. Объясните, какие процессы происходят в этих зонах.
17. Какой хромосомный набор характерен для 1) клеток микроспоры и 2) спермия томата? Объясните, из каких исходных клеток и в результате какого деления они образуются.
18. Какой хромосомный набор характерен для 1) клеток листьев, 2) зародыша и 3) эндосперма ячменя. Объясните результат.
19. Хромосомный набор соматических клеток речного рака равен 116. Определите хромосомный набор и число молекул ДНК в одной из клеток 1) в профазе митоза, 2) в метафазе митоза и 3) в конце телофазы митоза.
20. В кариотипе осла 62 хромосомы. Определите количество хромосом в клетке при овогенезе у самки в конце зоны размножения и в конце зоны созревания. Какие процессы происходят в этих зонах?
21. Соматическая клетка толстолобика имеет 48 хромосом. Сколько хромосом будет содержать клетка полового пути самца этой рыбы 1) в конце зоны роста и 2) в конце зоны созревания гамет? Ответ поясните. Какие процессы происходят в этих зонах?
22. Какой хромосомный набор (n) характерен для 1) клеток листьев и 2) клеток заростка у папоротника? Объясните, в результате какого деления и из каких исходных клеток образуются эти органы.
23. Если сравнить число анафазных дочерних хромосом с числом профазных, то каких хромосом окажется больше в делящейся митозом клетке – профазных, анафазных или их число будет одинаковым? Дайте объяснение.
24. Какое число хромосом и молекул ДНК содержится в метафазе митоза? Выберите правильный вариант: $n4c$, $2n2c$, $4n4c$, $2n4c$, $2nc$, nc .
25. Хромосомный набор вишни составляет 32 хромосомы. Определите хромосомный набор и число молекул ДНК в клетках семязачатка при образовании макроспоры в конце мейоза I и мейоза II.
26. У зеленой лягушки, имеющей 26 хромосом, а) при митозе две хромосомы пошли в одну из двух образовавшихся клеток; б) при мейозе 2-я и 3-я пары не разошлись в разные стороны; в) при мейозе две хромосомы не разошлись на хроматиды. Сколько хромосом, хроматид будет в дочерних клетках после таких нарушений?
27. Исходная клетка имеет 4 пары хромосом с генами ABCD. Сколько типов гамет и с какими генами дает клетка в результате мейоза?
28. Сколько яйцеклеток могут дать 6000 ооцитов I порядка женщины в процессе овогенеза?
29. Сколько бивалентов образуется в профазе I деления мейоза в клетках пшеницы ($2n = 28$)?
30. В клетках кожи горбатого кита содержится 44 хромосомы. Определите количество хромосом и число молекул ДНК в клетках кита в анафазе I мейоза и профазе II мейоза.

Закономерности наследования признаков

Закономерности наследования признаков, установленные Г. Менделем

Чешско-австрийский монах-августинец Грегор Иоганн Мендель (1822–1884) считается основателем генетики, так как он первым, еще до того, как оформилась эта наука, сформулировал основные законы наследования. основополагающие выводы о наследовании признаков в поколениях Г. Мендель сделал в своей работе «Опыты над растительными гибридами» (1866).

Для гибридологического метода Г. Менделя характерны следующие принципы:

1. Опытные растения должны иметь константно различающиеся признаки;
2. Гибриды их должны быть или сами защищены от влияния чужеродной пыльцы, или могут быть легко защищены искусственно;
3. Гибриды и их потомки в последующих поколениях должны иметь нормальную плодовитость.

Необходимым условием выявления закономерностей наследования признаков является количественный учет *гибридных* и *исходных* (родительских) форм во всех поколениях по всем исследуемым признакам. В практике проведения генетического анализа на конкретном объекте (горох, дрозофила, кукуруза) руководствуются следующими принципами:

1. Для скрещивания подбираются родительские особи, различающиеся по 1, 2, 3 и более альтернативным (взаимоисключающим) признакам;
2. Предварительно родительские формы в 2-х – 3-х поколениях проверяют на константность (отсутствие гибридности по испытываем признакам);
3. Полученные гибриды в последующих поколениях размножают либо путем самоопыления, либо путем близкородственного скрещивания у животных.

При проведении генетического анализа пользуются определенными символами. Родители обозначаются латинской буквой **P** (лат. parentes – родители), материнская особь – ♀ (зеркало Венеры), отцовская – ♂ (щит и копье Марса), знак скрещивания – «х». Потомство первого поколения, полученного от скрещивания родителей с альтернативными признаками обозначают буквой **F₁**. Цифровой индекс соответствует порядковому номеру поколения: **F₁** – первому, **F₂** – второму, полученному от скрещивания **F₁ x F₁**, и т.д.

Скрещивание гибрида **F₁** с одной из родительских форм называется *возвратным скрещиванием* или *беккроссом* и обозначается символом **F_v** или **F_в**.

Скрещивание гибрида **F₁** с родительской формой, находящейся в рецессивном состоянии, называется *анализирующим скрещиванием* и обозначается символом **F_a** или **F_А**.

Гены, обуславливающие развитие признака, принято обозначать буквами. Причем доминантный ген обозначается прописной буквой (**A**), а рецессивный – строчной (**a**).

Аллельные гены – гены, занимающие одинаковое положение в локусах гомологичных хромосом и отвечающие за развитие одного и того же признака. Аллели отличаются друг от друга последовательностью нуклеотидов, это различие возникает в результате точковых мутаций.

Моногибридное скрещивание

Моногибридное скрещивание – это скрещивание организмов, отличающихся по одной паре альтернативных признаков. Например, одно родительское растение имеет желтую окраску семян гороха, другое – зеленую окраску. При скрещивании таких растений первое гибридное поколение **F₁** будет иметь желтую окраску семян. Такое преобладание признака

одного родителя Г. Мендель назвал **доминированием**, а соответствующие признаки – **доминантными**. Признаки, не проявляющиеся у гибридов первого поколения, получили названия **рецессивных**. В данном случае желтая окраска семян обладает доминантным признаком. Соответственно, зеленая окраска семян – признак рецессивный. В случае полного доминирования у них проявляется признак доминантного родителя. В случае неполного доминирования наблюдается промежуточное проявление признаков родителей в F_1 (в приведенном примере – желто-зеленая окраска семян), однако и в этом случае все потомство F_1 будет **единообразным**.

Таким образом, Г. Мендель обнаружил единообразие по окраске гибридов F_1 . Эта закономерность известна в генетике как **первый закон Г. Менделя – гибриды первого поколения всегда единообразны**.

Скрестив гибриды F_1 между собой, получим потомство F_2 , среди которого $3/4$ окажутся с доминантными признаками, а $1/4$ – с рецессивными (приложения Б, В). Такая закономерность наблюдается всегда, если один признак доминирует над другим. Ее проявление – результат расхождения детерминантов наследственности у гибридов F_1 в разные гаметы. Это явление **отражено во втором законе Г. Менделя – законе расщепления**, который формулируется так: **при скрещивании двух гетерозиготных особей, т.е. гибридов, анализируемых по одной паре признаков, в потомстве наблюдается расщепление по генотипу в соотношении $1 : 2 : 1$, а по фенотипу – $3 : 1$** .

Совокупность признаков и свойств организма, проявляющихся в результате взаимодействия наследственных задатков организма и окружающей среды, называют **фенотипом**. **Генотипом** называют совокупность наследственных задатков – **генов**, присущих данному организму.

Организмы, имеющие генотипы с одинаковыми состояниями генов AA или aa , дают только один тип гамет: A или a и при скрещивании между собой дают нерасщепляющее потомство. Такие организмы называются **гомозиготными**, – *происшедшими от слияния гамет, несущих одинаковые наследственные задатки*.

Организмы, имеющие генотипы Aa , образуют два типа гамет A , a и при самооплодотворении или близкородственном разведении дают расщепляющее потомство. Такие организмы называются **гетерозиготными**, т.е. *происшедшими от слияния гамет, несущих качественно различные наследственные задатки*.

Примеры решения задач

Инкубаторная станция закупила на ферме все яйца, снесенные за декаду. Из полученных 10 000 цыплят 260 имели нежелательный признак – голую шейку. Проверка птицефермы показала, что голую шейку имели несколько кур, в то время как все петухи были нормальными, чистопородными. В среднем за декаду каждая курица снесла 10 яиц. Какое максимальное и минимальное число кур с этим дефектом может быть на ферме? Можно ли цыплят, полученных на инкубаторной станции, продавать для племенных целей?

Решение:

При выполнении задания следует соблюдать ряд правил в последовательности действий.

1. Выписать условные обозначения аллелей:

Если бы признак «голая шейка» был рецессивный (aa), а все петухи по условию нормальные и чистопородные (AA), то все потомство было бы нормальным (Aa); следовательно, признак «голая шейка» – доминантный. Таким образом:

A – ген «голая шейка»

a – ген «нормальная шейка»

2. Выписать генотипы родителей и составить схему скрещивания.

3. С максимальной возможностью выразить условие задачи в генетических символах:

Поскольку каждая курица снесла за декаду 10 штук яиц, то минимальное число кур с голой шейкой равно 26 (260:10);

P: ♀ AA x ♂ aa
Гаметы: A a

F₁: Aa (все с голой шейкой).

4. Дать четкие ответы в задаче на вопросы:

Если куры с данным признаком гибридные, то они будут давать половину яиц нормальных:

P: ♀ Aa x ♂ aa
Гаметы: A, a a

F ₁ :	Aa	aa
	1/2	1/2
	голая	нормальная
	шейка	шейка

Поэтому для получения 260 цыплят с голой шейкой потребуется $26 \times 2 = 52$ курицы.

5. Поскольку все нормальные цыплята гомозиготные по рецессиву, их можно использовать для племенных целей.

Ген бесхвостости у кошек летален в гомозиготном доминантном состоянии. Если в норме плодовитость кошек составляет 3,88 котенка, то сколько котят можно ожидать от скрещивания между собой бесхвостых кошек?

Решение:

1. По условию бесхвостые кошки могут быть только гетерозиготами.

A – ген бесхвостости

a – ген нормального развития хвоста

2.

P: ♀ Aa x ♂ Aa
Гаметы: A, a A, a

F ₁ :	AA	Aa	Aa	aa
	леталь	2/3	1/3	
		бесхвостые	нормальное развитие хвоста	

При скрещивании двух гетерозигот потомство будет $2/3$ Aa : $1/3$ aa (AA погибают, что уменьшает на $1/4$ потомство от такого скрещивания).

3. Поэтому плодовитость бесхвостых кошек будет $3,88 \times 0,75 = 2,91$ котенка (примерно 3 котенка).

У гороха пурпурная окраска цветков доминирует над белой. Гомозиготный сорт гороха с пурпурными цветками опылили пыльцой белопетликового сорта и получили 10 растений F₁, от самоопыления которых было получено 96 растений F₂. 1. Сколько типов гамет образуется в F₁? 2. Сколько различных генотипов может образоваться в F₂? 3. Сколько растений – доминантных гомозигот может быть в F₂? 4. Сколько растений в F₂ могут быть гетерозиготными? 5. Сколько растений в F₂ могут иметь пурпурную окраску цветков?

Решение:

А – ген пурпурной окраски цветков
а – ген белой окраски цветков

Р: ♀ AA x ♂ aa
Гаметы: А а

F₁: Аа – все пурпурные

Самоопыление F₁ Аа x Аа
Гаметы: А, а А, а
F₂:

AA	Aa	Aa	aa
1/4	2/4		1/4
3/4			1/4
пурпурные			белые
цветки			цветки

1. У гибрида F₁ образуется 2 типа гамет (А, а);
2. У растений F₂ может быть 3 разных генотипа (АА, Аа, аа);
3. Доминантных гомозигот (АА) в F₂ может быть 1/4 (96 x 1/4 = 24 растения);
4. Гетерозигот (Аа) в F₂ будет 2/4 (96 x 2/4 = 48 растений);
5. Пурпурную окраску цветков (АА, Аа) могут иметь 3/4 (96 x 3/4 = 72 растения).

У мексиканского дога ген, обуславливающий отсутствие шерсти, в гомозиготном состоянии приводит к гибели потомства. 1) При скрещивании двух мексиканских лысых догов часть потомства погибла. 2) При скрещивании мексиканского дога с нормальношерстной самкой гибели потомства не наблюдалось. 3) При скрещивании бесшерстного потомства от этих двух скрещиваний опять наблюдалась гибель щенков. Определите генотипы всех скрещиваемых особей.

Решение:

А – ген бесшерстности
а – ген наличия шерсти
АА – гибель потомства

1. Поскольку при скрещивании двух лысых догов часть потомства погибла, родительские особи гетерозиготны (Аа);
2. При втором скрещивании кобеля Аа с другой самкой гибели потомства не отмечалось, следовательно, генотип самки аа.
3. При третьем скрещивании опять отмечалась гибель щенков, следовательно, родительские особи были гетерозиготны (Аа).

1)
Р: ♀ Аа x ♂ Аа
Гаметы: А, а А, а

F₁:

AA	Aa	Aa	aa
погибают	2/3		1/3
	лысые имеют шерсть		

2)
F₁: ♀ аа x ♂ Аа
Гаметы: а А, а
F₂:

Aa	aa
1/2	1/2
лысые имеют шерсть	

3)
 F_2 : ♀ Aa x ♂ Aa
 Гаметы: A, a A, a
 F_3 : AA Aa Aa aa
 { }
 2/3 1/3
 лысые имеют шерсть

Задачи для самостоятельного решения

1. У свиней белая щетина доминирует над черной. Установите генотипы родителей, если: 1) при спаривании чернощетиной свиньи с белым хряком получено 12 белых поросят; 2) при спаривании чёрной свиньи с белым хряком получено 6 белых и 8 чёрных поросят.
2. Хохлатый петух скрещен с двумя хохлатыми курицами. Первая курица дала 22 хохлатых цыпленка, а вторая – 16 хохлатых и 5 без хохла. Как наследуется этот признак? Каковы генотипы родительских особей?
3. У томатов красная окраска плодов доминирует над желтой. От скрещивания красноплодного растения с желтоплодным получили в потомстве 48 растений, среди которых были и красноплодные и желтоплодные. Определите: 1) сколько растений может иметь красные плоды, 2) сколько растений в потомстве могут быть гомозиготными.
4. У человека ген длинных ресниц доминирует над геном коротких ресниц. Женщина с длинными ресницами, у отца которой ресницы были короткими, вышла замуж за мужчину с короткими ресницами. Выясните: 1) Сколько типов гамет образуется у женщины? 2) Сколько типов гамет образуется у мужчины? 3) Какова вероятность рождения в данной семье ребенка с длинными ресницами? 4) Сколько разных генотипов может быть у детей в этой семье? 5) Сколько разных фенотипов может быть у детей в этой семье?
5. У человека ген полидактилии (многопалости) доминирует над нормальным строением кисти. У жены кисть нормальная, муж гетерозиготен по гену полидактилии. Определите вероятность рождения в этой семье многопалого ребенка.
6. При скрещивании черной самки кролика с белым самцом в первом поколении получили потомство черного цвета. Составьте схему данного скрещивания и определите: 1) Какая окраска шерсти у кроликов доминирует? 2) Каковы генотипы родителей и гибридов первого поколения по признаку окраски шерсти? 3) Какие генетические закономерности проявляются при такой гибридизации?
7. Равномерная окраска арбузов наследуется как рецессивный признак. Какое потомство получится от скрещивания двух гетерозиготных растений с полосатыми плодами?
8. У морских свинок ген мохнатой шерсти (R) доминирует над геном гладкой шерсти (r). Мохнатая свинка при скрещивании с гладкой дала 18 мохнатых и 20 гладких потомков. 1) Каков генотип родителей, 2) потомства? 3) Могли бы у этих свинок родиться только гладкие особи?
9. От скрещивания комолого (безрогого) быка с рогатыми коровами получились комолые и рогатые телята. У коров комолых животных в родословной не было. 1) Какой признак доминирует? 2) Каков генотип родителей и потомства?

10. В одном из зоопарков Индии у пары тигров с нормальной окраской родился тигр-альбинос. Тигры-альбиносы встречаются крайне редко. Какие действия должны провести селекционеры, чтобы как можно быстрее получить максимальное количество тигрят с данным признаком?
11. Мужчина со свободной мочкой уха (аутосомно-доминантный признак), чьи родственники имели такой же признак, женится на девушке с приросшими ушными раковинами. Определите генотипы и фенотипы их детей.
12. У томатов кожица плодов может быть гладкой и опушенной. Один сорт имеет плоды гладкие, другой – опушенные. При их скрещивании первое поколение имеет гладкие плоды, во втором поколении – 170 растений с опушенными и 520 с гладкими плодами. Как наследуется опушенность? Сколько будет гомозигот среди томатов с гладкой кожицей?
13. Охотник купил черную собаку и хочет быть уверен, что она не несет генов светлой окраски в скрытом виде. С какой особью по фенотипу и генотипу он должен скрестить свою собаку, чтобы ответить на этот вопрос?
14. Горох садовый (*Pisum sativum*), имеющий зеленую окраску незрелых бобов, при самоопылении дал 42 потомка с зеленой и 14 – с желтой окраской незрелых бобов. Как наследуется окраска незрелых бобов у гороха? Какая часть потомков, имеющих зеленую окраску незрелых бобов, даст чистое по этому признаку потомство?
15. Наличие пигмента в волосах у человека доминирует над альбинизмом (отсутствие пигмента). Муж и жена гетерозиготны по пигментации волос. Возможно ли рождение у них ребенка альбиноса?
16. Хозяин ирландского сеттера собрался повязать своего кобеля. Ему известно, что в родословной его собаки есть носители рецессивного гена, обуславливающего атрофию сетчатки. В гомозиготном состоянии этот ген вызывает слепоту. Прежде чем договориться о вязке, владелец собаки должен убедиться, что она не является носителем этого гена. Как это может это сделать? Какой тип скрещивания используется?
17. От спаривания двух мышей – Семена, имевшего шерсть нормальной окраски, и альбиноски Эллы родилось 6 мышат с нормальной окраской шерсти. Затем Эллу спарили с Андреем, шерсть которого была той же масти, что и у Семена. В этом случае некоторые мышата в помете оказались белыми. Определить: а) каковы вероятные генотипы Семена, Андрея, Эллы; б) какого отношения фенотипов можно ожидать в потомстве от скрещивания самца из первого помета и самки из второго, имевшей шерсть нормальной окраски; в) каких результатов следует ожидать от скрещивания самца из первого помета с самкой-альбиноской из второго помета.
18. От чего легче избавиться в стаде кур – от рецессивного признака листовидного гребня или доминантного – оперенных ног?
19. Генетик, работающий с морскими свинками, поставил два скрещивания между черной особью и альбиносом, используя различных животных. В потомстве первого скрещивания оказалось 12 черных свинок, а второго – 6 черных и 5 альбиносов. Каковы возможные генотипы родителей в каждом скрещивании?
20. У собак жесткая шерсть кодируется доминантным геном, а мягкая – рецессивным. Два жесткошерстных родителя дают жесткошерстного щенка. С особью какой шерсти его нужно скрестить, чтобы выяснить, имеет ли он в генотипе аллель мягкошерстности?

21. Скрещивание растений дурмана с белыми и пурпурными цветками в F_1 дало 20 растений с пурпурными цветками. В F_2 было получено 44 растения. 1) Сколько разных типов гамет может образовать гетерозиготное растение? 2) Сколько разных генотипов можно ожидать в F_2 ? 3) Сколько разных фенотипов можно ожидать в F_2 ? 4) Сколько растений F_2 могут быть гетерозиготными? 5) Сколько растений F_2 могут иметь белую окраску цветков?
22. У овса ранняя спелость доминирует над позднеспелостью. На опытном участке от скрещивания позднеспелого овса с гетерозиготным раннеспелым получено 69134 растения раннего созревания. Определите число позднеспелых растений.
23. У кур нормальное оперение доминирует над шелковистым. От двух нормальных по фенотипу гетерозигот получено 96 цыплят. Сколько из них ожидается нормальных, сколько шелковистых?
24. При опылении черносемянного растения пыльцой белосемянного растения получили половину растений с черными семенами и половину – с белыми. Определите генотип материнского растения?
25. При скрещивании двух дрозофил с нормальными крыльями у 88 потомков из 123 были нормальные крылья, а у 35 – укороченные. Определить: а) как наследуются гены нормальных и укороченных крыльев? б) какими были генотипы родительских особей в этом скрещивании? в) если самку с укороченными крыльями скрестить с её «отцом», то сколько мух с нормальными крыльями следует ожидать среди её 80 потомков?
26. У дрозофилы серый цвет тела В доминирует над черным в. При скрещивании двух серых мух все потомство имело серую окраску тела. Можно ли определить генотип родителей?
27. В помёте двух сплошь окрашенных кроликов родился один крольчонок с голландской пегостью. При скрещивании его с матерью родилось 4 пегих и 5 сплошь окрашенных крольчат. Как наследуется голландская пегость и каков генотип исходных родителей?
28. У фигурной тыквы белая окраска плодов доминирует над желтой. От скрещивания гомозиготного растения с белыми плодами с растением, имеющим желтые плоды, было получено 12 растений F_1 . В результате беккросса с родительской формой, имеющей доминантные признаки, было получено 240 растений F_2 . 1) Сколько типов гамет может образовать F_1 ? 2) Сколько растений F_1 могли иметь белую окраску плодов? 3) Сколько растений, полученных в возвратном скрещивании, могут быть гомозиготными?
29. Гигантский рост растений овса – рецессивный признак. Что можно сказать о генотипах родительской пары, если половина потомства имеет нормальный, а половина – гигантский рост? А если только четверть потомства отличается гигантизмом? Какие формы овса надо скрестить, чтобы все потомство получилось заведомо однородным по данному признаку?
30. В потомстве от скрещивания черного баргузинского соболя с такой же черной самкой было получено 2 черных щенка. Этот же самец при скрещивании с рыжей уральской самкой дал 3 черных соболят. Рыжая уральская самка с таким же рыжим самцом принесла в потомстве 2 рыжих щенков. Какие выводы можно сделать о характере наследования окрасок у соболя?

Дигибридное скрещивание

Дигибридное скрещивание – это скрещивание организмов, отличающихся по двум парам альтернативных признаков. Оно позволяет установить, как наследование одного признака влияет на характер наследования другого. Рассмотрим характер наследования признаков на примере двух пар альтернативных признаков у крупного рогатого скота: масти (черная АА, красная аа) и рогатости (комолость ВВ, рогатость вв).

Р: ♀ ААВВ х ♂ аавв

Гаметы: АВ ав

F₁: АаВв

Единообразие: • по фенотипу – черные комолые 100% (проявление доминантных признаков),

• по генотипу – дигетерозиготы 100%.

Образовавшаяся дигетерозигота (АаВв) будет иметь уже 4 типа гамет – АВ, Ав, аВ, ав – так как гомологичные хромосомы при мейозе расходятся к полюсам независимо и аллельные гены всегда попадают в разные гаметы (приложения Б, В).

Чтобы не ошибиться в количестве сортов гамет, образуемых организмом с исследуемым генотипом, можно воспользоваться формулой:

2^n , где n – количество пар хромосом. В нашем случае $2^2 = 4$.

Продолжим скрещивание. Скрестим полученные в первом поколении гибриды между собой:

F₁: ♀ АаВв х ♂ АаВв

Гаметы: АВ АВ
Ав Ав
аВ аВ
ав ав

Для удобства сочетания гамет составим решетку Пеннета (названа в честь английского генетика Р. Пеннета, впервые ее предложившего). Четыре типа гамет самца записываются по горизонтали, четыре типа гамет самки – по вертикали.

F₂:

♂ ♀	АВ	Ав	аВ	ав
АВ	ААВВ черные комолые	ААВв черные комолые	АаВВ черные комолые	АаВв черные комолые
Ав	ААВв черные комолые	<i>ААвв</i> черные рогатые	АаВв черные комолые	<i>Аавв</i> черные рогатые
аВ	АаВВ черные комолые	АаВв черные комолые	<u>ааВВ</u> красные комолые	<u>ааВв</u> красные комолые
ав	АаВв черные комолые	<i>Аавв</i> черные рогатые	<u>ааВв</u> красные комолые	<u>аавв</u> красные рогатые

При анализе второго поколения видно, что образуется:

– 9 разных генотипов в соотношении – $1(AABB) : 2(AaBB) : 2(AABb) : 4(AaBb) : 1(aaBB) : 2(aaBb) : 1(AAbb) : 2(Aabb) : 1(aabb)$.

– 4 разных фенотипа в соотношении – $9(A-B-) : 3(aaB-) : 3(A-bb) : 1(aabb)$. В нашем примере это – черные комолые; красные комолые; черные рогатые; красные рогатые.

На основе анализа результатов экспериментов, проведенных с использованием дигибридных скрещиваний Г. Мендель установил закономерность, известную сегодня как третий закон Менделя.

Третий закон Менделя – закон независимого комбинирования генов (признаков): *разные пары признаков, гены которых находятся в негомологичных хромосомах, наследуются независимо друг от друга, в результате чего у гибридов возникают новые комбинации признаков, отсутствующие у родительских форм.*

Примеры решения задач

У флоксов белая окраска цветков определяется аллелем А, а кремовая – аллелем а, плоский венчик – аллелем В, воронковидный – в. Растение с кремовыми плоскими цветками скрестили с растением, несущим белые воронковидные цветки. В потомстве получены половина растений с белыми плоскими цветками и половина – с кремовыми плоскими. Определите генотипы родителей.

Решение:

1. Условия задачи:

А – ген белой окраски венчика

а – ген кремовой окраски венчика

В – ген плоской формы венчика

в – ген воронковидной формы венчика

2. Предварительные генотипы родителей и F_1

P ♀ aaB_ x ♂ A_ vv

F_1 1/2 A_ B_ ; 1/2 aaB_

3. Учитывая, что гибрид одну аллель получает от отца, другую – от матери, получаем окончательные генотипы родителей и потомства:

P: ♀ aaBB x ♂ Aa vv

Гаметы: aB x Ав, ав

F_1 : 1/2 AaBv; 1/2 aaBv

белые	кремовые
плоские	плоские

Длинная шерсть персидских кошек рецессивна по отношению к короткой шерсти сиамских кошек, а черная окраска шерсти персидской породы доминантна по отношению к палевой с черными пятнами окраски кошек сиамской породы. От скрещивания персидской кошки с сиамским котом было получено 4 котенка F_1 , все они имели короткую черную шерсть. В F_2 было получено 16 котят. 1) Сколько котят в F_2 имели короткую черную шерсть? 2) Сколько типов гамет может образовать кошка F_1 ? 3) Сколько котят в F_2 могли быть похожими по данным признакам на сиамского кота? 4) Сколько котят в F_2 имели длинную шерсть с черными пятнами окраски?

Решение:

1. Условия задачи:

А – ген короткой шерсти

а – ген длинной шерсти

В – ген черной окраски

в – ген палевой с черными пятнами окраски

2. Запишем генотипы родителей и F₁.

По условию задачи известно, что скрещивали

P: ♀ aaBB x ♂ AABb

Гаметы: aB x AB

F₁: AaBb – 100% короткая черная шерсть

3. Запишем генотипы и фенотипы F₂, полученные от скрещивания гибридов F₁ между собой.

F₁: ♀ AaBb x ♂ AaBb

Гаметы: AB AB
Av Av
aB aB
ab ab

Составим решетку Пеннета.

♂ ♀	AB	Av	aB	ab
AB	AABB короткая черная шерсть	AABv короткая черная шерсть	AaBB короткая черная шерсть	AaBv короткая черная шерсть
Av	AABv короткая черная шерсть	<i>AAvv</i> короткая шерсть с черными пятнами	AaBv короткая черная шерсть	<i>Aavv</i> короткая шерсть с черными пятнами
aB	AaBB короткая черная шерсть	AaBv короткая черная шерсть	<u>aaBB</u> длинная черная шерсть	<u>aaBv</u> длинная черная шерсть
ab	AaBv короткая черная шерсть	<i>Aavv</i> короткая шерсть с черными пятнами	<u>aaBv</u> длинная черная шерсть	<u>aavv</u> длинная шерсть с черными пятнами

4. Запишем результаты анализа в F₂ по фенотипу.

В F₂: вероятность рождения котят с короткой черной шерстью составит 9/16;

вероятность рождения котят с короткой шерстью с черными пятнами – 3/16;

вероятность рождения котят с длинной черной шерстью – 3/16;

вероятность рождения котят с длинной шерстью с черными пятнами – 1/16.

Ответим на поставленные в задаче вопросы: 1) В F₂ вероятность рождения котят с короткой черной шерстью (A_B_) составит 9/16, следовательно 9/16 x 16 = 9 котят будут иметь короткую черную шерсть; 2) Кошка F₁ образует 4 типа гамет (AB, Av, aB, ab); 3) У сиамского кота короткая шерсть с черными пятнами. Вероятность рождения таких котят в F₂ составляет 3/16 (A_vv), следовательно 3/16 x 16 = 3 котенка будут похожи по данным признакам на сиамского кота; 4) Вероятность рождения котят с длинной шерстью с черными пятнами (aavv) составит 1/16, следовательно 1/16 x 16 = 1 котенок будет иметь длинную шерсть с черными пятнами.

Задачи для самостоятельного решения

1. Плоды томатов бывают красные и желтые, гладкие и пушистые. Ген красного цвета доминантный, ген пушистости рецессивный. Из собранного в крестьянском хозяйстве урожая помидоров оказалось 36 тонн гладких красных и 12 тонн красных пушистых. Сколько в собранном урожае будет тонн желтых пушистых помидоров, если исходный материал был гетерозиготным по обоим признакам?
2. У человека альбинизм и способность преимущественно владеть левой рукой – рецессивные признаки, наследующиеся независимо. Каковы генотипы родителей с нормальной пигментацией и владеющих правой рукой, если у них родился ребенок альбинос и левша?
3. У голубоглазого темноволосого отца и кареглазой светловолосой матери четверо детей, каждый из которых отличается от другого по одному из данных признаков. Каковы генотипы родителей?
4. Тыкву, имеющую желтые плоды дисковидной формы, скрестили с тыквой, у которой были белые шаровидные плоды. Все гибриды от этого скрещивания имели белую окраску и дисковидную форму плодов. Какие признаки доминируют? Каковы генотипы исходных особей и потомства?
5. У собак черный цвет шерсти доминирует над кофейным, а короткая шерсть над длинной. Обе пары генов находятся в разных хромосомах. Охотник купил черную, с короткой шерстью собаку и хочет быть уверен, что его собака чистопородна. Какого партнера по скрещиванию ему нужно подобрать, чтобы убедиться в чистоте породы?
6. У флоксов белая окраска цветов определяется геном W, кремовая – w; плоский венчик – S, воронковидный – s. Растение флокса с белыми воронковидными цветами скрещено с растениями, имеющими кремовые плоские цветы. Из 76 потомков 37 имеют белые плоские цветки, 39 – кремовые плоские. Определить генотипы исходных растений.
7. Глухота и болезнь Вильсона (нарушение обмена меди) – рецессивные признаки. От брака глухого мужчины и женщины с болезнью Вильсона родился ребенок с обеими аномалиями. Какова вероятность рождения в этой семье здорового ребенка?
8. При скрещивании между собой серых мух с нормальными крыльями 25% потомства имело черное тело. Примерно у 25% всех дочерних особей крылья были зачаточной формы. Какие признаки доминируют? Каковы генотипы родителей?
9. У фигурной тыквы белая окраска плодов W доминирует над желтой w, а дисковидная форма плодов D – над шаровидной d. Определить: а) скрещивается растение, гомозиготное по желтой окраске и дисковидной форме плодов, с растением, гомозиготным по белой окраске и шаровидной форме плодов. Какими будут окраска и форма плодов у растений первого поколения? Какими будут окраска и форма плодов в потомстве от возвратного скрещивания растений этого поколения с желтым дисковидным растением – родителем; с белым шаровидным растением; б) растение тыквы с белыми дисковидными плодами, скрещенное с растением, имеющим белые шаровидные плоды, дает 76 растений с белыми шаровидными плодами, 72 – с белыми дисковидными, 26 – желтыми дисковидными плодами, 24 – с желтыми шаровидными плодами. Определите генотипы родительских растений; в) растение тыквы с белыми дисковидными плодами, скрещенное с растением, имеющим такие же плоды, дало в потомстве: 56 растений с белыми дисковидными плодами, 18 – с белыми шаровидными плодами, 19 – с желтыми дисковидными плодами, 6 – с желтыми шаровидными плодами. Определите генотипы родительских растений.

10. Выпишите гаметы организмов со следующими генотипами: а) ВВСС б) Ввсс, в) ввСС, г) ВвСС, д) ввСс, е) ВвСс.

11. У ячменя две пары признаков – двурядный и многорядный колос, плотный и рыхлый колос – наследуются независимо. От скрещивания двурядного рыхлоколосного сорта с многорядным плотноколосным было получено 22 растения F_1 , имеющих двурядный рыхлый колос. В F_2 было получено 1440 растений. 1) Сколько типов гамет могут образовать растения F_1 ? 2) Сколько растений F_2 могут иметь многорядный рыхлый колос? 3) Сколько разных фенотипов может быть в F_2 ? 4) Сколько разных генотипов может быть в F_2 ? 5) Сколько растений F_2 могут иметь многорядный плотный колос?

12. У арбуза признаки формы плода и его окраска наследуются независимо. Гомозиготное растение с удлиненными зелеными плодами скрестили с гомозиготным растением, имеющим округлые полосатые плоды. В F_1 было получено 20 растений. Все они имели зеленые плоды округлой формы. В F_2 было получено 960 растений. 1) Сколько растений F_2 будут гомозиготными? 2) Сколько растений F_2 будут гетерозиготными? 3) Сколько разных фенотипов может быть в F_2 ? 4) Сколько растений F_2 могут иметь полосатую окраску и овальную форму плода?

13. При скрещивании рыжих тараканов (прусаков), имеющих узкое тело коричневого цвета (дикий фенотип), с особями оранжевой окраски, но с нормальной шириной тела, в первом поколении было получено 5330 особей дикого типа. Во втором поколении наблюдалось следующее расщепление: 3242 особей дикого типа, 1085 особей с узким оранжевым телом, 1137 особей с широким коричневым телом и 360 особей с широким оранжевым телом. 1) Как наследуется форма и окраска тела у тараканов? 2) Напишите генотипы родителей и гибридов F_1 ? 3) Какое расщепление по фенотипу ожидается в F_2 ? 4) Какими законами генетики пользовались при решении задачи?

14. У кролика белая окраска шерсти рецессивна по отношению к серой, а волнистая шерсть доминирует над гладкой. Серый волнистый кролик скрещивается с серой гладкой самкой. В потомстве получены белые и серые волнистые кролики. Каковы генотипы родителей и гибридов F_1 ?

15. Курица и петух – черные хохлатые. От них получены цыплята: 8 черных и 3 бурых хохлатых, 4 черных и 1 бурый без хохла. Как наследуются указанные признаки у кур? Каковы генотипы родительских особей? Какое потомство можно ожидать от скрещивания родительской особи с потомком бурого оперения и без хохла?

16. При скрещивании двух растений гороха, выросших из желтых гладких семян, получены желтые гладкие семена. Можно ли определить генотипы родителей?

17. У морских свинок всклокоченная (розеточная) шерсть В доминирует над гладкой в, а черная окраска С над белой с. Определите фенотипы животных, имеющих следующие генотипы: а) Ввсс; б) ВВсс; в) ВвСС; г) bbСс; д) ВbСс; е) bbсс.

18. У томатов два признака – высокий и низкий рост, многокамерный и двукамерный плод – наследуются независимо. Растение с высоким стеблем и двукамерным плодом было скрещено с растением, имеющим низкий стебель и многокамерный плод. В F_1 все растения имели высокий рост и двукамерный плод. В F_2 было получено 240 растений. Сколько растений в F_2 могут иметь высокий и низкий рост с двукамерными плодами?

19. У собак окраска шерсти и форма ушей наследуются независимо. Черная окраска шерсти является доминантной по отношению к коричневой, а висячая форма ушей доминирует над стоячей. При скрещивании гетерозиготных животных было получено 16 щенят. Сколько щенят коричневой окраски будут иметь висячие и стоячие уши?
20. Скрещиваются особи: ААВв х Аавв. Какую часть в потомстве составляют особи с генотипом: 1) ааВв; 2) ААВв; 3) Аавв.
21. Оперенье ног у кур (в противоположность голым) определяется доминантным геном. Гороховидный гребень доминирует над простым. Какими признаками будут обладать гибридные формы, полученные от скрещивания кур с гороховидными гребнями и оперенными ногами с голоногим петухом, имеющий простой гребень? Предполагается, что исходные особи гомозиготны по обоим генам. Какой закон Г. Менделя здесь проявляется?
22. Какое расщепление по фенотипу и генотипу ожидается при самоопылении растения, гетерозиготного по форме семян и гомозиготного по зеленой окраске их?
23. У свиней белая щетина доминирует над черной, однопалость – над двупалостью. Два бора Борис и Петр имеют однопалые ноги и белую щетину. Боров Борис при скрещивании с любыми свиноматками дает белых однопалых потомков. Боров Петр при скрещивании с черными свиньями дает половину белых и половину черных потомков: при скрещивании с двупалыми – половину однопалых, половину двупалых потомков. Объясните разницу между животными, укажите их генотипы.
24. Растения безостого красноколосого сорта при скрещивании с растениями остистого белоколосого сорта дают 1/4 безостых красноколосых, 1/4 безостых белоколосых, 1/4 остистых красноколосых и 1/4 остистых белоколосых растений. Определить генотипы родителей.
25. При самоопылении растений томатов высоких с рассеченными листьями было получено: таких же растений – 1848; высоких с картофелевидными листьями – 634; карликовых с рассеченными листьями – 596; карликовых с картофелевидными листьями – 216. Определить генотипы указанных растений.
26. Крупный рогатый скот типа африкандер обычно имеет красную масть и рога, но в Юго-Западной Африке популярна желтая масть. На одной опытной ферме был получен комолый желтый бык. В данном случае комолость была, видимо, результатом мутации. От скрещивания этого быка с красными рогатыми коровами было получено желтых комолых телят – 7, желтых рогатых – 6, красных комолых – 7, красных рогатых телят – 7. Что можно сказать на основе приведенных данных о наследовании у этой породы желтой и красной окраски, комолости?
27. У кур гороховидный гребень доминирует над геном простого гребня, а по генам черной и белой окраски наблюдается неполное доминирование: гетерозиготные по генам окраски особи имеют «голубую» окраску. Если скрестить птиц, гетерозиготных по обоим парам, то какая доля потомков будет иметь: а) простой гребень; б) «голубую» окраску; в) белую окраску, г) белую окраску и гороховидный гребень; д) «голубую» окраску и простой гребень?
28. Среди потомства можно выделить 4 фенотипических класса особей в соотношении 1 : 1 : 1 : 1. Напишите возможный генотип каждой из двух родительских форм (буквенные символы – любые).

29. У собак черная окраска шерсти доминирует над коричневой, а пегость рецессивна по отношению к сплошной окраске. Определить: а) какую окраску можно ожидать, у щенков, родившихся от коричневого отца и черно-пегой матери; б) появятся ли коричнево-пегие щенки у черных родителей?

30. У кошек ген черной окраски шерсти В доминирует над геном рыжей окраски в, а ген короткой шерсти S доминирует над геном длинной шерсти s. Какая ожидается доля особей с черной короткой шерстью от скрещивания: а) BBSs x BBss; б) BBSs × Bvss; в) BvSs x bvss.

Полигибридное скрещивание

Скрещивание особей, отличающихся друг от друга по трем и более парам альтернативных признаков, называется **полигибридным**. Если при полигибридном скрещивании гены находятся в разных парах хромосом, то наследование по каждой паре идет независимо от других признаков.

Механизм наследования двух, трех и многих пар признаков, определяемый генами, лежащими в разных негомологичных хромосомах, не отличается от механизма наследования одной пары признаков. В основе этих скрещиваний лежит одна и та же закономерность. Анализ наследования одной пары признаков в моногибридном скрещивании позволяет понять наследование двух и более пар признаков при дигибридном и полигибридном скрещиваниях. Расщепление в F₂ по фенотипу для каждой пары альтернативных признаков равно 3:1. Это исходное отношение обеспечивается точным цитологическим механизмом расхождения гомологичных хромосом в мейозе. Принцип независимого поведения пар альтернативных признаков в расщеплении по фенотипу в F₂ выражается формулой (3:1)ⁿ, где n – число пар признаков, по которым идет расщепление (приложение В).

Исходя из приведенной формулы, можно рассчитать число ожидаемых классов в расщеплении по фенотипу при любом числе пар признаков, взятых в скрещивании:

моногибридное – (3:1)¹ = 3:1, т.е. 2 класса;

дигибридное скрещивание – (3:1)² = 9:3:3:1, т.е. 4 класса;

тригибридное скрещивание – (3:1)³ = 27:9:9:9:3:3:3:1, т.е. 8 классов.

Число фенотипических классов может быть выражено формулой 2ⁿ, где n – число генов по которым различаются родительские формы.

По этой же формуле можно рассчитать число типов гамет (приложение Б). Количественные закономерности образования гамет и расщепления гибридов при разных типах скрещивания представлены в табл. 1.

Условия работы с полигибридами

При генетическом анализе дигибридного и полигибридного скрещиваний часто требуется определить типы и число гамет, образуемых сложным гибридом; число фенотипических классов в гибридном поколении; их числовые соотношения при полном и неполном доминировании и при различных взаимодействиях между аллельными генами. Необходимо помнить, что эти правила относятся к случаям, когда гены локализованы в разных, негомологичных хромосомах и свободно комбинируются.

Выше сказано, что любые комбинации и соотношения у полигибридов вытекают из параметров моногибрида.

Независимо от типа скрещивания (степени полигибридности) частота встречаемости в классе: гомозигот – 1; моногетерозигот – 2; дигетерозигот – 4; полигетерозигот – 2ⁿ.

Количественные закономерности образования гамет и расщепления гибридов при разных типах скрещивания

Тип скрещивания	Число пар признаков различающихся родителей	Число образующихся гамет	Число возможных комбинаций гамет	Число классов			Числовое отношение классов по фенотипу
				по фенотипу (полное доминирование)	по фенотипу (неполное доминирование)	по генотипу	
Моногибридное	1	$2^1 = 2$	$4^1 = 4$	$2^1 = 2$	$3^1 = 3$	$3^1 = 3$	3:1
Дигибридное	2	$2^2 = 4$	$4^2 = 16$	$2^2 = 4$	$3^2 = 9$	$3^2 = 9$	9:3:3:1
Тригибридное	3	$2^3 = 8$	$4^3 = 64$	$2^3 = 8$	$3^3 = 27$	$3^3 = 27$	27:9:9:9:3:3:3:1
Полигибридное		2^n	4^n	2^n	3^n	3^n	$(3:1)^n$

Примечание: n – степень полигибридности.

Примеры решения задач

Сколько гамет образует тетрагетерозигота aaBbCcDdEe?

Решение:

1. Сделаем расчет: число типов гамет: $16 (2^4)$
2. Определим гаметы: аллель а имеется у всех типов гамет; учитывая, что половина гамет будет нести доминантный, а половина – рецессивный аллель, пишем 8 раз подряд В, затем еще 8 раз подряд в; для пары Сс пишем четыре раза (8:2) С, затем четыре раза с, затем повторяем; для пары Dd пишем два раза (4:2) D, два раза d, затем повторяем; аллели Е и е пишем через раз. Получаем:
aBCDE; aBCDe; aBCdE; aBCde; aBcDE; aBcDe; aBcdE; aBcde;
авCDE; авCDe; авCdE; авCde; авcDE; авcDe; авcdE; авcde

Близорукий (доминантный признак) левша (рецессивный признак) вступил в брак с женщиной, нормальной по обоим признакам. Известно, что у обоих супругов были братья и сестры, страдающие фенилкетонурией (рецессивный признак), но они в этом отношении были нормальными. Первый ребенок в семье был нормальным в отношении всех трех признаков, второй был близорукий левша, третий оказался больным фенилкетонурией. Определите генотипы родителей и всех трех детей, а также вероятность того, что их четвертый ребенок будет нормальным по всем трем признакам.

Решение:

1. Определим условие:
А – ген близорукости
а – ген нормального зрения
В – ген владения правой рукой
в – ген владения левой рукой
С – ген нормального обмена фенилаланина
с – ген фенилкетонурии
2. Предварительные генотипы родителей и F₁
Р: ♀ aaB_C_ x ♂ A_vvC_
F₁: 1) aaB_C_; 2) A_vvC_; 3) aaB_cc

3. Учитывая, что появление первого ребенка с нормальным зрением, второго левши, третьего с фенилкетонурией возможно лишь при наличии в генотипе матери рецессивных аллелей *v* и *s*, а в генотипе отца рецессивных аллелей *a* и *s*. В таком случае окончательные генотипы родителей и детей будут:

P ♀ *aaVvCc* × ♂ *AaVvCc*

F₁ 1) *aaVvCc* или *aaVvCC*; 2) *AaVvCC* или *AaVvCc*; 3) *aaVvcc*

4. Первый и второй ребенок могут иметь два разных генотипа по гену фенилкетонурии. Упоминание о больных братьях и сестрах супругов фенилкетонурией и рождении у них больного по фенилкетонурии ребенка лишь подчеркивает их гетерозиготность, но этого недостаточно для решения вопроса точного генотипа у двух первых детей по этому признаку. Чтобы ответить на вопрос, какова вероятность рождения четвертого ребенка здорового по всем признакам, нужно воспользоваться математическим методом вероятного совпадения независимого друг от друга явлений. Мы знаем, что оно равно произведению вероятностей каждого из них. Исходя из генотипов родителей, вероятность рождения ребенка с нормальным зрением равна $1/2$ (♀ *aa* × ♂ *Aa*), правши $1/2$ (♀ *Vv* × ♂ *vv*), с нормальным обменом фенилаланина $3/4$ (♀ *Cc* × ♂ *Cc*); вероятность появления нормального ребенка по всем признакам составит $3/16$ ($1/2 \times 1/2 \times 3/4$), или 18,8%.

Задачи для самостоятельного решения

1. Напишите типы гамет, образующихся организмом с генотипом *AaBbCc*. Гены *A*, *B*, *C* наследуются независимо.
2. Организм имеет генотип *AaBbCCddEE*. Написать типы гамет, которые он образует, учитывая то, что каждая пара генов расположена в разных парах гомологичных хромосом.
3. У собак короткошерстность (*L*) доминирует над длинношерстностью (*l*), черная окраска (*B*) – над коричневой (*b*), отвислое ухо (*H*) – над стоячим (*h*). Определить, сколько гамет и каких типов образует: а) короткошерстный черный кобель с отвислыми ушами, гетерозиготный по цвету и длине шерсти и гомозиготный по гену височности ушей; б) гетерозиготная по всем признакам сука.
4. Короткопалость, близорукость и альбинизм кодируются рецессивными генами, расположенными в разных хромосомах. Короткопалый, близорукий мужчина с нормальной пигментацией женился на здоровой женщине-альбиноске. Их первый ребенок был короткопал, второй – близорук, третий – альбинос. Определить генотипы родителей и детей.
5. Карий цвет глаз, темные волосы и владение правой рукой – доминантные признаки, которые наследуются независимо. Отец – кареглазый темноволосый левша, мать – голубоглазая светловолосая правша. В семье имеются: сын – голубоглазый светловолосый левша, и дочь – кареглазая темноволосая правша. Определить генотипы всех членов семьи.
6. У кур оперенные ноги (*F*) доминируют над голыми (*f*), розовидный гребень (*R*) – над простым (*r*), белое оперение (*I*) – над окрашенным (*i*). Курица с оперенными ногами, розовидным гребнем и белым оперением скрещена с таким же петухом. Среди их потомства был цыпленок с голыми ногами, простым гребнем и окрашенными перьями. Определить генотипы родителей.
7. Какие типы гамет образуют растения следующих генотипов: а) *AaBBCc*; б) *aaBbCc*; в) *AaBbCc*; г) *AaBbCcDd*; д) *AABbCCDd*; е) *AaBbCcDd*; ж) *AABBCcDd*?

8. Определить фенотипы потомства при следующих скрещиваниях: а) $AaBbCc \times aabbcc$; б) $AaBbCC \times aaBBcc$; в) $AABbCc \times AaBbCC$; г) $AAbbCC \times aaBbcc$; д) $aabbCC \times AabbCc$ (А – гладкая, а – морщинистая форма семян; В – желтая, в – зеленая окраска семян; С – красная, с – белая окраска цветков).

9. А – гладкая, а – морщинистая форма семян; В – желтая, в – зеленая окраска семян; С – красная, с – белая окраска цветков. Скрестили гомозиготные растения, отличающиеся по четырем парам признаков. Определить: а) число и б) соотношение гибридных особей в F_2 по фенотипу; в) число классов гибридных особей в F_2 по генотипу.

10. А – гладкая, а – морщинистая форма семян; В – желтая, в – зеленая окраска семян; С – красная, с – белая окраска цветков. Определить расщепление по фенотипу при самоопылении морщинистого гороха, гетерозиготного по окраске семян и цветка.

11. Произведено гексагибридное скрещивание. Определить число классов по генотипу и фенотипу в F_2 .

12. А – гладкая, а – морщинистая форма семян; В – желтая, в – зеленая окраска семян; С – красная, с – белая окраска цветков. Определить расщепление по фенотипу при самоопылении белоцветкового растения гороха, гетерозиготного по окраске и форме семян.

Неполное доминирование

В случае неполного доминирования рецессивный признак подавляется не полностью и проявляется частично. При этом возникает промежуточные окраска, размеры и др.

Впервые неполное доминирование наблюдал немецкий ботаник Карл Корренс в 1902 г. в опытах с ночной красавицей (*Mirabilis jalapa*).

Примеры неполного доминирования (рис. 8):

- окраска цветка у ночной красавицы *Mirabilis jalapa* (АА красные, аа белые, Аа розовые);
- окраска плодов у земляники *Fragaria* sp. (АА красные, аа белые, Аа розовые);



Кохинуровая норка



Андалузская порода кур



Ночная красавица

Рисунок 8. Примеры живых организмов, обладающие признаками, характеризующимися неполным доминированием

- форма чашечки у земляники *Fragaria* sp. (АА нормальная, аа листовидная, Аа промежуточная);
- окраска цветка у львиного зева *Antirrhinum majus* (АА красные, аа белые, Аа розовые);
- окраска оперения у андалузских кур (АА черные, аа белые, Аа голубые);
- заболевание брахидактилия у человека (АА норма, аа множественные нарушения, гибель, Аа укорочение фаланг пальцев);

- размер глаз у человека (большие глаза АА, маленькие глаза (микрофтальмия) Аа, отсутствие глаз (анофтальмия) аа).

Основные закономерности неполного доминирования:

- 1) при моногибридном скрещивании:
 - при скрещивании гомозигот в F_1 все дочерние особи будут единообразными по фенотипу и генотипу;
 - расщепление по генотипу и фенотипу в F_2 – 1:2:1;
 - 2) при дигибридном скрещивании дигетерозигот:
 - в случае неполного доминирования у одной пары аллелей и полного доминирования у другой расщепление в F_2 по генотипу будет давать 6 фенотипических классов:

$$3\bar{A}\bar{A}B_ : 6\bar{A}aB_ : 3aaB_ : 1\bar{A}\bar{A}bb : 2\bar{A}abb : 1aabb;$$
 - в случае неполного доминирования у двух пар аллелей расщепление в F_2 по генотипу будет $(1:2:1)^2$, что соответствует числу фенотипических классов 3^2 :

$$1\bar{A}\bar{A}\bar{B}\bar{B} : 2\bar{A}\bar{A}\bar{B}b : 1\bar{A}\bar{A}bb : 2\bar{A}a\bar{B}\bar{B} : 4\bar{A}a\bar{B}b : 2\bar{A}abb : 1aa\bar{B}\bar{B} : 2aa\bar{B}b : 1aabb.$$
- Ген неполного доминирования для удобства обозначается с чертой сверху: $\bar{A}$.

Примеры решения задач

Установите генотипы растений редиса, различающихся формой корнеплода, если было получено потомство от следующих скрещиваний: 1) длинный х овальный (F_1 147 длинных и 151 овальный); 2) круглый х овальный (F_1 189 круглых и 193 овальных); 3) овальный х овальный (F_1 122 круглых, 243 овальных, 118 длинных).

Решение:

1. В первом и втором скрещиваниях расщепление по фенотипу составило 1:1; это означает, что одна из родительских особей гетерозиготна.
2. В третьем скрещивании расщепление по фенотипу 1:2:1 и появление промежуточной формы корнеплода говорит о том, что особи с овальным корнеплодом являются гетерозиготными ($\bar{A}a$).
3. Таким образом, растения с круглыми и длинными корнеплодами являются гомозиготами ($\bar{A}\bar{A}$, аа), но поскольку в условии задачи нет дополнительных сведений, устанавливаем их принадлежность произвольно.

Окраска цветков у ночной красавицы наследуется по промежуточному типу (красные, розовые, белые цветки), а высокий стебель доминирует над низким. При скрещивании дигетерозиготных растений получено 240 потомков. Сколько среди них растений с красной окраской цветка и высоким стеблем?

Решение:

1. Введем буквенное обозначение всех генов и их фенотипическое выражение:
 - $\bar{A}$ – ген красной окраски цветка
 - а – ген белой окраски цветка
 - $\bar{A}a$ – розовая окраска
 - В – ген высокого стебля у растения
 - в – ген низкого стебля у растения
2. Определяем генотипы родителей, которые по условию являются дигетерозиготами:

Р: ♀ $\bar{A}aBb$ х ♂ $\bar{A}aBb$

Гаметы: $\bar{A}B, \bar{A}b, aB, ab$ $\bar{A}B, \bar{A}b, aB, ab$

Составляем решетку Пеннета:

♂ ♀	$\bar{A}B$	$\bar{A}b$	aB	ab
$\bar{A}B$	$\bar{A}\bar{A}B\bar{B}$ кр. выс.	$\bar{A}\bar{A}Bb$ кр. выс.	$\bar{A}aB\bar{B}$ роз. выс.	$\bar{A}aBb$ роз. выс.
$\bar{A}b$	$\bar{A}\bar{A}Bb$ кр. выс.	$\bar{A}\bar{A}bb$ кр. низ.	$\bar{A}aBb$ роз. выс.	$\bar{A}abb$ роз. низ.
aB	$\bar{A}aB\bar{B}$ роз. выс.	$\bar{A}aBb$ роз. выс.	$aaB\bar{B}$ бел. выс.	$aaBb$ бел. выс.
ab	$\bar{A}aBb$ роз. выс.	$\bar{A}abb$ роз. низ.	$aaBb$ бел. выс.	$aabb$ бел. низ.

- По условию задачи определяем генотип растения с красной окраской цветка и высоким стеблем – $\bar{A}\bar{A}B\bar{B}$. В случае неполного доминирования лишь у одной пары аллелей число особей с таким генотипом будет 3/16.
- 3/16 от 240 растений будет составлять 45 растений с красными цветками и высоким стеблем.

Красная окраска земляники (A) неполно доминирует над белой, а нормальная чашечка (B) неполно доминирует над листовидной. Гены располагаются в разных хромосомах. Определите генотипы родителей, генотипы и фенотипы потомства, полученного от скрещивания растения земляники с розовыми ягодами и промежуточной формой чашечки, с растением, имеющим красные ягоды и листовидную чашечку.

Решение:

$\bar{A}$ – ген красной окраски ягод
 a – ген белой окраски ягод
 $\bar{A}a$ – розовые ягоды
 $\bar{B}$ – ген нормальной чашечки
 b – ген листовидной чашечки
 $\bar{B}b$ – промежуточная чашечка

- Определим генотипы родителей.

Р: $\bar{A}\bar{A}B\bar{b}$ x $\bar{A}\bar{A}bb$
 Гаметы: $\bar{A}\bar{B}, \bar{A}b, a\bar{B}, ab$ $\bar{A}b$

- Определим потомство F_1 : $\bar{A}\bar{A}B\bar{b}$ (красные ягоды, промежуточная чашечка), $\bar{A}\bar{A}bb$ (красные ягоды, листовидная чашечка), $\bar{A}aB\bar{b}$ (розовые ягоды, промежуточная чашечка), $\bar{A}abb$ (розовые ягоды, листовидная чашечка).

Задачи для самостоятельного решения

- При скрещивании между собой растений красноплодной земляники всегда получаются растения с красными ягодами, а белоплодной – с белыми. В результате скрещивания обоих сортов получаются розовые ягоды. Какое потомство получится при опылении красноплодной земляники пыльцой растения с розовыми ягодами?
- У крупного рогатого скота красная окраска шерсти неполно доминирует над светлой, окраска гетерозиготных особей чалая. Гены признаков аутосомные, не сцеплены. Скрещивали

красных комолых (В) коров и чалых рогатых быков, в потомстве получились красные комолые (безрогие) и чалые комолые особи. Полученные гибриды F₁ с разными фенотипами были скрещены между собой. Составьте схемы решения задачи. Определите генотипы родителей и потомков в обоих скрещиваниях, соотношение фенотипов в поколении F₂. Какой закон наследственности проявляется в данном случае?

3. У львиного зева при скрещивании растений с широкими листьями образуются широкие листья, при скрещивании растений с узкими листьями образуются узкие листья. При скрещивании растения с широкими листьями с растением с узкими листьями образуются листья с промежуточной шириной. Каковы будут фенотипы и генотипы потомства при скрещивании двух растений с листьями промежуточной ширины? Какой вид скрещивания? Какая закономерность проявляется в данном случае?

4. Кохинуровые норки (светлая окраска с черным крестом на спине) получают в результате скрещивания белых норок с темными. Скрещивание между собой белых норок дает белое потомство, а скрещивание между собой темных норок – темное. 1) Какое потомство получится от скрещивания кохинуровых норок с белыми? 2) На звероферме от скрещивания кохинуровых норок получено потомство 74 белых, 77 черных и 152 кохинуровых. Сколько особей из них и какие будут гомозиготными?

5. При скрещивании пёстрой хохлатой курицы (В) с таким же петухом было получено 8 цыплят: 4 цыплёнка пёстрых хохлатых, два белых (а) хохлатых и два чёрных хохлатых. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей и потомства.

6. У овец длинные уши не полностью доминируют над безухостью. Промежуточным признаком являются короткие уши. Чёрная шерсть доминирует над белой шерстью. Длинноухую чёрную овцу, гетерозиготную по второму признаку скрестили с короткоухим белым бараном. Определите генотипы родителей, возможные генотипы и фенотипы потомства и вероятность рождения безухих белых ягнят.

7. Серповидноклеточная анемия у аборигенов Африки обусловлена доминантным геном, который в гомозиготном состоянии вызывает гибель особей от анемии. Люди с рецессивным генотипом в местных условиях гибнут от малярии, но не страдают малокровием; гетерозиготы выживают. Какова доля жизнеспособного потомства 1) у гетерозиготных родителей; 2) у гетерозиготной матери и здорового отца?

8. От скрещивания гнедых лошадей с альбиносами рождаются жеребята с золотисто-желтой окраской туловища при почти белых гриве и хвосте (окраска «паломино»). Попытки развести в чистоте лошадей такой масти не увенчались успехом. При их скрещивании всегда возникало расщепление в отношении 1 гнедой : 2 «паломино» : 1 альбинос. Как это объяснить? Как наследуется окраска «паломино»?

9. Каков будет результат при скрещивании дигетерозиготной и гомозиготной доминантной особей при неполном доминировании обоих аллелей и независимом наследовании генов?

10. При скрещивании двух растений ночной красавицы с красными (Ā) и белыми (а) цветками получили все потомство растений с розовыми цветками. Полученные растения скрестили между собой. Какова вероятность (в %) получения растений с белыми цветками во втором поколении (F₂) у ночной красавицы?

11. Селекционеры попытались скрестить фасоль, имеющую коричневые семена с растением с белыми семенами. Коричневая окраска доминирует над белой, но среди гибридов первого

поколения все 100% семян оказались пестрыми (т.е. коричневыми с белыми точками). Как это могло произойти? Объясните это. Каковы генотипы родителей и гибридов первого поколения? Какие по окраске семена будут от скрещивания растений с пестрыми семенами между собой?

12. У андалузских кур ген черного оперения доминантный, его рецессивный аллель обуславливает белое оперение, гетерозиготы голубые. Голубая андалузская курица от спаривания с белым петухом в разные годы дала 336 цыплят. 1) сколько типов гамет может образовать голубая андалузская курица? 2) сколько цыплят, полученных от данного спаривания, могут иметь белое оперение? 3) сколько цыплят в этом потомстве могут иметь голубое оперение? 4) сколько разных генотипов могут иметь цыплята в таком спаривании? 5) сколько цыплят из 48, полученных в другом скрещивании андалузских голубых кур с черными петухами, могут иметь голубое оперение?

13. У растения львиный зев красная окраска цветков не полностью подавляет белую окраску, сочетание доминантного и рецессивного аллелей обуславливает розовую окраску цветов. Нормальная форма цветка доминирует над пелорической формой цветка. Скрестили между собой гомозиготные растения с нормальными белыми цветками и гомозиготным растением с пелорическими красными цветками. Необходимо определить генотип и фенотип потомства.

14. При скрещивании растений ночной красавицы, имеющих красную окраску цветков, с растениями, имеющими белую окраску цветков, было получено 24 растения F_1 с розовыми цветками. В F_2 было получено 480 растений. 1) сколько растений F_2 могут иметь красную окраску цветков? 2) сколько разных генотипов может образоваться в F_2 ? 3) сколько растений F_2 могут иметь белую окраску цветков? 4) сколько растений F_2 будут иметь розовые цветки?

15. Скрестили кур, имеющих черное оперение, с белыми курами (ген черного оперения не полностью доминирует над геном белого оперения). Если особи гомозиготны, то какими признаками будут обладать гибриды первого поколения? Почему? Каковы генотипы родителей и потомства? Каких по окраске кур можно иметь от скрещивания между собой гетерозиготных (пестрых) особей?

16. У дурмана пурпурная окраска стебля обусловлена геном А, а зеленая – геном а. Генотипы гетерозигот зависят от условий внешней среды. При выращивании растений на ярком свете аллель А полностью доминирует над аллелью а, и гетерозиготы (Аа), как и гомозиготы доминанты (АА), имеют пурпурный стебель. В условиях пониженного света наследование происходит по промежуточному типу: гомозиготные доминанты ($\bar{A}\bar{A}$) имеют пурпурный стебель, гетерозиготный ($\bar{A}a$) – красный стебель, а рецессивные растения (аа) – зеленый. 1) какой цвет будет иметь потомство от скрещивания растений с красным и зеленым стеблем при выращивании на ярком свете? 2) какой цвет стебля будут иметь растения, полученные от того же скрещивания, если их выращивать в условиях уменьшенного доступа света? 3) цветки гомозиготного растения с пурпурным стеблем опылены пылью растений с зеленым стеблем. Какой фенотип будет иметь F_1 при выращивании на ярком свете? При уменьшенном доступе света?

17. Кохинуровые норки (светлая окраска с черным крестом на спине) получают при скрещивании белых норок с черными. Скрещивание между собой белых норок дает белое потомство, темных норок – темное потомство. 1) какое потомство получится при скрещивании кохинуровых норок с белыми? 2) на звероферме от скрещивания кохинуровых норок получено потомство: 74 белых, 77 черных и 152 кохинуровых. Определите генотипы потомков.

18. В стаде от скрещивания серо-голубых шортгорнов получено 270 телят. Из них 136 голов имели окраску родителей. Определите генотипы и фенотипы остальной части потомства, если

известно, что серо-голубые шортгорны получаются от скрещивания белых и черных животных.

19. Известно, что растение имеет генотип $AaBbCc$. 1) сколько разных фенотипов может быть получено у этого растения при самоопылении, если предположить полное доминирование по всем парам аллелей? 2) сколько разных типов гамет образует это растение? 3) сколько разных генотипов будет в потомстве этого растения при самоопылении? 4) сколько разных фенотипов может быть получено в потомстве данного растения при самоопылении, если предположить неполное доминирование по всем парам аллелей?

Множественные аллели и группы крови

Различные состояния одного гена (аллели) возникают путем мутации. Первоначально считали, что ген A может мутировать в ген a или наоборот ($A \rightarrow a$, $a \rightarrow A$). В дальнейшем изучение показало, что мутация гена A может давать целый ряд состояний одного гена, образуя серию аллелей гена (A , A^1 , A^2 , $A^3 \dots$, или A , a^1 , a^2 , $a^3 \dots$). Такие разнообразные стойкие состояния одного и того же гена получили название **множественных аллелей**. У хорошо изученных объектов открыты десятки, а иногда и сотни аллелей одного гена. Важно понимать, что у диплоидного организма могут сочетаться друг с другом только два аллеля из всей серии. Это приводит к огромной комбинативной изменчивости. Число различных генотипов в серии аллелей данного гена вычисляют по формуле:

$1/2 (n + 1)$, где n – число разных аллелей в серии.

У кроликов в одной из хромосом имеется локус C , представленный серией множественных аллелей, определяющих окраску шерсти: $C > c^{ch} > c^h > c^a$. Аллель дикого типа C доминантен по отношению к трем остальным: кролики, гомозиготные по C или гетерозиготные по C и любому другому аллелю (Cc^{ch} и др.) имеют дикий фенотип, или серую (агути) окраску. У особей $c^{ch}c^{ch}$ – шиншилловая окраска меха, несколько светлее дикого типа. У гетерозигот $c^{ch}c^h$, $c^{ch}c^a$ мех светло-серый (промежуточный между шиншилловым и белым), гомозиготы $c^h c^h$ и гетерозиготы $c^h c^a$ – это кролики гималайского фенотипа (черные уши, лапы и кончик хвоста); особи $c^a c^a$ – альбиносы.

Другим примером множественного аллелизма у животных является цвет глаз у дрозофилы, который контролируется геном W , у которого описано более 15 аллельных состояний, каждый из которых отличается фенотипически и доминирует над другими: W (темно-красный, дикий тип) $> w^{ch}$ (вишневый) $> w^e$ (эозиновый) $> w^a$ (абрикосовый) $\dots > w$ (белый).

У кошек также имеется серия множественных аллелей, определяющих окраску шерсти. Они располагаются в таком порядке: C (дикий тип, т.е. серые кошки) $> c^s$ (сиамские) $> c$ (белые кошки с красными глазами).

У человека по типу множественных аллелей наследуются группы крови в системе АВО. Этот ген обозначается буквой I (от слова «изогемагглютиноген»), а три его аллеля – буквами A , B , O . Состояние этого гена принято записывать: I^A , I^B , I^O (приложение Г). Аллели гена I^A , I^B доминантны в одинаковой степени, а аллель I^O рецессивен по отношению к ним обоим. Это можно изобразить следующим образом: $I^A = I^B > I^O$. Однако, находясь в генотипе совместно (I^A и I^B), они оба проявляются, т.е. имеет место кодоминирование. **Кодоминирование** – тип взаимодействия аллелей одного гена, при котором они оба проявляют свое действие.

Различные сочетания состояний гена обуславливает четыре группы крови: I (O) с генотипом $I^O I^O$; II (A) – $I^A I^A$ или $I^A I^O$, III (B) – $I^B I^B$ или $I^B I^O$, IV (AB) – $I^A I^B$ (табл. 2, приложение Д). Люди I (O) группы крови – **универсальные доноры**, так как их кровь можно переливать любому человеку. Люди с группой крови IV (AB) могут получать кровь любой группы и поэтому их называют **универсальными реципиентами**, но кровь этой группы можно переливать только лицам с группой крови IV (AB).

Группы крови человека по системе ABO

Группа крови	Антигены в эритроцитах	Возможные генотипы
I (O)	O	$J^O J^O$
II (A)	A	$J^A J^A, J^A J^O$
III (B)	B	$J^B J^B, J^B J^O$
IV (AB)	AB	$J^A J^B$

Важно понимать, что при кодоминировании имеется сходство с неполным доминированием, но в отличие от него признаки проявляются одновременно, а не смешиваются.

По принципу кодоминирования наследуется окраска цветков у камелии японской *Camellia japonica*. Так, например, при скрещивании красноцветковой и белоцветковой форм получаются цветки с красными и белыми участками, т.е. пестрые.

Кодоминирование имеет место и при наследовании групп крови по системе MN (табл. 3), открытой в 1927 г. Эта система определяется двумя аллелями J^M и J^N ; они кодоминантны, люди с генотипом $J^M J^M$ имеют в фенотипе фактор M, с генотипом $J^N J^N$ – фактор N, с генотипом $J^M J^N$ имеют оба фактора. В сыворотке крови людей по этой системе крови нет антител и соответствующих антигенов, поэтому при переливании крови эта система не учитывается. У европеоидов генотип $J^M J^M$ встречается в 36%, $J^N J^N$ в 16%, $J^M J^N$ в 48%. Группы крови человека в разных семьях представлены в таблице.

Таблица 3

Группы крови человека по системе MN

Родители	Дети		
	M	MN	N
1. MM x MM	все	-	-
2. NN x NN	-	-	все
3. MM x NN	-	все	-
4. MN x NN	-	1/2	1/2
5. MN x MM	1/2	1/2	-
6. MN x MN	1/4	1/2	1/4

Среди групп крови широко известны группы крови системы Rh (резус). Эта система получила такое название потому, что в 1940 г. у макака рода резус из эритроцитов был получен антиген, получивший название резус-фактора (Rh – фактор). В дальнейшем он был обнаружен и у человека. Синтез антигена контролируется геном R, для которого описано более десяти аллельных состояний: R^1 , R^2 , R^0 , R^Z , r, r^1 , r^Y и др. Если имеется два или один доминантный аллель, антигены образуются, и человек является резус-положительным – Rh^+ (таких людей гораздо больше), если имеются два рецессивных аллеля (rh rh), антиген не образуется, человек является резус-отрицательным – Rh^- . Если отец – резус-положительный, а мать – резус-отрицательна, то плод матери будет резус-положительным (с вероятностью 100% если отец гомозигота и 50% если гетерозигота). Такой плод может обусловить появление в крови матери антител, которые, попав в его кровь, разрушают эритроциты, что может вызвать смерть (ее вероятность резко возрастает при второй беременности).

По типу множественных аллелей наследуется и окраска шерсти собак, а у растений – система самонесовместимости при опылении.

Самонесовместимость при опылении растений

Система самонесовместимости при опылении проявляется в неспособности пыльцы прорасти на рыльцах растений с определенными генотипами (приложение Ж).

Реакция несовместимости проявляется в том, что в ткани пестика не развивается пыльцевая трубка, если генотипы пыльцевого зерна и пестика совпадают.

Различают два типа самонесовместимости – *гаметофитная* и *спорофитная*. *Гаметофитная* самонесовместимость известна у более 10 тысяч покрытосеменных растений и определяется генотипом пыльцевого зерна. У большинства растений этот тип несовместимости контролируется геном S, функционирующим в популяции в виде серии множественных аллелей (до нескольких сот у некоторых растений). Механизм несовместимости заключается в следующем: клетки диплоидного пестика всегда имеют два аллеля; в каждом пыльцевом зерне представлен лишь один из этих аллелей.

Если в генотипе пестика есть тот же аллель, что и в генотипе пыльцевого зерна, то развитие пыльцевой трубки подавляется (рис. 9).

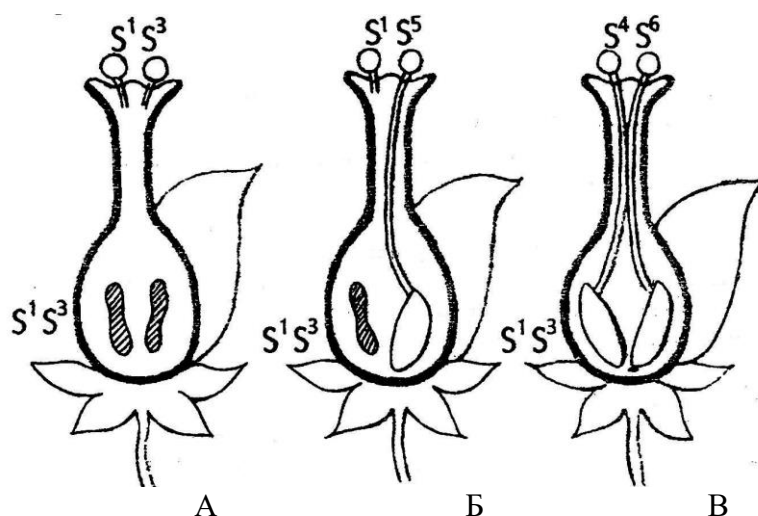


Рисунок 9. Варианты гаметофитной самонесовместимости

А – полная несовместимость, Б – частичная несовместимость, В – полная совместимость.

При *спорофитной* самонесовместимости реакция пыльцевого зерна (контролируемой серией множественных аллелей гена) определяется генотипом ткани мужского спорофита, в котором развивается пыльца. Такой тип несовместимости представлен двумя формами: *гетероморфная* и *гомоморфная*. *Гетероморфная* несовместимость наблюдается у видов, имеющих разное строение цветков (гетеростилия) – два типа цветков, различающихся по длине столбика и тычинок. Опыление и прорастание пыльцы у таких растений (с разными по длине столбиками и тычинками) называют **легитимным опылением**. Переопыление растений с одинаковым типом цветка называется **иллегитимным**. Гетероморфность цветка контролируется одним геном, причем короткостолбчатость – доминантный признак.

Гомоморфная спорофитная самонесовместимость – явление, широко распространенное в природе, и зависит от взаимодействия разных по состоянию аллелей пыльцы и пестика. В отсутствие доминирования пыльцы, сформированная на гетерозиготном растении $S^1 S^2$, не прорастает ни на рыльцах гомозиготных растений $S^1 S^1$ и $S^2 S^2$, ни на гетерозиготном растении $S^1 S^2$.

При доминировании пыльца с гетерозиготных растений не прорастает на рыльцах растений, содержащих в генотипе доминантный аллель, если доминирование проявляется в пыльце и пестика. Пыльца с гомозиготных рецессивных растений прорастает на рыльце доминантных гомозиготных и гетерозиготных растений. Например, пыльца с растений $S^1 S^1$

прорастает на рыльцах S^2S^2 и S^1S^2 , если S^2 доминирует над S^1 . При таких взаимоотношениях аллелей несовместимости возможно появление в популяции гомозигот по аллелям самонесовместимости.

Примеры решения задач

От скрещивания серой кошки с сиамским котом родились 2 котенка: сиамский и белый. Какие еще фенотипы могли бы проявиться в этом скрещивании?

Решение:

1. У кошек окраска шерсти определяется серией множественных аллелей: C – дикий тип (серые кошки), c^s – сиамские кошки (кремовые, черные уши и черные лапки), c – белые кошки с красными глазами. Каждый из аллелей полно доминирует над следующим: $C > c^s > c$;
2. По условию задачи кошка была серой, а кот сиамский, т.е. кошка в генотипе имеет аллель C , кот – c^s . У них родился белый котенок, он имеет генотип только cc . Отсюда следует, что генотип кошки Cc , а кота – c^sc ;
3. Составляем схему скрещивания.

C – ген серой окраски
 c^s – ген сиамской окраски
 c – ген белой окраски

P:	♀ Cc	х	♂ c^sc
Гаметy:	C, c		c^s, c
F ₁ :	$Cc^s; Cc;$	$c^sc;$	cc
	2/4 серые	1/4 сиамские	1/4 (белые)

4. Таким образом, помимо сиамских и белых котят, возможно рождение серых, причем соотношение серых, сиамских и белых котят составляет 2 : 1 : 1.

В одной семье у кареглазых родителей имеется 4 детей. Двое голубоглазых имеют 1 и 4 группы крови, двое кареглазых — 2 и 3 группы крови. Определите вероятность рождения следующего ребенка кареглазым с 1 группой крови? Карий цвет глаз доминирует над голубым и обусловлен аутосомным геном.

Решение:

1. Группы крови по системе АВО определяются тремя аллелями и обозначаются таким образом: $J^A = J^B > J^0$. Первые два аллеля являются кодоминантными, а третий рецессивным по отношению к первым двум.
 Ген карих глаз обозначим, например, буквой C , а ген голубых глаз – соответственно c (если задача на группы крови системы АВО, то знаки A, B, O лучше для обозначения других пар генов не употреблять).
2. Так как у кареглазых родителей были голубоглазые дети, значит родители по гену цвета глаз являются гетерозиготами. Поскольку у всех детей были разные группы крови – от 1 до 4, то отсюда следует, что один из родителей имел 3 а другой 2 группы крови в гетерозиготном состоянии. Таким образом, генотипы родителей были CcJ^AJ^0 и CcJ^BJ^0 .
 Записываем схему решения задачи:

P:	♀ CcJ^AJ^0	х	♂ CcJ^BJ^0
Гаметy:	CJ^A		CJ^B
	cJ^0		cJ^0
	CJ^A		cJ^B
	cJ^0		cJ^0

Для удобства сочетания гамет составим решетку Пеннета.

F₁:

$\begin{smallmatrix} \text{♂} \\ \text{♀} \end{smallmatrix}$	CJ ^B	CJ ^o	cJ ^B	cJ ^o
CJ ^A	CCJ ^A J ^B	CCJ ^A J ⁰	CcJ ^A J ^B	CcJ ^A J ⁰
CJ ^o	CCJ ^B J ⁰	CCJ⁰J⁰	CcJ ^B J ⁰	CcJ⁰J⁰
cJ ^A	CcJ ^A J ^B	CcJ ^A J ⁰	cc ^A J ^B	ccJ ^A J ⁰
cJ ^o	CcJ ^B J ⁰	CcJ⁰J⁰	ccJ ^B J ⁰	ccJ ⁰ J ⁰

3. Вероятность рождения ребенка кареглазым с 1 группой крови составляет 3/16 от всего потомства, т.е. 18,75%.

У матери с группой крови М по системе MN и Rh⁻ по системе резус, родился Rh⁺ ребенок с группой крови MN. Какой генотип может быть у отца?

Решение:

1. Известно, что гены, определяющие группы крови по системе MN, кодоминантны ($J^M = J^N$), а Rh⁺ кровь определяется геном D. Поэтому генотип матери будет ddJ^MJ^M, а генотип ребенка может быть только DdJ^MJ^N. Генотип отца этого ребенка точно установить нельзя. Он может быть DDJ^MJ^N, DDJ^NJ^N или DdJ^NJ^N или DdJ^MJ^N. Можно быть уверенным только в том, что в генотипе отца гены D и J^N, так как эти гены ребенок может получить только от него.
2. Запишем схему решения задачи:

P: ♀ ddJ^MJ^M × ♂ DDJ^NJ^N (DdJ^NJ^N, DDJ^MJ^N, DdJ^MJ^N)

3. Таким образом, генотип отца может быть: DDJ^MJ^N, DDJ^NJ^N или DdJ^NJ^N, или DdJ^MJ^N.

Определить фенотипы и генотипы кроликов, полученных при скрещивании светло-серой самки, родитель которой был альбиносом, и светло-серого самца, родитель которого имел гималайскую окраску меха.

Решение:

1. Генотипы самки c^{ch}c^a, самца c^{ch}c^h.
2. Генотипы и фенотипы F₁:
1/4 шиншилла (c^{ch}c^{ch}) : 2/4 светло-серые (по 1/4 c^{ch}c^h и c^{ch}c^a) : 1/4 гималайские (c^hc^a).

У одного японского сорта бобов при самоопылении растения, выращенного из светлого пятнистого семени, получено: 1/4 – темных пятнистых семян, 1/2 – светлых пятнистых и 1/4 – семян без пятен. Какое потомство получится от скрещивания растения с темными пятнистыми семенами с растением, имеющим семена без пятен?

Решение:

1. Наличие расщепления в потомстве говорит о том, что исходное растение было гетерозиготным, а наличие у потомков трех классов фенотипов позволяет предположить, что в данном случае имеет место кодоминирование. Расщепление по фенотипу в соотношении 1:2:1 подтверждает это предположение;
2. При скрещивании растения с темными пятнистыми семенами с растением без пятен (обе формы гомозиготны) все потомство будет единообразным и будет иметь светлые пятнистые семена.

У большинства цветковых растений перекрестное опыление контролируется генетическим механизмом несовместимости по серии аллельных генов если S^1, S^2, S^3, S^4 и т.д. Сколько совместимых и несовместимых комбинаций будет при свободном переопылении потомств, полученных при скрещивании $S^1S^3 \times S^2S^4$?

Решение:

1. Результаты скрещивания $S^1S^3 \times S^2S^4$ показывают вероятность образования четырех различных генотипов:
 $S^1S^3 \times S^2S^4 \Rightarrow S^1S^2 : S^1S^4 : S^2S^3 : S^3S^4$.
2. Определим возможное количество образований генотипов при свободном переопылении потомств.

♂	S^1S^2	S^1S^4	S^2S^3	S^3S^4
♀				
S^1S^2	—	—	+	+
S^1S^4	—	—	+	+
S^2S^3	+	+	—	+
S^3S^4	+	+	+	—

3. Результаты свободного переопыления потомств показывают, что возможно образование только 10 генотипов, остальные сочетания несовместимы.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить окраску шерсти кроликов, имеющих генотипы: а) Cc^h ; б) c^hc^a ; в) Cc^a ; г) c^hc^h ; д) CC .
2. У матери группа крови А по системе АВО, а у ребенка – В. Группа крови отца неизвестна. Чью кровь – отца или матери – можно перелить ребенку? Можно ли перелить кровь отца, не определяя её группу?
3. При скрещивании двух гималайских кроликов получено потомство, 3/4 которого составляют гималайские особи и 1/4 альбиносы. Определить генотипы родителей.
4. В локусе white дрозофилы известна серия множественных аллелей, определяющая окраску глаз от темно-красного до белого, причем каждый предыдущий аллель по мере убывания интенсивности окраски полно доминирует над последующим. Приводим часть этой серии аллелей: W (красный цвет гла) $> w^{bl}$ (кровавый) $> w^{co}$ (коралловый) $> w^a$ (абрикосовый) $> w^{bf}$ (рыжий или цвета буйловой кожи) $> w$ (белый). Сколько различных генотипов и фенотипов возможно при участии этих аллелей?
5. В одной семье у кареглазых родителей имеется четверо детей. Двое голубоглазых имеют 1-ю и 4-ю группы крови, двое кареглазых – 2-ю и 3-ю. Определите вероятность рождения следующего ребенка кареглазым и с 1-й группой крови. Карий цвет глаз доминирует над голубым и обусловлен аутосомным геном.
6. Скрестили гетерозиготных серого и гималайского кроликов. Определить генотип и фенотип полученного потомства.
7. У крупного рогатого скота трансферины (белки, переносящие железо в организме) определяются аутосомным геном, имеющим три кодоминантные аллеля T^A, T^D, T^E .

Определите возможные типы трансфертинов у телят от спаривания животных, имеющих следующие типы вышеуказанных белков: 1) А х АД; 2) АД х АЕ; 3) АЕ х Д.

8. При скрещивании двух серых кроликов получено потомство, $\frac{3}{4}$ которого составляют серые, и $\frac{1}{4}$ гималайские особи. Определить генотипы родителей.

9. Какие мужчины – 1-й, 2-й, 3-й или 4-й групп крови имеют больше всего шансов на оправдание, если допустить, что частота генов все четырех групп одинакова и споры об отцовстве возникают одинаково часто для всех четырех групп?

10. Какие генотипы по S-аллелям образуются в следующих скрещиваниях при гаметофитной несовместимости: 1) $S^1S^1 \times S^1S^3$; 2) $S^1S^2 \times S^1S^2$; 3) $S^1S^2 \times S^3S^4$;

11. Гетерозиготного гималайского кролика скрестили с альбиносной самкой. Определить генотип и фенотип потомства.

12. Какую долю всех возможных генотипов составляют гомозиготы, когда число различных аллелей данного гена равно трем? пяти? семи?

13. У отца с группой крови М и О имеется ребенок с группой крови MN и В. Какой генотип может быть у матери?

14. Определить возможность скрещивания во всех комбинациях при свободном переопылении потомств, полученных в скрещиваниях: 1) $S^1S^2 \times S^1S^3$; 2) $S^1S^3 \times S^2S^3$, если $S^1 > S^3$, $S^2 > S^3$ и в столбике, и в пыльце, но в пыльце $S^1 > S^2$, в столбике $S^1 < S^2$.

15. У RH^+ родителей родился RH^- ребенок. Возможно ли это? Какое будет состояние здоровья по RH-фактору у матери и ребенка?

16. Ребенок имеет группу крови АВ по системе АВО, на него претендует две пары родителей. Группа крови отца в одной из них – А, матери – В; в другой: у матери – АВ, у отца – О. Претензия какой пары родителей исключается?

17. У большинства цветковых растений перекрестное опыление контролируется генетическим механизмом несовместимости по серии аллельных генов, несущих S^1 , S^2 , S^3 , S^4 и т.д. При гаметофитной несовместимости, когда нет межаллельного взаимодействия, пыльца не прорастает, если пыльцевые зерна и ткани пестика несут одинаковые аллели несовместимости. Произойдет ли оплодотворение при прорастании пыльцевых трубок, несущих аллели S^3S^4 , в ткани пестика с теми же аллелями?

18. Женщина с группой крови 2 по системе АВО и N по системе MN подает в суд на мужчину, как виновника рождения ребенка с группами крови 1 и N. Мужчина имеет 3 и М группы крови. Может ли он быть отцом ребенка?

19. Определить результаты реципрокных скрещиваний генотипов S^1S^2 ; S^1S^3 и S^2S^3 , если $S^1 > S^3$, $S^2 > S^3$ и в столбике, и в пыльце, но в пыльце $S^1 > S^2$, в столбике $S^1 < S^2$.

20. У родителей со 2-й группой крови родился сын, с 1-й группой крови и гемофилик. Оба родителя не страдали этой болезнью. Определите вероятность рождения второго ребенка здоровым и возможные группы крови. Гемофилия наследуется как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой признак.

Наследование признаков, сцепленных с полом

Пол – совокупность генетически и гормонально детерминированных признаков, определяющих репродуктивные особенности организма при половом размножении и отличающие его от представителей другого пола определенного биологического вида. Возникновение полов вызвало появление мейоза и полового размножения у живых организмов.

Существуют различные механизмы определения пола.

Ряд механизмов связан с воздействием окружающей среды:

- температурозависимое определение пола (рептилии);
- смена пола: у некоторых улиток взрослая особь первоначально имеет мужской пол, но затем становится самкой;
- у тропических рыб-клоунов (*Amphiprioninae*) доминирующая в группе особь становится самкой, а другие являются самцами;
- у морского червя *Bonellia viridis* личинка становится самцом в случае попадания на хоботок или тело самки, если же она попадет на дно, то становится самкой.

В большинстве случаев пол предопределен генетически, что связано с наличием в генотипе особи половых хромосом. При этом организм может быть **гомогаметным** по половым хромосомам (XX), либо **гетерогаметным** (XY, XO). В случае XO гены X-хромосомы представлены в единственном числе, и поэтому находятся в гемизиготном состоянии.

Различают четыре типа хромосомного определения пола:

- Protenor (♀ XX, ♂ XO – клопы, кузнечики);
- Lygaeus (♀ XX, ♂ XY – млекопитающие, человек, многие насекомые (дрозофила), растения);
- тип Шелкопряда (♀ XY, ♂ XX – птицы, бабочки, рептилии, земноводные, некоторые растения);
- тип Моли (♀ XO, ♂ XX).

Гены, расположенные в половых хромосомах, делят на:

- **голандрические** – они находятся в Y-хромосоме (отвечают за развитие голандрических признаков – ихтиоз, перепонки между пальцами, срастание пальцев на ногах, развитие волос на краю ушной раковины (гипертрихоз) и др.). От отца они передаются только сыновьям;

- **гологенические** – находятся в X-хромосоме.

- примеры признаков, связанных с рецессивными генами, сцепленными с X-хромосомой: гемофилия, дальтонизм, атрофия зрительного нерва, отсутствие потовых желез, миопатия Дюшена (у человека); черные яйца (тутовый шелкопряд); желтая окраска тела, белый цвет глаз (дрозофила, w); рыжая окраска тела (домашняя кошка);
- примеры признаков, связанных с доминантными генами, сцепленными с X-хромосомой: темная эмаль зубов, рахит, не поддающийся лечению витамином D (у человека); серая окраска тела, красный цвет глаз (дрозофила, W).

Признаки, расположенные в X-хромосомах, передаются от матери к дочерям и сыновьям, от отца – только дочерям.

- гены, имеющиеся и в X, и в Y хромосомах, называют частично сцепленными с полом.

Обязательным условием для успешного решения задач – определение какой пол у данного вида животного или растения является гомогаметным, а какой гетерогаметным.

Примеры решения задач

У некоторых пород кур гены, определяющие белый цвет (B) и полосатую окраску оперения (b), сцеплены с X-хромосомой. Гетерогаметный пол у кур – женский, и X-хромосома в этом случае обозначается Z, а Y-хромосома – W. У юннатов имеются

Решение:

1. Признак окраски шерсти у кошек сцеплен с полом (локализован в X-хромосоме), так как фенотипы котят ♀ и ♂ пола по окраске разные.
2. Доминирование генов неполное. У котов не встречается черепаховой окраски, потому что она является результатом аллельного взаимодействия ($X^A X^a$), а у котов имеется только один аллель из пары: или X^A , или X^a (одна X-хромосома, гемизиготное состояние гена).
3. Трехцветность черепаховой окраски можно объяснить инактивацией разных X-хромосом в разных частях кожи. В одних участках кожи активна хромосома с геном X^A (вторая присутствует в виде тельца Бара), в других – с геном X^a , в третьих – обе X-хромосомы активны, получается промежуточная окраска ($X^A X^a$).
4. Обозначим символами гены и запишем генотипы родителей:
 X^A – ген черной окраски
 X^a – ген рыжей окраски
 $X^A X^a$ – черепаховая окраска

Генотипы родителей и потомков:

№ п/п	Родители		Потомство	
	♀	♂	♀	♂
1	$X^a X^a$	$X^A Y$	$X^A X^a$	$X^a Y$
2	$X^A X^A$	$X^a Y$	$X^A X^a$	$X^A Y$
3	$X^A X^a$	$X^a Y$	$X^A X^a, X^a X^a$	$X^A Y, X^a Y$
4	$X^A X^a$	$X^A Y$	$X^A X^a, X^a X^a$	$X^A Y, X^a Y$

Задачи для самостоятельного решения

1. В лаборатории скрещивали красноглазых самцов и самок дрозофилы. В потомстве оказалось 69 красноглазых и белоглазых самцов и 71 красноглазая самка. Каковы генотипы родителей и потомства, если известно, что красный цвет глаз доминирует над белым и гены цвета глаз находятся в X-хромосоме?
2. У дрозофилы гены, определяющие окраску глаз, локализованы в X-хромосоме. Доминантный аллель W детерминирует красную окраску глаз, его рецессивный аллель w – белую. Скрещивали гомозиготную красноглазую самку с белоглазым самцом. В F₁ получили 48 потомков. От скрещивания их между собой получено 192 мухи F₂. Определите: 1) сколько женских особей было в F₁? 2) сколько самцов в F₁ имело красную окраску глаз? 3) сколько самок F₁ было красноглазых? 4) сколько самцов в F₂ было белоглазых?
3. У дрозофилы рецессивный ген I локализован в X-хромосоме, он обладает летальным действием (вызывает гибель особи до вылупления из яйца). От самки, гетерозиготной по гену I, было получено 45 потомков. Установить соотношение самок и самцов в потомстве.
4. У кур полосатость окраски обусловлена сцепленным с полом доминантным геном В, а отсутствие его – с рецессивным аллелем в. Скрещенные две полосатые птицы в потомстве дали двух цыплят: полосатого петуха и неполосатую курочку. Указать генотипы родительских особей, не забывая о том, что у кур гетерогаметен женский пол.
5. У человека аниридия (тип слепоты) зависит от доминантного аутосомного гена, а оптическая атрофия (другой тип слепоты) – от рецессивного, сцепленного с полом гена. Мужчина с оптической атрофией женился на женщине с аниридией. Какие могут быть у них дети?

6. У человека доминантный ген Р определяет стойкий рахит, который наследуется сцеплено с полом. Какова вероятность рождения больных детей, если мать гетерозиготна по гену рахита?
7. Мужчина, страдающий дальтонизмом (цветовая слепота) и глухой, женился на женщине с нормальным зрением и хорошо слышащей. У них родился сын глухой и дальтоник и дочь-дальтоник с хорошим слухом. Определите вероятность рождения в этой семье дочери с обеими аномалиями, если известно, что дальтонизм и глухота передаются как рецессивные признаки, но дальтонизм сцеплен X-хромосомой, а глухота – аутосомный признак.
8. Мужчина, страдающий гемофилией и дальтонизмом, женился на здоровой женщине, не являющейся носителем генов этих заболеваний. Какова вероятность, что у ребенка от брака его дочери со здоровым мужчиной: 1) будет одно из этих заболеваний; 2) будут обе аномалии? (Кроссинговер между генами дальтонизма и гемофилии отсутствует).
9. Гемофилия – рецессивный признак, сцепленный с X-хромосомой. Альбинизм – рецессивный аутосомный признак. У супружеской пары, нормальной по этим признакам, родился ребенок с обеими аномалиями. Какова вероятность рождения в этой семье здорового ребенка?
10. Одна из форм агаммоглобулинемии наследуется как аутосомно-рецессивный признак, другая – как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой. Определите вероятность рождения больных детей в семье, где мать гетерозиготна по обоим парам генов, а отец здоров и имеет лишь доминантные гены анализируемых аллелей.
11. У дрозофилы доминантный ген красной окраски глаз (W) и рецессивный ген белой окраски (w) находятся в X-хромосомах. Белоглазая самка скрещивалась с красноглазым самцом. Какой цвет глаз будет у самцов и самок в первом и втором поколении?
12. При скрещивании серых самок аквариумных рыбок «гуппи» с пестро окрашенным самцом в первом поколении получены серые самки и пестрые самцы в соотношении 1:1. Такое же соотношение наблюдалось во всех последующих поколениях. Как объяснить полученные результаты?
13. У дрозофилы имеются две пары альтернативных признаков: серая и желтая окраска тела, нормальная и зачаточная форма крыльев. Скрещивается гомозиготная самка с желтым телом и нормальными крыльями с гомозиготным самцом, имеющим серое тело и зачаточные крылья. Все самки получают серыми с нормальными крыльями, а все самцы – желтыми с зачаточными крыльями. Какой признак сцеплен с полом, а какой нет? Какие признаки доминируют?
14. От скрещивания двух зеленых канареек получен птенец – коричневая самка (коричневая окраска зависит от рецессивного, связанного с полом гена). Определить вероятность появления коричневого самца от такого скрещивания.
15. Гетерозиготную красноглазую самку скрестили с красноглазым самцом. Какой цвет глаз будет у самцов и самок в F₁?
16. В стаде бронзовых индеек появился нежелательный ген альбинизма. При скрещивании нормальных по окраске индюков и самок было получено 229 индюшат, в том числе 58 альбиносов, все они оказались самками. Как наследуется ген альбинизма? Каковы генотипы родителей и их потомства?

17. Самку дрозофилы с ярко-красными глазами скрестили с самцом с рубиновыми глазами. Все потомство оказалось красноглазым. Во втором поколении получили расщепление: красноглазых – 32 самки и 16 самцов; с рубиновыми глазами – 15 самцов; с ярко-красными глазами – 9 самок и 5 самцов; с оранжевыми глазами – 6 самцов. Как наследуется окраска глаз?

18. Бесшерстность (гипотрихоз) может определяться двумя рецессивными генами, один из которых расположен в X-хромосоме, другой – в аутосоме. Скрестили две группы коров с одним быком. В первой группе среди 9 телят два бычка оказались бесшерстными. Во второй группе из 16 телят 4 телочки оказались бесшерстными. Определите генотипы животных, участвовавших в скрещивании, объясните результаты в полученном потомстве.

19. У кур полосатая окраска оперения определяется доминантным аллелем сцепленного с полом гена А, рецессивный аллель обуславливает черную окраску оперения (а); темная окраска кожи зависит от аутосомного гена С, белая – с; розовидный гребень – Р, листовидный – р. Аутосомный ген В в гетерозиготном состоянии (Вb) обуславливает коротконогость, а в гомозиготном (ВВ) имеет летальный эффект, рецессивная гомозигота (bb) имеет нормальную длину ног. 1) петух черный темнокожий с листовидным гребнем. Какие могут быть цыплята, если скрестить его с полосатой белокожей курицей, имеющей листовидный гребень? 2) коротконогого гетерозиготного по генам окраски оперения и кожи петуха скрестили с коротконогой черной курицей, имеющей белую кожу. Какое ожидается потомство? 3) от неизвестных курицы и петуха получены цыплята: 1/6 – с нормальными ногами черные курочки; 1/6 – с нормальными ногами полосатые петушки; 1/3 – коротконогие черные курочки и 1/3 – коротконогие полосатые петушки. Определить генотипы и фенотипы родителей.

20. У кошек признаки черной и рыжей окраски сцеплены с полом и располагаются в X-хромосоме. Черная окраска – доминантный признак, рыжий – рецессивный, а гетерозиготы имеют черепаховую окраску. Скрестили рыжую кошку с черным котом. Определите (в %) возможное число рыжих кошек в потомстве от общего числа самок.

21. У кур встречается сцепленный с полом летальный ген (а), вызывающий гибель эмбрионов, гетерозиготы по этому гену жизнеспособны. Скрестили нормальную курицу с гетерозиготным по этому гену петухом (у птиц гетерогаметный пол – женский). Составьте схему решения задачи, определите генотипы родителей, пол и генотип возможного потомства и вероятность гибели эмбрионов.

22. У канареек ген, определяющий окраску оперения, наследуется сцепленно с полом и находится в X-хромосоме (В – зеленая окраска, b – коричневая). Ген, определяющий наличие или отсутствие хохолка, находится в аутосоме (С – наличие хохолка). Скрестили зеленую самку без хохолка с коричневым самцом без хохолка (у птиц гетерогаметный пол – женский). Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей, а также генотипы, пол и фенотипы потомства.

23. У кур золотистая окраска перьев доминирует над серебристой, а оперенные ноги над голыми. При этом первый признак сцеплен с полом, а второй – нет. Какими будут потомки от скрещивания серебристой голоногой курицы с гетерозиготным золотистым петухом с оперенными ногами. Какова вероятность рождения у них серебристого петушка с голыми ногами?

24. У тутового шелкопряда рецессивный ген l является рецессивным, локализован в X-хромосоме и летален. Скрестили самку и гетерозиготного по гену l самца. Какое расщепление по полу будет в потомстве? Гетерогаметный пол – женский.

25. У дремы (*Melandrium* sp.), женские растения которой гомогаметны, а мужские гетерогаметны, в X-хромосоме находится ген, определяющий окраску листьев (А – зеленые листья, аа – желтовато-зеленые), а в Y-хромосоме – ген, определяющий пятнистость листьев (В – листья пятнистые, b – листья без пятен). Скрестили женское гетерозиготное растение (определите фенотип) с мужским растением, имеющим желтовато-зеленые пятнистые листья. Какое будет расщепление по фенотипу, генотипу и полу среди 1600 гибридов, полученных от этого скрещивания?

26. Во Франции Дрие обнаружил в стаде трех бесшерстных телят. Все они были мужского пола. Родителями двух из них были нормальная корова и нормальный бык. Кроме этих двух бычков, позднее родилась нормальная телочка. Третий бесшерстный бычок родился от возвратного скрещивания нормальной телки с ее нормальным отцом, от которого с другими неродственными коровами было получено 180 нормальных телят. Можно ли на основании этих данных определить, как наследуется бесшерстность? Напишите возможные генотипы всех особей, упомянутых в задаче. Как можно проверить ваше предположение?

27. Пыльцой мужского растения дремы (*Melandrium* sp.) с зелеными листьями опылили цветки женских растений с желто-зелеными листьями. В F₁ женские растения имели зеленые листья, а мужские – желто-зеленые. В обратном скрещивании все гибриды растения были зелеными. Как это можно объяснить? Какого потомства вы ожидаете в I и II скрещиваниях? Определите генотипы исходных растений.

28. У двудомного цветкового растения иногда имеются узкие листья – рецессивный признак. Ген, его определяющий, локализован в X-хромосоме. Гомозиготное широколистное растение оплодотворили пыльцой узколистного. Выращенное из полученных семян женское растение скрестили с широколистным мужским. Какими будут мужские и женские потомки от этого скрещивания? Система определения пола у этого растения такая же, как у человека.

29. Известно, что недостаток образования некоторых половых гормонов у мужчин связан с наличием в Y-хромосоме рецессивного аллеля, ответственного за синтез антигена Н-Y. Как будет наследоваться гормональная недостаточность в ряду поколений; от кого юноша унаследовал этот дефект – от отца или от матери?

30. Петух гетерозиготен по сцепленной с полом рецессивной летали. Каково соотношение в потомстве от скрещивания такого петуха с нормальными курами?

Сцепленное наследование и кроссинговер

Геном любого живого человека состоит из определенного, специфичного для биологического вида, числа хромосом (большая часть бактерий имеет лишь одну хромосому, а у небольшого папоротника *Ceratopteris* их насчитывается 1440).

Каждая хромосома включает большое число генов (например, две хромосомы плодовой мухи дрозофилы содержат около 7000 генов, а 46 хромосом человека – не менее 25 тысяч).

В 1906 г. английские генетики У. Бэтсон и Р. Пеннет открыли сцепленное наследование – гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются вместе, сцепленно. Причину этого раскрыли работы американского генетика Т. Моргана и его сотрудники К. Бриджес и А. Стертевант.

Число групп сцепления у каждого вида равно гаплоидному набору хромосом (у дрозофилы – 4, у гороха – 7, у кукурузы – 10, а у человека – 23). Если гены одной группы сцепления наследуются только вместе, то мы говорим о полном сцеплении генов.

Например, дигетерозигота AaBb с локализацией обеих пар аллелей в одной хромосоме

AB

ab при полном сцеплении генов А и В будет давать два типа гамет – AB и ab.

Однако гены одной группы сцеплены не абсолютно. Во время мейоза при конъюгации гомологичные хромосомы могут перекрещиваться (кроссинговер) и обмениваться идентичными участками, т.е. гены одной хромосомы переходят в другую хромосому, гомологичную ей. Тогда сцепленные гены расходятся в разные гаметы и наблюдается, таким образом, неполное сцепление генов. Дигетерозигота $\underline{AB}$ в этом случае будет давать 4 типа

ab

гамет: два типа со сцепленными генами (некроссоверные) $\underline{AB}$ и $\underline{ab}$ и два типа с хромосомами, которые обменялись гомологичными участками (кроссоверные) – $\underline{Ab}$ и $\underline{aB}$ (рис. 10). **Некроссоверных гамет всегда больше.**

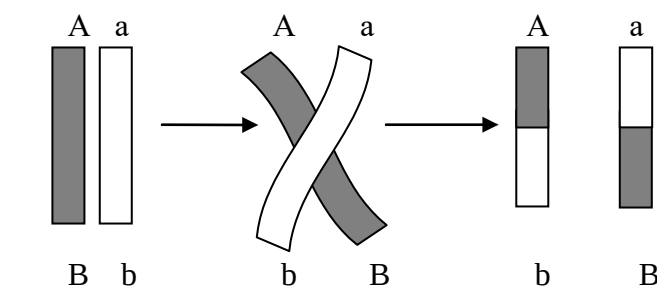
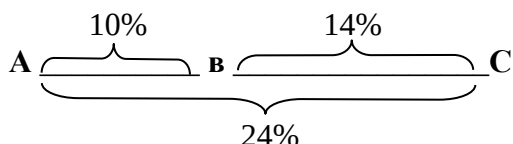


Рисунок 10. Обмен участками гомологичных хромосом

Оказалось, что чем дальше друг от друга располагаются гены в хромосоме, тем слабее силы притяжения, тем чаще происходит кроссинговер. И, наоборот, чем ближе расположены гены в хромосомах, тем больше силы сцепления и реже происходит обмен идентичными участками при кроссинговере. 1% перекреста между генами условились принимать за единицу расстояния между ними, которую в честь Т. Моргана называли **морганидой**. Зная процент кроссинговера между генами, мы можем говорить о расстоянии между ними. Допустим, что гены В и С относятся к одной группе сцепления и кроссинговер между ними 10%, значит, расстояние между ними 10 морганид. Наоборот, зная расстояние между генами, находящимися в одной группе сцепления, можно определить процентное соотношение гамет у конкретного организма.

Частота кроссинговера есть отношение числа кроссоверных особей к общему числу особей и характеризует расстояние между генами. Это позволяет создавать генетические карты хромосом (они представляют собой отрезок прямой, на котором обозначается порядок расположения генов с указанием расстояния между ними в морганидах или в %).

Генетические карты строятся на основе гибридологического анализа. Например, гены А, в, С лежат в одной хромосоме. Получено расстояние между генами в результате анализирующего скрещивания: S (Ав) – 10 морганид, S (вС) – 14 морганид, S (АС) – 24 морганиды. Тогда гены в хромосоме располагаются таким образом:



По результатам своих исследований Т. Морган в 1911 г. сформулировал хромосомную теорию наследственности. Её положения:

1. Гены расположены в хромосомах в линейном порядке в определенных локусах. Аллельные гены занимают одинаковые локусы гомологичных хромосом.

2. Гены, расположенные в одной хромосоме, образуют группу сцепления и наследуются преимущественно вместе. Число групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом.
3. Между гомологичными хромосомами возможен обмен участками – кроссинговер, который нарушает сцепление генов.
4. Процент кроссинговера пропорционален расстоянию между генами. 1% кроссинговера представляет собой 1 морганиду.

Примеры решения задач

Сколько типов гамет и в каком процентном соотношении дает дигетерозигота $\frac{Cd}{cD}$, если известно, что расстояние между генами C и d равно 20 морганид?

Решение:

1. Данная дигетерозигота будет давать 4 сорта гамет: 2 сорта кроссоверных ($\frac{CD}{cd}$), которые вместе составляют 20%, а порознь по 10% и 2 сорта некроссоверных гамет ($\frac{Cd}{cD}$), составляющих вместе 80% (100% - 20%), а порознь по 40%.

У томатов высокий рост стебля доминирует над карликовым, а шаровидная форма плодов – над грушевидной. Гены формы плода и высоты стебля сцеплены и находятся на расстоянии 20 морганид друг от друга. Скрестили гетерозиготное по обоим признакам растение с карликовым, имеющим грушевидные плоды. Какое потомство и в каком соотношении можно ожидать от такого скрещивания?

Решение:

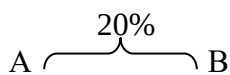
1. Определяем признаки:

A – ген высокого роста

a – ген низкого роста

B – ген округлой формы плодов

b – ген грушевидной формы плодов

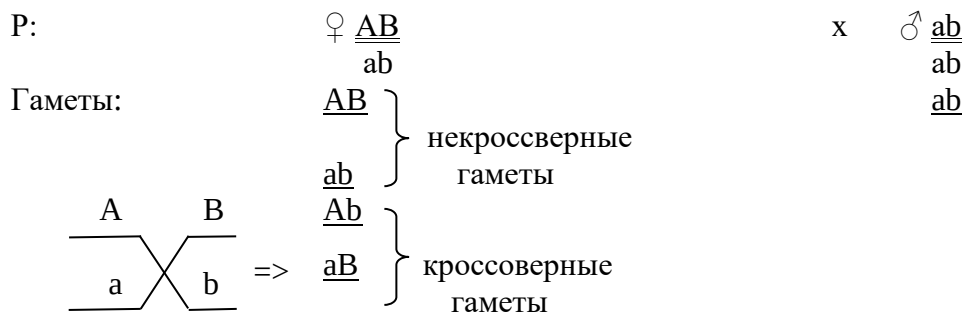


2. Определяем генотипы родителей. Для удобства используется следующее написание генотипов:

♀ $\frac{AB}{ab}$, ♂ $\frac{ab}{ab}$

3. Составляем схему скрещивания:

Поскольку расстояние между генами 20 морганид, следовательно, частота кроссинговера 20%, и кроссоверных гамет у женского растения также будет 20% – это гаметы $\frac{Ab}{aB}$ (10%) и $\frac{aB}{Ab}$ (10%); на гаметы, образовавшиеся без кроссинговера, приходится 80% – это гаметы $\frac{AB}{ab}$ (40%) и $\frac{ab}{AB}$ (40%). Второе растение образует гаметы одного сорта – $\frac{ab}{ab}$.



Потомство F₁

$\frac{AB}{ab}$ – (высокие с округлыми плодами, 40%);

$\frac{ab}{ab}$ – (низкие с грушевидными плодами, 40%);

$\frac{Ab}{ab}$ – (высокие с грушевидными плодами, 10%);

$\frac{aB}{ab}$ – (низкие с округлыми плодами, 10%).

Соотношение 4:4:1:1

У дрозофилы во второй хромосоме в локусе 48,5 находится рецессивный ген, детерминирующий черный цвет тела, а в локусе 54,5 – рецессивный ген, обуславливающий пурпурный цвет глаз. Сколько типов гамет и в каком процентном соотношении образуется у дигетерозиготной самки с серым цветом тела и коричневым цветом глаз?

Решение:

1. Расстояние между генами равно 6 морганид (54,5 - 48,5).
2. На кроссверные гаметы будет приходиться 6% (по 3% на каждый тип), на некросверные гаметы будет приходиться 94% (по 47% на каждый тип); всего 4 типа гамет.

У мух дрозофил темная окраска тела (а) рецессивна по отношению к серой (А), короткие крылья (в) – к длинным (В). В лаборатории скрещивались серые длиннокрылые самки с самцами, имеющими черное тело и короткие крылья. В потомстве оказалось серых длиннокрылых особей 1394, черных короткокрылых – 1418, черных длиннокрылых – 287, серых короткокрылых – 288. Определите тип наследования признаков и расстояние между генами, определяющими эти признаки.

1. Определяем признаки:

- А – ген серой окраски тела
- а – ген темной окраски тела
- В – ген длинных крыльев
- в – ген коротких крыльев

2. По условию задачи самка дигетерозиготна, а самец рецессивный. Следовательно, генотип самки $AaBb$, самца $aabb$.
3. Полученное соотношение в потомстве F_1 говорит о том, что самка дает 4 типа гамет и что гены, отвечающие за окраску тела и длину крыльев, находятся в одной хромосоме (поскольку особей, похожих на родителей, больше, а непохожих меньше). Если бы было независимое наследование, то самка давала бы 4 типа гамет в равном процентном соотношении, а в потомстве наблюдалось бы расщепление в соотношении 1:1:1:1 (по 25%).

4. Составляем схему скрещивания:

P: $\text{♀ } \frac{AB}{ab} \times \text{♂ } \frac{ab}{ab}$

Гаметы: $\frac{AB}{ab}, \frac{Ab}{ab}, \frac{aB}{ab}, \frac{ab}{ab}$
 некрос- кроссо-
 соверные верные

$F_1 \frac{AB}{ab}$ – (серые длиннокрылые, 1394 особи);

$\frac{ab}{ab}$ – (черные короткокрылые, 1418 особей);

$\frac{Ab}{ab}$ – (серые короткокрылые, 288 особей);

$\frac{aB}{ab}$ – (черные длиннокрылые, 287 особей).

5. Из всего потомства (3387 особей) рекомбинантных форм 575 (287 + 288), что составляет 17% ($S(AB) = 575/3387 \times 100\%$);
6. Таким образом, гены, отвечающие за окраску тела и длину крыльев, находятся в одной хромосоме на расстоянии 17 морганид.

Задачи для самостоятельного решения

1. Гены А и В находятся в одной группе сцепления, а ген С – в другой. Расстояние между генами А и В равно 20% кроссинговера. Какие типы гамет и в каком процентном соотношении будет давать тригетерозигота?

2. Сколько типов гамет и в каком процентном соотношении дает дигетерозигота $\frac{Ab}{aB}$, если известно, что расстояние между А и В равно 20 морганидам?

3. Растение кукурузы, гетерозиготное по трем парам генов, скрестили с растением, гомозиготным по рецессивным аллелям этих генов. В полученном потомстве наблюдалось следующее соотношение фенотипов:

$A-B-C-$ 113, $aabbC-$ 64, $aabbcc$ 105,
 $A-B-cc$ 70, $A-bbC-$ 17, $aaB-cc$ 21.

Определить порядок расположения этих генов в хромосоме и расстояние между ними в единицах перекреста.

4. Генотип самки $\frac{St}{sT}$, самца – $\frac{st}{st}$.

При их скрещивании в первом поколении получено 8% рекомбинантов. Определите генотипы потомства и процент мух каждого фенотипического класса.

5. Гены В, С и D находятся в одной хромосоме. Между генами В и С кроссинговер происходит с частотой 6,5%, между генами С и D – с частотой 3,7%. Определить взаиморасположение генов В, С, D в хромосоме, если расстояние между генами В и D составляет 10,2 морганиды.

6. При скрещивании дигетерозиготного высокого растения томата с округлыми плодами и карликового (а) растения с грушевидными плодами (б) в потомстве получено расщепление по фенотипу: 12 растений высоких с округлыми плодами; 39 – высоких с грушевидными плодами; 40 – карликовых с округлыми плодами; 14 – карликовых с грушевидными плодами. Составьте схему скрещивания, определите генотипы потомства. Объясните формирование четырёх фенотипических групп.

7. Если женщина, отец которой страдал гемофилией и дальтонизмом, вышла замуж за здорового мужчину, то какова вероятность рождения ребенка с этими аномалиями? Предположим, что отец был болен гемофилией и дальтонизмом. Какова вероятность в этом случае? (гемофилия и дальтонизм наследуются как рецессивные сцепленные с X-хромосомой признаки. Гены, отвечающие за гемофилию и дальтонизм, находятся в одной группе сцепления).

8. Гибридная мышь, полученная от скрещивания чистой линии мышей с извитой шерстью (а) нормальной длины (В) с чистой линией, имеющей прямую длинную шерсть, была скрещена с самцом, который имел извитую длинную шерсть. В потомстве 40% мышей имели прямую длинную шерсть, 40% – извитую шерсть нормальной длины, 10% – прямую нормальной длины и 10% – извитую длинную шерсть. Определите генотипы родителей и F₁. Составьте схемы скрещиваний. Какой закон проявляется в этом скрещивании?

9. Гладкая поверхность семян кукурузы доминирует над морщинистой, окрашенные семена доминируют над неокрашенными. Оба признака сцеплены. При скрещивании кукурузы с гладкими окрашенными семенами с растением, имеющим морщинистые неокрашенные семена, получено такое потомство: окрашенных гладких – 4152 особи, окрашенных морщинистых – 149, неокрашенных гладких – 152, неокрашенных морщинистых – 4163. Определите расстояние между генами.

10. При скрещивании самки дрозофилы, дигетерозиготной по генам А и В, с рецессивным самцом получено следующее расщепление по фенотипу: 47 : 3 : 3 : 47. Определите расстояние между генами А и В.

11. У кроликов один из типов пятнистости доминирует над сплошной окраской, а нормальная шерсть – над ангорской. Скрестили пятнистого нормальношерстного кролика со сплошь окрашенной ангорской крольчихой. В потомстве от скрещивания гибридов первого поколения со сплошь окрашенными ангорскими кроликами получили: 26 пятнистых ангорских крольчат, 144 сплошь окрашенных ангорских, 157 пятнистых с нормальной шерстью и 23 сплошь окрашенных с нормальной шерстью. Как наследуется пятнистость и длина шерсти по отношению друг к другу? Каково расстояние между генами?

12. В одном из скрещиваний было получено следующее соотношение гибридов F₂.

Самцы

- 1) 35 дикого типа
- 2) 71 с киноварными глазами
- 3) 65 с рассеченными крыльями
- 4) 30 с киноварными глазами и рассеченными крыльями

Самки

- 1) 100 дикого типа
- 2) 103 с рассеченными крыльями.

- а) являются ли данные гены сцепленными с полом или аутосомными;
- б) какое расстояние в единицах перекреста разделяет эти гены;
- в) указать генотипы родителей.

13. У кроликов ген рецессивной белой пятнистости «голландского» типа (а) сцеплен с рецессивным геном, обуславливающим длинный волосной покров ангорского кролика (b). Величина кроссинговера между ними равна 14%. Гомозиготного по короткошерстности пятнистого кролика скрестили с ангорским кроликом дикого типа (не пятнистым). Определите генотипы родителей и гибридов первого поколения. Какие генотипы образуются, если провести возвратное скрещивание гибридов первого поколения с «голландскими» кроликами? Каково их соотношение среди 86 потомков, полученных в этом скрещивании?

14. Дигетерозиготная по генам А и В самка дрозофилы скрещена с рецессивным самцом. В потомстве получено 360 особей в соотношении: 43,5% AaBb, 6,5% Aabb, 6,5% aaBb, 43,5% aabb. Определите сочетание генов в гомологичных хромосомах самки, расстояние между генами А и В. По сколько особей содержал каждый фенотипический класс?

15. У кукурузы гены, обуславливающие скрученные листья (а) и карликовость (b) расположены на расстоянии 18 морганид. Скрестили растения с генотипами AAbb и aaBB. Определите генотипы и фенотипы гибридов первого поколения и ожидаемое соотношение фенотипических классов у гибридов второго поколения.

16. Гены С, Д, Е локализованы в одной хромосоме и располагаются в указанном порядке, причем процент перекреста между генами С и Д составляет 8, а между генами Д и Е – 25. Каково расстояние между генами С и Е? Какая часть организмов может оказаться с генотипом ССДДее и ссддЕЕ?

17. Скрестили серебристых (S) полосатых (B) кур с золотистыми (ss) не полосатыми (bb). Признаки сцеплены с полом. Петухов F₁ использовали в возвратном скрещивании с золотистыми не полосатыми курами. В потомстве получили: серебристо-полосатых 282, золотистых полосатых 206, серебристых не полосатых 226, золотистых не полосатых 266. Как наследуются эти признаки? Если гены сцеплены, определите расстояние между ними. Если гены наследуются независимо, определите сколько особей можно ожидать в каждом из этих четырех классах.

18. У душистого горошка аллель аквамариновой листвы (В) доминирует над зеленой, свободные семена (А) – над прикрепленными, розовые цветки (С) – над белыми и позднее цветение (К) – над ранним. Гены В и А сцеплены (около 11% перекреста), также сцеплены гены С и К (около 12,5% перекреста). Гены А и В локализованы в одной хромосоме, С и К – в другой. Скрестили гомозиготное растение с аквамариновой листвой, свободными семенами, розовыми цветками и ранним цветением с гомозиготным растением, имеющим зеленые листья, прикрепленные семена, белые цветки и позднее цветение. Сколько разных фенотипов и в каком соотношении будет от возвратного скрещивания F₁ с растением, гомозиготным по всем рецессивным признакам?

19. Скрестили дигетерозиготных самцов мух-дрозофил с серым телом и нормальными крыльями (признаки доминантные) с самками с черным телом и укороченными крыльями (рецессивные признаки). Определите генотипы родителей, а также возможные генотипы и фенотипы потомства F_1 , если доминантные и рецессивные гены данных признаков попарно сцеплены, а кроссинговер у самцов при образовании половых клеток не происходит. Определите генотипы и фенотипы потомства.

20. При скрещивании растения кукурузы с гладкими окрашенными семенами с растением, имеющим морщинистые неокрашенные семена (гены сцеплены), потомство оказалось с гладкими окрашенными семенами. При дальнейшем анализирующем скрещивании гибрида из F_1 получены растения с семенами: 7115 с гладкими окрашенными, 7327 с морщинистыми неокрашенными, 218 с морщинистыми окрашенными, 289 с гладкими неокрашенными. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей, потомства F_1 , F_2 .

21. Какие типы гамет дают дигетерозиготы $\frac{Cd}{cD}$ и тригетерозиготы $\frac{OpS}{oPs}$ при отсутствии и наличии кроссинговера?

22. С целью получения мышей шиншилла с розовыми глазами проведено скрещивание породы мышей с розовыми глазами с мышами из породы шиншилла. Признаки розовых глаз и окраски шиншилла рецессивные. В потомстве анализирующего скрещивания особи первого поколения было получено мышей шиншилла – 43,5%, мышей с розовыми глазами – 41,5%, мышей с розовыми глазами и мехом цвета шиншилла – 8% и мышей дикого типа – 7%. Определить, как наследуются гены розового цвета глаз и окраски шиншилла, независимо или сцеплено. Ввести генетические обозначения и написать гаметы, которые образует особь первого поколения. Определить фенотип и генотип этой особи.

23. Рецессивные гены a и b у человека обуславливают наличие диабета и склонности к гипертонической болезни. По родословным сделано предположение, что эти гены тесно сцеплены. Какие типы гамет даст женщина с генотипом $\frac{AB}{ab}$ и мужчина с генотипом $\frac{aB}{aB}$?

24. При спаривании дигибридного хряка ($AaBb$) с рецессивными свиноматками получено следующее расщепление в F_1 по фенотипу: поросят с двумя доминантными признаками ($A_B_$) – 30, с двумя рецессивными признаками ($aabb$) – 32, поросят фенотипа A_bb – 5 и фенотипа $aaB_$ – 3. Как наследуются эти признаки и какое расстояние между контролирующими их генами?

25. При скрещивании самки дрозофилы, гетерозиготной по генам B и V , с рецессивным самцом получено 17% рекомбинантов, а при скрещивании самки дрозофилы, гетерозиготной по генам D и L , с рецессивным самцом получено 30% рекомбинантов. Определите, между какими генами расстояние больше и насколько?

26. Розовидный гребень (R) доминантен по отношению к простому гребню (r), а ген «коротконожки» (Cr) доминантен по отношению к нормальной длине ног (cr). Особи, гомозиготные по гену коротконожности, погибают в эмбриональном периоде (Cr – полуплетальный ген). При анализирующем скрещивании дигетерозиготного петуха $\frac{RCr}{rcr}$ с дигомозиготными курами $\frac{rcr}{rcr}$

получено расщепление по фенотипу 2 : 1 : 33 : 40. Гены розовидного гребня и коротконожности локализованы в одной хромосоме гомологичной пары, а гены листовидного гребня и нормальных ног – в другой хромосоме той же пары. Какие фенотипы и генотипы у потомства?

Определить расстояние между сцепленными генами и процент кроссоверных и некроссоверных гамет.

27. У дрозофилы гены *vg* (зачаточные крылья) и *b* (черное тело) локализованы во второй хромосоме. Проведено следующее скрещивание:

P: ♀ черная длиннокрылая х ♂ серый с зачаточными крыльями

F₁: ♀ из первого поколения х ♂ черный с зачаточными крыльями

F₂: 282 серых длиннокрылых, 1294 серых с зачаточными крыльями, 1418 черных длиннокрылых, 241 черных с зачаточными крыльями. Определите силу сцепления между генами *vg* и *b*.

28. Дигетерозиготная по генам *C* и *E* самка скрещена с рецессивным самцом. В потомстве получено расщепление в соотношении 36,5% *Csee*, 36,5% *ccEe*, 13,5% *CcEe*, 13,5% *csee*. Установите, каково сочетание генов в гомологичных хромосомах и чему равняется расстояние между генами *C* и *E*?

29. В результате анализирующего скрещивания получено следующее соотношение фенотипов:

X–Y–Z–	30	xxY–zz	15
X–Y – zz	172	xxyyZ–	172
X–yyZ–	17	xxyyzz	28
X–yyzz	2	xxY–Z–	3

Укажите порядок расположения генов и расстояние между ними в единицах перекреста.

30. У растения томата, гены, определяющие нормальную высоту, сцеплены с генами, которые обеспечивают развитие круглых плодов, а гены карликовости с генами, отвечающими за формирование овальных плодов. Скрестили растение нормальной высоты с округлыми плодами с карликовым растением, имеющим овальные плоды. В первом поколении все растения имели нормальную высоту и округлую форму плодов. Полученные гибриды скрестили. Определите генотипы родителей, гибридов первого поколения, генотипы и соотношение фенотипов гибридов второго поколения. Кроссинговер не происходит.

Взаимодействие неаллельных генов

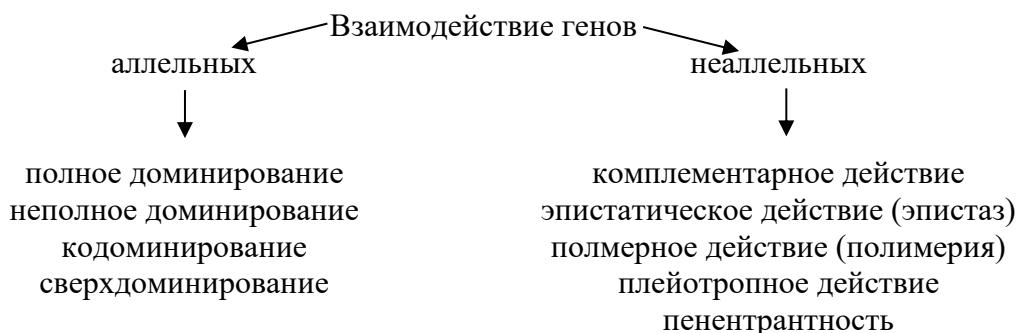
Гены в организме находятся в сложных взаимодействиях между собой и развитие организма – следствие этих сложных взаимодействий между аллельными и неаллельными генами.

Аллельные гены находятся в идентичных локусах гомологичных хромосом. О взаимодействии аллельных генов уже велась речь.

Более сложные взаимодействия складываются между неаллельными парами генов.

Неаллельные гены – это гены, расположенные в различных участках хромосом и кодирующие неодинаковые белки.

Разнообразие взаимодействий генов можно выразить в виде следующей схемы:



Комплементарное взаимодействие генов

Комплементарное взаимодействие – взаимодействие между неаллельными генами, когда для формирования признака необходимо наличие нескольких неаллельных генов (обычно доминантных). Такие гены называются комплементарными, т.е. *взаимодополняющими* (лат. complementum – средство пополнения). При этом каждый ген в отдельности не формирует признак (приложение 3).

Например, у дрозофил дикого типа глаза тёмно-красные; однако существуют мухи и с другим цветом глаз – ярко-красным, коричневым или белым. Для проявления окраски дикого типа необходим синтез бурого и красного пигментов. Бурый пигмент синтезируется из аминокислоты триптофана в несколько этапов, за каждый из которых отвечает определённый фермент. Если хотя бы один из ферментов будет нефункционален, то бурый пигмент не будет синтезироваться, и муха будет иметь ярко-красные глаза. Если же синтез и красного пигмента нарушен, то муха будет иметь белые глаза. Таким образом, для нормального цвета глаз у мух необходимо, чтобы каждый из генов, кодирующих ферменты биосинтеза красного и коричневого пигментов, был представлен хотя бы одной доминантной аллелью.

При комплементарности возможны разные случаи взаимодействия генов, обнаруживающие либо типичную, либо нетипичную для свободного комбинирования картину расщепления по фенотипу. Рассмотрим взаимодействие двух пар генов (обозначим их, к примеру, А и В).

Расщепление признаков в F₂ при комплементарном взаимодействии генов может быть следующих типов (жирным шрифтом выделен класс, признак которого обусловлен комплементарным взаимодействием генов):

А) 9 : 7

Ни один из доминантных аллелей гена самостоятельно не влияет на проявление признака (А + вв – признак отсутствует, В + аа – признак отсутствует) и лишь при взаимодействии (А + В) выявляется признак.

Примеры: появление у душистого горошка потомства, имеющего цветки пурпурной окраски, при скрещивании родительских форм с белыми цветками (пурпурная окраска обусловлена взаимодействием двух доминантных генов А и В; при отсутствии в генотипе любого из этих генов красный пигмент не образуется и цветки имеют белую окраску); появление у шелкопряда потомства, имеющего темно-коричневых личинок, при скрещивании неокрашенных родительских форм; образование цианида у растений клевера при скрещивании форм, не образующих это соединение.

Б) 9 : 6 : 1

Доминантные аллели обоих генов (А и В) самостоятельны, но фенотипически проявляются одинаково, соединившись в одном генотипе, создают новый фенотип.

Примеры: появление у тыквы потомства с дисковидной формой плода при скрещивании родителей, имеющих сферическую форму плода (дисковидная форма определяется двумя доминантными генами А и В; при отсутствии в генотипе одного из них образуются сферические плоды. Сочетание рецессивных аллелей дает удлиненную форму плода).

В) 9 : 3 : 4

Лишь один доминантный аллель гена (А или В) самостоятельно влияет на проявление нового признака (А + В – новый признак), В + аа – фенотип аавв, А + вв – проявление А).

Примеры: появление у мышей окраски шерсти типа агути при скрещивании родительских форм черного и белого цвета; появление у льна потомства с голубой окраской цветков при скрещивании родительских форм с неокрашенными цветками; появление у лука потомства с окрашенными в красный цвет луковичками при скрещивании родительских форм, имеющих луковички белого и желтого цвета.

Г) 9 : 3 : 3 : 1

Доминантные аллели обоих генов, проявляясь самостоятельно, детерминируют разные признаки, а при совместном нахождении в генотипе выявляют новый фенотип.

Примеры: появление у дрозофилы потомства с темно-красными глазами (дикого типа) при скрещивании родительских форм с ярко-красными (scarlet) и коричневыми (brown) глазами; появление у кур потомства, имеющего ореховидный гребень при скрещивании родительских форм с розовидным и гороховидным гребнями.

Во всех рассмотренных случаях рецессивные аллели влияние на признак не оказывают.

Примеры решения задач

Цветки душистого горошка могут быть белыми и пурпурными. Окраска цветков проявляется только при наличии двух доминантных генов А и В. Если в генотипе имеется только один доминантный ген, то окраска не развивается. Какое потомство F₁ и F₂ получится от скрещивания растений с генотипами AAbb и aaBB?

Решение

1. Запишем условные обозначения аллелей:

А – ген, отвечающий за выработку вещества, из которого образуется пигмент

а – ген отсутствия выработки исходного материала

В – ген, отвечающий за выработку фермента, переводящий исходный материал в пигмент

в – ген отсутствия фермента

2. Генотип исходных растений известен по условию задачи. Они гомозиготны и будут давать один тип гамет, которые можно объединить единственным образом. Потомство F₁ будет единообразно по генотипу (AaBb) и фенотипу (пурпурные цветки):

Схема скрещивания

P: ♀ AAbb × ♂ aaBB

белый белый

G Ab aB

F₁ : AaBb пурпурные 100%

3. Дигетерозиготные потомки F₁ будут давать по 4 типа гамет, которые могут комбинироваться 16 способами. Построив решетку Пеннета, можно убедиться, что организмов, одновременно имеющих доминантные гены А и В (пурпурные цветы), будет примерно 9/16. То есть, в F₂ будет наблюдаться расщепление по цвету в пропорции 9:7.

Схема скрещивания

F₁ : ♀ AaBb × ♂ AaBb

пурпурные пурпурные

G AB, Ab, aB, ab AB, Ab, aB, ab

F₂: A_B_ – пурпурные 9/16

A_bb – белые цветки 3/16
aaB_ – белые цветки 3/16
aabb – белые цветки 1/16 } 7/16

Таким образом, в F₁ все потомство будет единообразным и будет иметь пурпурную окраску цветков. В F₂ : 9/16 растений будут иметь пурпурные, а 7/16 – белые цветки.

У мышей серая окраска обусловлена двумя доминантными генами. Один ген – В – кодирует образование темного пигмента, другой ген – С – отвечает за неравномерное распределение пигмента, а именно, определяет отложение пигмента у вершины и у

основания волоса, и носители его в присутствии гена В имеют серую окраску. При скрещивании черных и белых мышей было получено единообразное серое потомство. При скрещивании серых мышей между собой получено потомство из 82 серых, 35 белых, 27 черных мышей. Определите генотипы родителей и потомства.

Решение

1. Запишем условные обозначения аллелей:

В – ген образования темного пигмента

в – ген отсутствия пигмента

С – ген неравномерного распределения пигмента

с – ген равномерного распределения пигмента

2. Схема скрещивания

Р: ♀ ВВсс х ♂ ввСС

черные белые

G Вс вС

F₁: ВвСс, серые 100%

3. Дигетерозиготные потомки F₁ будут давать по 4 типа гамет, которые могут комбинироваться 16 способами. Построив решетку Пеннета, можно убедиться, что в потомстве организмов, одновременно имеющих доминантные гены В и С (серые мыши), будет примерно 9/16; черных мышей – 3/16 (в генотипе присутствует только один доминантный ген В, который проявляется в отсутствии другого доминантного гена С); остальные мыши будут в потомстве белые – 4/16 (доминантный ген С не проявляется в отсутствии гена В). То есть, в F₂ будет наблюдаться расщепление по окраске в пропорции 9:3:4.

F₁: ♀ ВвСс × ♂ ВвСс

серые

серые

G ВС, Вс, вС, вс ВС, Вс, вС, вс

F₂: В_С_ – серые мыши 9/16

В_сс – черные мыши 3/16

ввС_ – белые мыши 3/16 } 4/16

ввсс – белые мыши 1/16 }

Форма гребня у кур может быть листовидной, гороховидной, розовидной, ореховидной. При скрещивании кур, имеющих ореховидные гребни, потомство получилось со всеми 4 формами гребней в соотношении: 9 ореховидных : 3 розовидных : 3 гороховидных : 1 листовидный. Выпишите генотипы потомства, дайте характеристику генам.

Решение

1. Соотношение в потомстве 9:3:3:1 характерно для дигибридного скрещивания. Но при независимом расщеплении признаков комбинации их наблюдаются в пределах двух контрастирующих признаков, которые определяются соответствующей парой генов, и по каждой паре можно проследить расщепление 3:1. В данном случае выделить контрастирующие признаки невозможно.
2. Представляя мысленно решетку Пеннета, мы находим, что особи с ореховидным гребнем образуются только тогда, когда взаимодействуют два доминантных гена. Особи с простым гребнем соответствуют генотипу, гомозиготному по двум парам рецессивных генов. Оставшиеся два класса (потомство с розовидным и гороховидным гребнями) представляют собой особи с доминантным геном только из одной пары.
3. Запишем условные обозначения аллелей:
R – ген образования гороховидного гребня

г – ген образования простого гребня (листовидного)
 Р – ген образования розовидного гребня
 р – ген образования простого гребня
 R + P – ореховидный гребень

4. Схема скрещивания

P: ♀ RrPp × ♂ RrPp
 ореховидный ореховидный
 G RP, Rp, rP, rp RP, Rp, rP, rp
 F₁: R_P_ – ореховидный гребень 9/16
 R_pp – гороховидный гребень 3/16
 rrP_ – розовидный гребень 3/16
 rrrr – листовидный гребень 1/16

Таким образом, форма гребня у кур определяется комплементарным взаимодействием двух пар генов; при скрещивании двух дигетерозиготных особей в F₁ отмечается формирование четырех фенотипических классов в соотношении 9:3:3:1.

При скрещивании двух разных пород свиней, имеющих песочную окраску щетины, получено потомство с красной щетиной. У гибридов второго поколения появилось потомство с белой щетиной. Таких поросят было в 9 раз меньше, чем с красной щетиной и в 6 раз меньше, чем с песочной. Объясните характер наследования щетины у свиней.

Решение

- Из условия задачи видно, что имеет место комплементарное взаимодействие генов, детерминируемых красную окраску щетины (А и В).
- Гибриды F₁ имеют генотип АаВв, так как во втором поколении 9/16 потомства свиней с красной щетиной можно получить только при скрещивании дигибридов между собой. Щетина без окраски у 1/16 потомства, что соответствует генотипу аавв. 6/16 потомства с песочной щетиной в F₂ определяется фенотипическими радикалами 3/16 А_вв и 3/16 ааВ_.

Задачи для самостоятельного решения

У душистого горошка пурпурная окраска цветков обусловлена взаимодействием двух комплементарных доминантных генов А и В. При отсутствии в генотипе любого из них красный пигмент не образуется и растение имеет белые цветки.

- Определить окраску цветков у душистого горошка, имеющего следующие генотипы: а) Ааbb; б) ааВВ; в) ААВb; г) АаВb; д) ааВb; е) ААВВ.
- Гомозиготное по доминантным генам А и В растение душистого горошка скрестили с рецессивной по обеим парам аллелей белоцветковой особью. Определить генотип и фенотип полученного потомства.
- Определить фенотип потомства, полученного при самоопылении растений душистого горошка с пурпурными цветками: а) гетерозиготного по доминантным генам А и В; б) гетерозиготного по доминантному гену А.
- Определить фенотипы гибридов при скрещиваниях растений душистого горошка: а) Ааbb x ааВb; б) АаВb x АаВb; в) ААbb x Ааbb; г) ААbb x ааВВ.

5. Дигетерозиготное растение душистого горошка с пурпурными цветками скрестили с рецессивной по обоим парам аллелей белоцветковым растением. Определить генотип и фенотип потомства.

У тыквы дисковидная форма плода определяется взаимодействием двух доминантных генов А и В. При отсутствии в генотипе любого из них получаются плоды сферической формы. Сочетание рецессивных аллелей обоих генов дает удлиненную форму плодов.

6. Определить форму плода растений тыквы следующих генотипов: а) AaBb; б) AABV; в) Aabb; г) aaBb; д) aabb; е) aaBV; ж) AABb.

7. Определить генотип и фенотип потомства при скрещиваниях растений тыквы следующих генотипов: а) AAbb x AaBV; б) AABb x aabb; в) AaBb x aabb; г) AABb x aaBb; д) AaBV x AAbb.

8. Гомозиготное по обоим доминантным генам растение тыквы с дисковидной формой плодов скрестили с растением, имеющим удлиненные плоды. Определить генотип и фенотип потомства.

9. Дигетерозиготное растение тыквы с дисковидной формой плодов скрестили с растением, имеющим удлиненные плоды. Определить генотип и фенотип полученного потомства.

10. При скрещивании двух сортов тыквы с шаровидными плодами гибриды оказались с дисковидными плодами, а в F₂ получилось 450 растений с дисковидными плодами, 300 – с шаровидными и 50 – с удлиненными. Определить: а) сколько типов гамет образует гибрид F₁? б) сколько растений F₂ с шаровидными плодами являются полностью гомозиготными? в) сколько разных генотипов среди растений F₂ с шаровидными плодами? г) сколько типов гамет образует гетерозиготное растение из F₂ с шаровидными плодами? д) сколько растений F₂ полностью гетерозиготны?

11. У кукурузы нормальный рост обусловлен двумя доминантными неаллельными генами. Рецессивные гомозиготы любого гена обладают карликовостью. При скрещивании двух карликовых растений кукурузы в F₁ получили растения нормальной высоты. В F₂ получено 812 нормальных и 640 карликовых особей. Определить тип взаимодействия генов.

12. Коричневая окраска меха норок (дикий тип) определяется наличием двух доминантных генов А и В. Рецессивные гомозиготы по каждому из аллелей имеют платиновую окраску. При скрещивании двух платиновых норок все особи F₁ получились коричневыми. Определить генотипы родителей и ожидаемое расщепление в F₂.

13. При скрещивании двух растений левкоя – с простыми и махровыми цветками – гибриды первого поколения получились с простыми цветками, а во втором поколении получено примерно 90 растений с простыми цветками и 70 с махровыми. Определить: а) сколько разных генотипов получилось среди растений с простыми цветками в F₂? б) сколько получилось полностью гомозиготных растений с махровыми цветками? в) сколько получилось растений с генотипами, подобными родительским? г) сколько типов гамет образует гетерозиготное растение с махровыми цветками? д) сколько разных генотипов среди полученных растений с махровыми цветками?

Эпистатическое взаимодействие генов

Эпистаз – взаимодействие двух неаллельных генов, при котором ген одной аллельной пары подавляет действие генов другой пары. Подавляющий ген называется **эпистатическим** (*иначе – супрессор*), подавляемый – **гипостатическим**. По характеру эпистаз похож на обычное доминирование, однако если при доминировании доминантный аллель подавляет действие рецессивного аллеля той же аллеломорфной пары, при эпистазе аллель одного гена подавляет проявление аллеля неаллельного гена (приложение 3).

При эпистазе наблюдается отклонение от фенотипического расщепления, но распределение аллелей взаимодействующих генов соответствует закону независимого комбинирования признаков, и законы Г. Менделя не нарушаются.

Эпистаз бывает доминантным и рецессивным.

Доминантный эпистаз – подавление доминантным аллелем эпистатического гена проявления аллелей гипостатического гена ($A>B$, $B>A$).

При доминантном эпистазе гибриды F_1 будут похожи на родителя, в генотипе которого есть ген – подавитель. **Расщепление признаков при доминантном эпистазе у гибридов F_2 :**

А) 13 : 3; если ген-подавитель сам не формирует признак, а только подавляет другой доминантный неаллельный ему ген, детерминирующий этот признак.

Примеры: наследование окраски оперения у кур (белый леггорн, виандотт, белый плимутрок и др.).

Б) 12 : 3 : 1; если ген-подавитель обладает свойством влиять на проявление признака.

Примеры: наследование окраски плодов тыквы (белая окраска определяется геном W, желтая – геном Y. Ген W эпистатичен по отношению к гену Y, который в присутствии гена W не проявляется. Рецессивные гомозиготы дают зеленую окраску плодов); наследование окраски зерен овса (черная окраска определяется геном A, серая – геном B, ген A эпистатичен по отношению к гену B, который в присутствии гена A не проявляется; в случае отсутствия двух доминантных генов проявляется белая окраска); наследование масти лошадей (серая, вороная, рыжая).

Рецессивный эпистаз – подавление рецессивным аллелем эпистатического гена проявления аллелей гипостатического гена ($aa>B$, $aa>bb$, $bb>A$, $bb>aa$).

Расщепление признаков при рецессивном эпистазе у гибридов F_2 :

А) 9 : 3 : 4

Примеры: наследование окраски шерсти у собак породы Лабрадор; наследование окраски шерсти у мышей.

Б) 9 : 7

Двойной рецессивный эпистаз (криптомерия).

В некоторых случаях полученное соотношение фенотипов можно трактовать и как эпистаз, и как комплементарное взаимодействие. Генетический анализ без учета биохимии и физиологии развития признака в онтогенезе не может раскрыть природу взаимодействия генов, однако без генетического анализа невозможно определить наследственную детерминацию развития этих признаков.

Характерные признаки эпистатического взаимодействия генов:

1. Действие двух пар генов на один признак;
2. Подавление проявления гипостатического гена в F_1 ;
3. Изменение формулы дигибридного расщепления в F_2 , за счет расширения доли особей с фенотипом гена супрессора, при этом характерные формулы расщепления для доминантного эпистаза – 13 : 3 и 12 : 3 : 1; для рецессивного эпистаза – 9 : 3 : 4, 9 : 6 : 7.

Примеры решения задач

При скрещивании между собой некоторых форм кукурузы, имеющих белые и красные семена, получают потомство только с белыми семенами. Во втором поколении происходит расщепление в соотношении: 12/16 растений с белыми семенами, 3/16 – с пурпурными, 1/16 – с красными. Как наследуется окраска семян кукурузы?

Решение

1. Результаты расщепления в F_2 свидетельствуют о том, что мы имеем расщепление по двум парам генов. Налицо явление доминантного эпистаза – гибриды F_1 похожи на одного родителя, во втором поколении происходит расщепление: 12/16 растений с неокрашенными семенами, 4/16 – с окрашенными. Причем, пигментообразующий ген имеет два аллельных состояния. Доминантный аллель этого гена определяет пурпурную окраску семян, а рецессивный – красную.
2. Если принять, что ген А детерминирует пурпурную окраску семян, а – его рецессивный аллель – красную, то доминантный аллель гена С подавляет действие гена А и аа, а рецессивные аллели сс на ген А и аа не действуют.

3. Составим схему скрещивания F_1

Р: ♀ ААСС × ♂ аасс
 белые красные
G АС ас

F_1 : АаСс белые 100%

4. Составим схему скрещивания F_2

F_1 : ♀ АаСс × ♂ АаСс
 белые белые
G АС, Ас, аС, ас АС, Ас, аС, ас

F_2 : А_С_ – белые 9/16
 ааС_ – белые 3/16 => 12/16
 А_сс – пурпурные 3/16
 аасс – красные 1/16

Для получения окрашенных луковиц необходимо наличие у растений лука доминантного гена С. При гомозиготности по рецессиву (сс) получают бесцветные луковицы. При наличии в генотипе аллелей С и А – луковицы красные, с радикалом ааС_ – желтые. Краснолуковичные растения были скрещены с желтолуковичными и получили потомство с красными, желтыми и бесцветными луковицами. Определите: а) генотипы родительских форм; б) долю потомства с красными, желтыми и бесцветными луковицами.

Решение

1. Из условия задачи следует, что краснолуковичные растения имеют в своем генотипе А_С_, желтолуковичные – ааС_. Запись родителей примет вид:

Р: ♀ А_С_ × ♂ ааС_
 красные желтые
 луковицы луковицы

F_1 : А_С_ ; ааС_ ; аасс
 красные желтые белые
 луковицы луковицы луковицы

2. Анализ потомства от скрещиваний с красными и желтыми луковицами указывает, что выщепляются формы с генотипом, рецессивным по обоим парам генов (аасс) – бесцветные луковицы. Следовательно, генотипы родителей АаСс и ааСс. Но бесцветные луковицы проявит и генотип с геном А при сс.

Таким образом, составим схему скрещивания F₁:

Р: ♀ АаСс × ♂ ааСс
красные желтые
луковицы луковицы

G AC, Ac, aC, ac aC, ac

F₁: Составим решетку Пеннета

♂ ♀	aC	ac
AC	AaCC красный	AaCc красный
Ac	AaCc красный	Aacc бесцветный
aC	<i>aaCC</i> желтый	<i>aaCc</i> желтый
ac	<i>aaCc</i> желтый	aacc бесцветный

3. Из решетки Пеннета видно, что у гибридов расщепление: 3/8 краснолуковичных, 3/8 желтолуковичных и 2/8 белолуковичных.
4. Таким образом, при данном скрещивании генотипы Р: ♀ АаСс, ♂ ааСс. В F₁ наблюдается расщепление: 3/8 краснолуковичных, 3/8 желтолуковичных и 2/8 белолуковичных. Окраска луковиц контролируется двумя генами, взаимодействующими по типу рецессивного эпистаза.

При скрещивании растений льна с гладкой формой лепестков в первом поколении все растения имели гладкие лепестки, а во втором среди 632 растений 125 имели гофрированную форму лепестков, остальные – гладкую. Как наследуется признак? Каковы генотипы исходных растений и растений F₁?

Решение

- В F₁ наблюдается единообразие, по-видимому, исходные растения гомозиготны.
- В F₂ расщепление не соответствует расщеплению при моногенном наследовании 3 : 1, поэтому предполагаем дигенное наследование.
Находим величину одного возможного сочетания гамет: 632/16 = 39,5. Расщепление в опыте: 507/39,5 = 12,8; 125/39,5 = 3,2, т.е. примерно 13 : 3.
Следовательно, форма лепестков определяется взаимодействием двух пар генов по типу доминантного эпистаза. Ген В обуславливает гофрированную форму лепестков, ген b – гладкую, ген А – супрессор, подавляющий проявление неаллельного гена В, а ген а – не оказывает влияния на форму лепестков.
- Поскольку исходные растения гомозиготны с гладкими лепестками, в генотипе одного из них должен присутствовать аллель А – ААВВ. В генотипе другого растения – два рецессивных аллеля b – ааbb. Растения F₁ дигетерозиготны.

4. Генотипы исходных растений: AABV, aabb – гладкие лепестки; генотип гибридов F₁: AaBb – гладкие лепестки.

Задачи для самостоятельного решения

У овса черная окраска семян определяется доминантным геном А, а серая окраска – доминантным геном В. Ген А эпистатичен по отношению к гену В, и последний в его присутствии не проявляется. При отсутствии в генотипе растения обоих доминантных генов проявляется белая окраска семян.

1. Определить окраску семян растений овса, имеющих следующие генотипы: а) aaBb; б) aabb; в) Aabb; г) AaBb; д) AABb; е) aaBV; ж) AaBV.
2. Определить окраску зерна овса в скрещиваниях: а) aaBV x aaBb; б) aaBb x aabb; в) Aabb x Aabb; г) AaBb x Aabb; д) AAbb x aaBb; е) AaBV x AaBV.
3. При скрещивании двух серозерновых растений овса получили серозерновые и белозерновые растения в соотношении 3:1. Определить генотипы родителей.
4. При скрещивании черnozернового растения овса с белозерновым получили половину растений с черными зернами и половину – с белыми зернами. Определить генотипы родителей.
5. При скрещивании двух черnozерновых растений овса получены растения с черными и серыми зернами в соотношении 3:1. Определить генотипы родителей.
6. При скрещивании двух растений овса с серыми зернами получили серозерновое потомство. Определить генотипы родителей.
7. При самоопылении растения овса с черными зернами получили черnozерновые, серозерновые и белозерновые растения в соотношении 12 : 3 : 1. Определить генотип исходного растения.

У тыквы белая окраска плодов определяется доминантным геном W, а желтая – доминантным геном Y. Ген W эпистатичен по отношению к гену Y, и последний в его присутствии не проявляется. Рецессивные аллели этих генов в гомозиготном состоянии дают зеленую окраску плодов.

8. Определить окраску плодов растений тыквы, имеющих следующие генотипы: а) wwYy; б) Wwyy; в) WwYY; г) WWYy; д) wwYY; е) wwyy; ж) WwYy.
9. Определить окраску плодов тыквы в скрещиваниях: а) wwYy x wwYy; б) WwYy x Wwyy; в) Wwyy x wwYy; г) WWYy x wwyy; д) WWyy x WwYY; е) WwYy x wwyy.
10. При скрещивании двух желтоплодных растений тыквы получили гибриды с желтыми и зелеными плодами в соотношении 3:1. Определить генотипы родителей.
11. При скрещивании растений тыквы с белыми плодами с растением, имеющим зеленые плоды, получили гибриды, у половины которой имелись белые плоды, у другой половины – зеленые. Определить генотипы родителей.

12. При скрещивании двух белоплодных растений тыквы получили гибриды с белыми и желтыми плодами в соотношении 3:1. Определить генотипы родителей.
13. При скрещивании двух растений тыквы с желтыми плодами все потомство было желтоплодным. Определить генотипы родителей.
14. Скрестили серых морских свинок с белыми. В F_1 все особи получились серыми, а в F_2 получились 134 серых, 46 черных, 59 белых. В анализирующем скрещивании гибридов F_1 было получено 80 животных. Определить: а) сколько разных генотипов было среди серых животных в F_2 ? б) сколько животных F_a имели белую окраску? в) сколько полных гомозигот было в F_a ? г) сколько животных F_a имели черную окраску? д) сколько разных типов гамет может образовать серая свинка F_1 ?
15. От скрещивания двух пород кур с белым оперением гибриды F_1 оказались тоже белые, а в F_2 получилось 650 белых и 150 окрашенных цыплят. Определить: а) сколько типов гамет образует гибрид F_1 ? б) сколько разных генотипов среди белых цыплят F_2 ? в) сколько белых цыплят полностью гомозиготны? г) сколько разных генотипов среди окрашенных цыплят F_2 ? д) сколько окрашенных цыплят полностью гомозиготны?

Полимерное действие генов

Полимерия – тип неаллельного взаимодействия генов, при котором несколько пар неаллельных генов влияют на формирование одного признака, вызывая сходные изменения. Такие гены получили название полимерных, а определяемые ими признаки – полигенных.

Явление полимерии было открыто в 1909 г. шведским генетиком Г. Нильсоном-Эле, который описал серию однозначно действующих генов, определяющих окраску эндосперма зерна пшеницы.

Количественные признаки (рост, масса, жирность молока, длина шерсти овец и др.) и некоторые качественные признаки (форма плода пастушьей сумки) определяются не одной, а несколькими парами взаимодействующих генов. При этом, чем больше доминантных генов в генотипе, тем сильнее развит признак.

Продукты таких неаллельных генов (например, ферменты) выполняют одну и ту же функцию. Поэтому принято обозначать их одной латинской буквой с указанием индекса: A_1 , A_2 , A_3 и т.д.

При наследовании количественного признака потомство гибрида образует непрерывный вариационный ряд по фенотипическому проявлению данного признака.

По типу полимерии наследуется, например, пигментация кожи у человека. Так, у супружеской пары негра и белой женщины рождаются дети с промежуточным цветом кожи (мулаты). У супругов-мулатов рождаются дети по цвету кожи всех типов окраски – от черной до белой. Это определяется комбинацией четырех пар аллелей полимерных генов. Чем больше доминантных генов, ответственных за выработку пигмента меланина, тем темнее кожа.

У человека с генотипом $A_1A_1A_2A_2A_3A_3A_4A_4$ кожа самая темная, а с генотипом $a_1a_1a_2a_2a_3a_3a_4a_4$ самая светлая. При изменении соотношения числа доминантных и рецессивных генов меняется и цвет кожи.

Такой тип **полимерии** называется **кумулятивной** (сложной) когда степень проявления признака зависит от числа доминантных аллелей в генотипе. В случае дигибридного скрещивания наблюдается изменение расщепления и потомство при этом таково: 1 : 4 : 6 : 4 : 1. Таким образом наследуются также молочность коров, яйценоскость кур, содержание сахара в корнеплодах, длина початка кукурузы, длина колоса, окраска колоса у злаков и др.

Так, у некоторых сортов пшеницы окраска зерна контролируется двумя парами полимерных доминантных генов. Четыре доминантных гена в гомозиготном состоянии ($A_1A_1A_2A_2$) определяют темно-красную окраску зерна, три доминантных гена ($A_1A_1A_2a_2$) –

красную, два доминантных гена ($A_1a_1A_2a_2$) – светло-красную, один доминантный ген ($A_1a_1a_2a_2$; $a_1a_1A_2a_2$) определяет бледно-красную окраску.

Яровость пшеницы контролируется двумя доминантными полимерными генами, а озимость – их рецессивными аллелями. В наибольшей степени яровость проявляется в генотипе $A_1A_1A_2a_2$, а озимость – в генотипе $a_1a_1a_2a_2$.

При *некумулятивной* (простой) *полимерии* проявление признака не зависит от числа доминантных аллелей и признак будет проявляться, если имеется хотя бы один доминантный ген. В потомстве при этом будет соотношение 15 : 1 для двух генов (приложение 3), 63 : 1 для трех генов и т.д.

При полимерном типе наследования возможно проявление *трансгрессий*. Трансгрессия – форма, у которой степень проявления признака больше, чем у родительских форм.

Трансгрессии могут быть положительными и отрицательными:

P: ♀ $A_1A_1a_2a_2A_3A_3a_4a_4$ × ♂ $a_1a_1A_2A_2a_3a_3A_4A_4$
 G $A_1a_2A_3a_4$ $a_1A_2a_3A_4$

F₁: $A_1a_1A_2a_2A_3a_3A_4a_4$

F₂: $A_1A_1A_2A_2A_3A_3A_4A_4$ $a_1a_1a_2a_2a_3a_3a_4a_4$
 положительная отрицательная трансгрессии

Таким образом, трансгрессии проявляются в F₂, когда родительские формы не обладают крайним проявлением признаков и не несут всех доминантных (при положительной трансгрессии) или всех рецессивных (при отрицательной трансгрессии) аллелей.

Примеры решения задач

От браков белых и негров рождаются мулаты. Анализ потомства большого числа браков между мулатами дал расщепление 1:4:6:4:1. Фенотипически это были черные и белые потомки, мулаты, темные и светлые мулаты. Определите количество генов, обуславливающих окраску кожи, характер их взаимодействие и генотипы родителей и потомков.

Решение

1. По полученному расщеплению можно судить, что за окраску кожи отвечает два неаллельных гена, которые взаимодействуют между собой по типу полимерии:

A_1 – ген темного цвета кожи

A_2 – ген темного цвета кожи

a_1 – ген светлого цвета кожи

a_2 – ген светлого цвета кожи

2. P: ♀ $A_1A_1A_2A_2$ × ♂ $a_1a_1a_2a_2$
 негритянка белый
 G A_1A_2 a_1a_2
 F₁: $A_1a_1A_2a_2$
 мулат

3. F₁: ♀ $A_1a_1A_2a_2$ × ♂ $A_1a_1A_2a_2$
 G $A_1A_2, A_1a_2, a_1A_2, a_1a_2$ $A_1A_2, A_1a_2, a_1A_2, a_1a_2$

F₂: Составляем решетку Пеннета:

$A_1A_1a_2a_2a_3a_3$ и т.д.,
15/64 – 8 г

$A_1a_1a_2a_2a_3a_3$ и т.д.,
6/64 – 7 г

$a_1a_1a_2a_2a_3a_3$
1/64 – 6 г

Задачи для самостоятельного решения

У некоторых сортов пшеницы красная окраска зерна контролируется двумя парами полимерных доминантных генов. Два доминантных гена в гомозиготном ($A_1A_1A_2A_2$) состоянии определяют темно-красную окраску зерна, один доминантный ген (A_1 или A_2) – бледно-красную, два – светло-красную, а три – красную окраску зерна.

1. Какие типы гамет образуют растения пшеницы с генотипами: а) $A_1A_1A_2A_2$; б) $A_1a_1A_2A_2$; в) $a_1a_1A_2A_2$; г) $A_1A_1a_2a_2$; д) $A_1A_1a_2a_2$; е) $A_1a_1a_2a_2$; ж) $a_1a_1a_2a_2$; з) $a_1A_1a_2a_2$; и) $A_1a_1A_2a_2$.
2. Определить окраску зерна растений пшеницы, полученных в результате скрещиваний: а) $A_1a_1A_2A_2$ х $a_1a_1A_2a_2$; б) $A_1a_1A_2a_2$ х $a_1a_1a_2a_2$; в) $A_1a_1a_2a_2$ х $A_1A_1a_2a_2$; г) $A_1a_1a_2a_2$ х $A_1a_1A_2A_2$.
3. Определить генотипы и фенотипы растений пшеницы при скрещивании особи с темно-красным зерном с особью с окраской зерна: а) красной; б) бледно-красной; в) белой.
4. При скрещивании растения пшеницы, выросшего из зерна, содержащего красящий пигмент, с белозерным растением, получено потомство, состоящее: а) только из особей со светло-красным зерном; б) наполовину из особей со светло-красным зерном и с бледно-красным зерном. Определить генотипы родителей и потомства.
5. Определить генотип и фенотип потомства, полученного при скрещивании растения пшеницы, выросшего из бледно-красного зерна, с растением, выросшим из зерна: а) бледно-красного; б) красного; в) белого; г) темно-красного.
6. Определить генотип и фенотип потомства, полученного при самоопылении растения пшеницы, выросшего из: а) красного зерна; б) бледно-красного зерна.
7. Определить генотип и фенотип потомства, полученного при скрещивании белозерного растения пшеницы с растением, выросшим из зерна: а) темно-красного; б) красного; в) бледно-красного.
8. Определить генотип и фенотип потомства, полученного при скрещивании растения пшеницы, выросшего из красного зерна, с растением, выросшим из зерна: а) бледно-красного; б) белого; в) красного.

У пшеницы яровость контролируется двумя доминантными полимерными генами A_1 и A_2 , а озимость – их рецессивными аллелями a_1 и a_2 . В наибольшей степени яровость проявляется в генотипах $A_1A_1A_2A_2$, а озимость – при сочетании генов $a_1a_1a_2a_2$.

9. Определить генотипы и фенотипы (яровость и озимость) гибридных растений пшеницы в следующих скрещиваниях: а) $A_1A_1A_2A_2$ х $a_1a_1a_2a_2$; б) $A_1A_1a_2a_2$ х $a_1a_1a_2a_2$; в) $A_1a_1a_2a_2$ х $a_1a_1A_2a_2$.
10. Установить характер расщепления по признакам яровости – озимости при самоопылении растений пшеницы с генотипами: а) $A_1a_1a_2a_2$; б) $A_1a_1A_2a_2$; в) $A_1A_1A_2a_2$; г) $a_1a_1A_2A_2$.

11. При самоопылении растения пшеницы получено расщепление в потомстве в соотношении 3 яровых : 1 озимых. Определить возможные генотипы родителей.
12. Сколько доминантных генов яровости имеет растение пшеницы, если при самоопылении на три яровые формы получается одна озимая?
13. Высота растения сорго, гомозиготного по рецессивным аллелям четырех генов карликовости, обуславливающих укороченность стебля, равна 40 см. Высота растения, гомозиготного по доминантным аллелям этих четырех генов, равна 240 см. Допустим, что различия в высоте стебля контролируются в равной мере всеми четырьмя аллелями, причем их действие носит количественный и кумулятивный характер. Растение генотипа $A_1A_1A_2A_2A_3A_3a_4a_4$ скрещивали с растением $a_1a_1a_2a_2a_3a_3A_4A_4$. Какова высота стебля у каждой из родительских форм? Какова ожидаемая высота растения F_1 ?
14. Рост человека контролируется несколькими парами несцепленных генов, которые взаимодействуют по типу полимерии. Если пренебречь факторами среды и условно ограничиться лишь тремя парами генов, то можно допустить, что в какой-то популяции самые низкорослые люди имеют все рецессивные гены и рост 150 см, самые высокие – все доминантные гены и рост – 180 см.
1. Определите рост людей, гетерозиготных по всем трем парам генов роста.
2. Низкорослая женщина вышла замуж за мужчину среднего роста. У них было четверо детей, которые имели рост 165 см, 160 см, 155 см, 150 см. Определите генотипы родителей и их рост.

Плейотропное действие генов

Взаимодействие между генами при формировании признака в организме указывает на то, что гены составляют единую взаимодействующую систему. В различных организмах обнаружены гены, оказывающие влияние на формирование многих признаков, что объясняется связью гена с несколькими этапами биохимических процессов. Такие гены называются *плейотропными*. Например, у многих растений ген, обуславливающий окраску цветка, вызывает изменение окраски стебля, листьев или семян. У человека ген, обуславливающий синдром Марфана («паучьи пальцы») вызывает также изменение формы лица, дефект хрусталика, врожденные пороки сердца и др. А ген, отвечающий за рыжую окраску волос, вызывает также более светлую окраску кожи и появление веснушек.

Нередки случаи, когда плейотропный ген по отношению к одному признаку является доминантным, а по отношению к другому – рецессивным. В этом случае расщепление во втором гибридном поколении характерно для многогибридного скрещивания. Однако известен ряд случаев, когда плейотропный ген проявляет доминантное действие на один признак, действуя на второй как рецессивная леталь (т.е. особи гибнут при генотипе aa). Например, ген серой окраски шерсти каракулевых овец (доминантный признак) одновременно вызывает недоразвитие рубца (рецессивный летальный признак). Поэтому серые овцы являются гетерозиготами (Aa). При их скрещивании получается расщепление 2 (серые, Aa) : 1 (черные, AA), поскольку серые особи с генотипом aa не рождаются.

Примеры решения задач

Рассел (США) обнаружил в генетически черной линии домовых мышей фенотип «грязные пятна», при котором на животе и изредка на спине располагаются белые пятна. Скрещивание черных мышей с пятнистыми даст как черное, так и пятнистое потомство. Скрещивание пятнистых мышей между собой дает те же типы окраски, но при этом некоторое количество эмбрионов гибнет в возрасте до 14 дней. Хвосты у эмбрионов

закручены, а позвонки раздвоены. Какова генетическая основа этих результатов? Какие признаки доминантные, а какие рецессивные?

Решение

1. При скрещивании пятнистых мышей между собой в потомстве отмечаются те же типы окраски, но при этом некоторое количество эмбрионов гибнет в возрасте до 14 дней. А скрещивание черных мышей с пятнистыми дает как черное, так и пятнистое потомство. Это указывает на то, что ген пятнистости наследуется как доминантный аутосомный плейотропный ген.
2. Вводим условные обозначения для генов:
А – ген пятнистости
а – ген черной окраски меха
АА – леталь

1. P: ♀ aa × ♂ Aa черные пятнистые G a A, a F₁: Aa; aa 1/2 (50%) 1/2 (50%) пятнистые черные	2. P: ♀ Aa × ♂ Aa пятнистые пятнистые G A, a A, a F₁: AA; Aa; Aa; aa гибель пятнистые черные 2/3 1/3
--	--

Таким образом, расщепление в F₁ будет 2/3 Аа : 1/3 аа (АА погибают, что уменьшает на 1/4 потомство от такого скрещивания).

3. Таким образом, ген пятнистости имеет плеiotропный эффект; наследуется как доминантный аутосомный ген; черный цвет – рецессивный.

Задачи для самостоятельного решения

1. У мексиканского дога ген, детерминирующий отсутствие шерсти, в гомозиготном состоянии – причина гибели потомства. При скрещивании двух нормальных догов часть потомства погибла. При скрещивании того же самца со второй самкой гибели потомства не наблюдалось. Однако, при скрещивании потомков, полученных в этих двух скрещиваниях, опять наблюдалась гибель щенков. Определите генотипы всех скрещиваемых особей.
2. Платиновые лисицы иногда ценятся выше, чем серебристые, что диктуется модой. В это время звероводческие хозяйства стараются получить как можно больше платиновых щенков. Какие пары наиболее выгодно скрещивать для получения платиновых лисиц, если известно, что платиновость и серебристость определяются аллельными аутосомными генами, платиновость доминирует над серебристостью, но в гомозиготном состоянии ген платиновости вызывает гибель зародыша?
3. Гетерозиготный бык голштинской породы имеет рецессивный ген, детерминирующий отсутствие шерсти. В гомозиготном состоянии этот ген – причина гибели теленка. Определите вероятность рождения нежизнеспособного теленка в скрещивании этого быка с одной из его дочерей от нормальной коровы. Каков тип взаимодействия генов?
4. В XIX веке была популярна коротконогая порода крупного рогатого скота – декстер. Однако, при подсчете потомства от внутрипородного скрещивания оказалось, что $\frac{1}{4}$ телят

оказывают мертворожденными, а 1/4 имеет нормальные по длине ноги. Определите генотипы коротконогих особей и дайте характеристику генам.

Пенетрантность

При взаимодействии генов отмечается отклонение в отношении фенотипических классов во втором поколении от ожидаемого, что можно объяснить эффектами, возникающими между генами в целостной системе организма. Однако, известны факты, которые не укладываются в известные взаимоотношения между генами. Это можно объяснить тем, что в процессе онтогенеза не все гены у их носителей реализуются в признаки. У некоторой части организмов они проявляются, у другой – нет. Они либо блокируются другими неаллельными генами, либо их проявление зависит от внешних условий.

Относительное количество особей в популяции, проявляющих какой-либо признак с фенотипическим эффектом, получило название **пенетрантности** данного гена. Пенетрантность выражается в процентах от общего числа носителей данного гена. Пенетрантность может меняться от нуля до 100% (100% – полная пенетрантность). Например, у собак наблюдается заболевание дегенеративная миелопатия, развивающееся в старости и проявляющееся в медленно распространяющемся параличе, который начинается с задних конечностей. Заболевание вызвано геном SOD1, находящимся в гомозиготном состоянии. У большинства пород гомозиготы болеют с частотой около 60%, а у собак породы Вельш-корги-пемброк – всего 5%.

Задачи на пенетрантность решаются по типу моногибридного скрещивания, но полученные результаты необходимо корректировать на величину пенетрантности гена.

Примеры решения задач

Подагра определяется доминантным аутосомным геном А. Выяснено, что пенетрантность гена у мужчин составляет 20%, а у женщин равна нулю. 1. Какова вероятность заболевания подагрой у детей в семье гетерозиготных родителей? 2. Какова вероятность заболевания подагрой детей в семье, где один из родителей гетерозиготен, а другой нормален по этому признаку?

Решение

1. По условию задачи:

А – ген подагры

а – норма.

Если в брак вступают гетерозиготные родители, то:

Р: ♀ Аа × ♂ Аа

G А, а А, а

F₁: АА; Аа; Аа; аа
 3/4 1/4

Вероятность носительства гена подагры у детей в такой семье равна 3/4 потомства. Но ген подагры проявляется только у мужчин. Вероятность рождения мальчиков равна 1/2, следовательно, ген подагры может проявиться лишь у $3/4 \times 1/2 = 3/8$ потомства. Однако если пенетрантность равна 20% или 1/5 от несущих его мужчин, тогда вероятность заболевания подагрой у детей в семье гетерозиготных родителей равна $3/8 \times 1/5 = 3/40$ или 7,5%.

2. Так как один из супругов гетерозиготен по данному гену (Аа), а второй нормален (аа), следовательно, вероятность рождения ребенка, имеющего ген подагры, $1/2$ (Аа × аа = 1/2

Аа + 1/2 аа). Вероятность того, что родится мальчик – 1/2; вероятность того, что он заболеет, равна – 1/5. Следовательно, появление больного ребенка у таких родителей равна: $1/2 \times 1/2 \times 1/5 = 1/20$ или 5%.

Задачи для самостоятельного решения

1. Ангиоматоз сетчатой оболочки (системное заболевание глаз и головного мозга) наследуется как доминантный аутосомный признак с пенетрантностью 50%. Определите вероятность заболевания детей в семье, где оба родителя являются гетерозиготными носителями гена ангиоматоза.
2. Арахнодактилия (множественные нарушения скелета и другие аномалии, нарушение обмена) наследуется как доминантный аутосомный признак с пенетрантностью 30%. Леворукость – рецессивный аутосомный признак с полной пенетрантностью. Определите вероятность проявления обеих аномалий одновременно у детей в семье, где оба родителя гетерозиготны по обоим парам генов.
3. Отосклероз (заболевание косточек среднего уха) наследуется как доминантный аутосомный признак с пенетрантностью 30%. Гипертрихоз (вырастание волос по краю ушной раковины) наследуется как признак, сцепленный с Y-хромосомой, с полным проявлением пенетрантности. Определите вероятность проявления одновременно обеих аномалий у детей в семье, где жена нормальная по обоим признакам и гомозиготна, а муж имеет обе аномалии, но мать его была нормальной гомозиготной женщиной.
4. Синдром Ван дер Хеве наследуется как доминантный аутосомный плеiotропный ген, детерминирующий голубую окраску склеры, хрупкость костей и глухоту. Пенетрантность признаков изменчива. В ряде случаев она составляет по голубой склере почти 100%, хрупкости костей 63%, глухоте – 60%.
 1. Носитель голубой склеры, нормальный в отношении других признаков синдрома, вступает в брак с нормальной женщиной, происходящей из благополучной по синдрому Ван дер Хеве семьи. Определите вероятность проявления у детей признака хрупкости костей, если известно, что по линии мужа признаками синдрома обладает лишь один из его родителей.
 2. В брак вступают два гетерозиготных носителя голубой склеры, нормальные в отношении других признаков синдрома. Определите вероятность проявления у их детей глухоты.

Статистический характер расщепления

Закономерности появления фенотипических классов при скрещивании гибридов, модификацию закономерностей при взаимодействии генов, возможно выявить только *статистическими методами*, то есть методами, оперирующими большими числами. Однако, используя конкретный статистический материал, нередко бывает трудно сказать, соответствует ли он той теории или законам, которыми мы руководствовались. Для определения соответствия наблюдаемого расщепления по фенотипическим классам теоретически ожидаемому при данном скрещивании, используется критерий соответствия – χ^2 (хи-квадрат). Функция χ^2 определяется как:

$$\chi^2 = \sum \frac{(n - o)^2}{o},$$

где n – наблюдаемое значение данного фенотипического класса в эксперименте, o – ожидаемое значение, а символ Σ означает суммирование по всем сериям экспериментов. Чем больше число фенотипических классов фигурирует при анализе, тем больше сумма χ^2 .

Оценка величины χ^2 производится по таблице Фишера, в которой обозначены вероятности P .

Достоверность величины χ^2 с точки зрения вероятности зависит от:

- числа степеней свободы, которая равняется числу фенотипических классов минус единица ($n - 1$);
- уровня значимости P .

У гибридов F_2 , давших расщепление на два фенотипических класса, степень свободы равна единице, при трех фенотипических классах число степеней свободы равняется двум, при четырех – трем и т.д.

Обычно вероятность P в сельскохозяйственных исследованиях принимают равной 0,05 (5 % значимости). Предельные значения суммы χ^2 при различных степенях свободы находят по таблице Фишера (приложение II). В них с учетом числа степеней свободы указаны крайние значения суммы χ^2 . При полном соответствии опытных и теоретических данных χ^2 равен нулю. Чем меньше рассчитанный χ^2 по сравнению с его допустимой величиной при данном числе степеней свободы и уровне вероятности $P = 0,05$, тем больше наблюдаемое расщепление соответствует теоретически ожидаемому. Если при данной степени свободы и $P = 0,05$ рассчитанное χ^2 больше табличного, то фактически наблюдаемое расщепление не соответствует теоретически ожидаемому.

Примеры решения задач

Рассчитайте критерий соответствия χ^2 для оценки данных, полученных при расщеплении гибридов F_2 у гороха от скрещивания растений, имеющих желтую и зеленую окраску семян. В F_2 было получено два фенотипических класса: 110 семян с желтой окраской семян, 44 – с зеленой.

Решение

1. Записываем условные обозначения генов изучаемых признаков и составляем схему получения гибрида F_1 :
А – ген желтой окраски семян
а – ген желтой зеленой семян

P: ♀ AA x ♂ aa
Гаметы: A a

F₁: Aa – все семена желтые

2. Составляем схему получения гибрида F₂:

F₁ Aa x Aa

G A, a A, a

F₂:

AA	Aa	Aa	aa
1/4	2/4	1/4	
	3/4	1/4	
желтые	зеленые		
семена	семена		
110	44		
растений	растения		

3. Проведем расчет согласно формуле:

Порядок расчета	Желтые семена	Зеленые семена	Всего
Наблюдаемые значения (n)	110	44	154
Ожидаемые значения (o)	154 x 3/4 = 115,5	154 x 1/4 = 38,5	154
(n - o)	-5,5	+5,5	0 (отклонение)
(n - o) ²	30,25	30,25	
$\frac{(n - o)^2}{o}$	30,25/115,5 = 0,26	30,25/38,5 = 0,79	$\chi^2 = 1,05$ (0,26 + 0,79)

4. Число степеней свободы при двух фенотипических классах (желтые и зеленые семена) равно 1. Следовательно, теоретически ожидаемое значение χ^2 составит 3,84 (таблица Фишера).

5. Сравниваем фактически полученное значение χ^2 с теоретически ожидаемым.

Значение фактического χ^2 (1,05) оказалось меньше табличного значения χ^2 (3,84), следовательно, фактически полученное расщепление статистически соответствует теоретически ожидаемому 3:1.

Задачи для самостоятельного решения

1. При скрещивании двух растений фасоли, выросших из черных семян, получено 585 черных и 183 белых семян. Определить генотипы исходных форм и критерий соответствия фактически наблюдаемого расщепления теоретически ожидаемому.

2. При скрещивании растения фасоли, выросшего из черного семени, с белосемянным растением завязалось 176 черных и 198 белых семян. Определите генотипы исходных форм и χ^2 . Как называется такой тип скрещивания?

3. От скрещивания двух растений гороха, выросших из желтых гладких семян, получено 264 желтых гладких, 61 желтое морщинистое, 78 зеленых гладких и 29 зеленых морщинистых семян. Определить, какому скрещиванию соответствует наблюдаемое соотношение фенотипических классов.

4. У пшеницы некроз обусловлен взаимодействием двух комплементарных доминантных генов Ne_1 и Ne_2 . В потомстве гибридов Скала х Балаганка получилось 175 некротических и 128 нормальных растений. Определить при помощи χ^2 , насколько это расщепление соответствует теоретически ожидаемому.

5. При скрещивании черnoseмянных растений овса получено 277 черных, 81 серосемянных и 26 белосемянных растений. Какому типу взаимодействия генов соответствует наблюдаемое соотношение? Определите χ^2 , укажите генотип исходной формы.

Полиплоидия

Клетки живых организмов имеют определенное число хромосом, которые находятся в ядре. Это число у различных видов разное.

Целый ряд организмов (бактерии, некоторые водоросли и грибы, мхи) в зрелом состоянии являются гаплоидами – они имеют одинарный, гаплоидный набор хромосом.

Большинство организмов свой жизненный цикл проходят в состоянии диплоида (имеют двойной, диплоидный набор хромосом) (приложение Е), гаплоидными у них являются лишь гаметы.

Триплоидный набор хромосом имеют клетки эндосперма покрытосеменных (цветковых) растений.

Под воздействием внешних факторов (температуры, ионизирующего излучения, химических веществ и др.) имеющийся набор хромосом может изменяться. Впервые явление изменения числа хромосом было обнаружено русским профессором И.И. Герасимовым в 1890 г. и по предложению ученого Г. Винклера (1916 г.) это явление стали называть полиплоидией. Таким образом, **полиплоидия** – геномные мутации, приводящие к любому изменению числа хромосом организма. По способу возникновения различают два типа полиплоидии:

1. **Митотическая полиплоидия** имеет место при эндомиозе – удвоении хромосом без деления ядра, при этом образуются полиплоидные соматические (неполовые) клетки.

2. **Мейотическая полиплоидия** – связана с нарушениями в процессе мейоза при образовании микро- и макроспор. В результате возникают, так называемые, нередуцированные клетки с измененным, чаще диплоидным, числом хромосом. В дальнейшем если сливаются две нередуцированные гаметы, образуется тетраплоид ($4n$), если сливаются нередуцированная гамета и нормальная гамета, образуется триплоид ($3n$). Это примеры геномных мутаций.

Полиплоид – организм, происходящий от одной или двух родительских форм путем удвоения числа хромосом. Это удвоение может быть спонтанным или искусственным.

Различают:

1. **Автополиплоидию** – кратное увеличение числа хромосом у одного и того же вида:

- а) тетраплоиды, гексаплоиды, октоплоиды и т.д. (основное число хромосом увеличено в четное число раз);
- б) триплоиды, пентаплоиды и т.д. (основное число хромосом увеличено в нечетное число раз).

2. **Аллополиплоидию** – суммирование в организме числа хромосом от разных видов:

- а) амфидиплоиды (содержат полные хромосомные наборы двух видов или родов);
- б) аллотриплоиды (содержат гаплоидные наборы хромосом разных видов или родов).

3. **Анеуплоидия** – удвоение или утрата распространяется не на весь геном, а на отдельные хромосомы:

- а) моносомии (в хромосомном наборе недостает одной хромосомы);
- б) нуллисомии (в хромосомном наборе недостает одной пары гомологичных хромосом);
- в) трисомии (в хромосомном наборе имеется одна лишняя хромосома);
- г) тетрасомии (в хромосомном наборе имеется одна лишняя пара гомологичных хромосом).

Например, у человека встречаются трисомии ($2n + 1$) по 21-й хромосоме (синдром Дауна), по 13-й хромосоме (синдром Патау) и др.

4. **Гаплоиды** (возникают в результате уменьшения в два раза числа хромосом):

- а) моногаплоиды (получаются из диплоидных форм);
- б) полигаплоиды (получаются из полиплоидных форм).

Гаплоидное число хромосом получило название основного числа и обозначается «х».

Изменение числа хромосом вызывает у растений изменение морфологических признаков и биологических свойств. У растений часто наблюдается гигантизм (увеличение размеров листьев, плодов и др. органов), повышенное содержание определенных химических веществ, изменение сроков цветения и плодоношения и др.

Полиплоидами является большинство культурных растений, она играет значительную роль и у дикорастущих растений.

У животных полиплоидия встречается редко (у аскарид, некоторых земноводных).

Получение полиплоидных растений

Для получения полиплоидных растений используют колхицин – вещество группы алкалоидов, слабые растворы которого блокируют образование нитей веретена деления. Обрабатывают прорастающие семена или верхушки молодых побегов, находящихся в состоянии интенсивного деления клеток. При колхицинировании значительная часть растений погибает.

Можно получать тетраплоидные растения ржи при проращивании семян в растворе колхицина (сухие семена в течение 3-10 дней, проросшие 4-48 часов). При этом сильно повреждаются зародышевые корни, поэтому должно быть большое количество семян.

Примеры решения задач

Виды щавеля (*Rumex*) составляют полиплоидный ряд с основным числом x , равным 10. Пользуясь знаками x и n , обозначить диплоидное число: 1) диплоидного; 2) тетраплоидного; 3) гексаплоидного; 4) октаплоидного видов.

Решение

1. Виды щавеля (*Rumex*) составляют полиплоидный ряд с основным числом x , равным 10. Где x – гаплоидное число хромосом.
2. У диплоидного вида основное число хромосом увеличено в 2 раза. Следовательно, $2n = 2x = 20$.
3. Тетраплоидный вид – основное число хромосом увеличено в 4 раза. Таким образом, $2n = 4x = 40$.
4. Гексаплоидный вид – основное число хромосом увеличено в 6 раз. Таким образом, $2n = 6x = 60$.
5. Октаплоидный вид – основное число хромосом увеличено в 8 раз. Таким образом, $2n = 8x = 80$.

Задачи для самостоятельного решения

1. У пшеницы основное число хромосом $x = 7$, а гаплоидное число n в 2 раза меньше диплоидного. Обозначить, пользуясь знаками x и n , диплоидное число хромосом пшеницы: 1) мягкой (*Triticum aestivum*) – $n = 21$; 2) твердой (*T. durum*) – $n = 14$; 3) однозернянки (*T. monosocum*) – $n = 7$.
2. Определить, какие типы гамет образуют тетраплоиды: 1) AAAa; 2) Aaaa; 3) AAaa.
3. Топинамбур (*Helianthus tuberosus*) – гексаплоидный вид ($2n = 102$). Определить гаплоидное (n) и основное (x) числа хромосом.

4. У свеклы диплоидное число хромосом $2n = 18$. Обозначить, пользуясь основным числом x :
1) триплоидные; 2) тетраплоидные; 3) пентаплоидные; 4) гексаплоидные формы.
5. У культурной сливы (*Prunus domestica*), являющейся гексаплоидным видом, основное число хромосом $x = 8$. Определить гаплоидное число n и, пользуясь знаками x и n , обозначить диплоидное число хромосом этого вида.

Инбридинг и гетерозис

Жизнеспособность потомства во многом определяется степенью родства родительских особей, участвующих в оплодотворении.

В зависимости от степени родства родительских особей различают два типа скрещиваний:

- аутбридинг;
- инбридинг.

Аутбридингом называется скрещивание неродственных особей одной породы, разных пород (кроссбридинг) и разных видов (отдаленная гибридизация).

Инбридингом называется принудительное самоопыление перекрестноопыляющихся растений или близкородственное спаривание животных.

По биологии цветения и оплодотворения растения условно делят на два типа:

- самооплодотворяющиеся;
- перекрестнооплодотворяющиеся.

Самооплодотворяющиеся растения завязывают семена и дают нормальное жизнеспособное потомство при опылении пылью своего же цветка или растения. К таким растениям относятся пшеница, ячмень, овес, рис, сорго, арахис, горох, фасоль, кормовые бобы, лен, хлопчатник, томат.

Перекрестнооплодотворяющиеся растения могут завязывать семена и дать жизнеспособное потомство только при аутбридинге, т.е. при опылении пылью других растений. К ним относятся рожь, кукуруза, люцерна, клевер, свекла, капуста, яблоня, земляника.

У растений инбридинг характеризуется рядом особенностей:

- низкой завязываемостью семян;
- инбредной депрессией потомства;
- дифференциацией исходной популяции на четко различимые инбредные линии;
- выравненностью растений в пределах одной инбредной линии.

Снижение жизнеспособности и продуктивности у растений, полученных в результате принудительного самооплодотворения, называется **инбредной депрессией**, или **вырождением**. Потомство инбридинга называют **инбредной линией** и обозначают латинской буквой I, а число поколений, в которых повторялся инбридинг, – стоящей внизу цифрой: однократное самоопыление I₁, двукратное I₂ и т. д. (рис. 11).

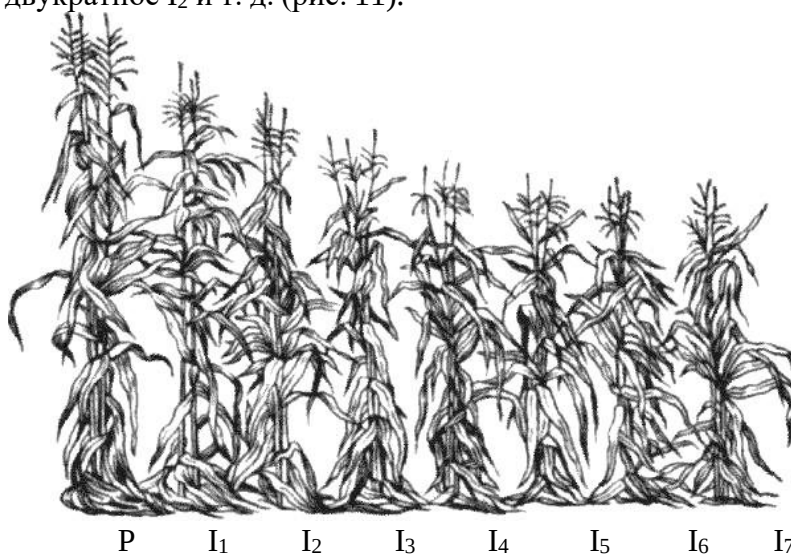


Рисунок 11. Инбредная депрессия у кукурузы в поколениях инбридинга

В 5-7-м поколениях потомство инбредной линии становится практически константным. К этому времени растения достигают так называемого **инбредного минимума** и при дальнейшем инбридинге снижения их продуктивности и жизнеспособности не наблюдается.

В результате инбридинга происходит разложение исходной гетерозиготной популяции на ряд генотипически различных линий. Чем больше число генов, по которым гетерозиготна исходная популяция, тем больше инбредных линий в ней можно выделить.

Растения в пределах одной инбредной линии с каждым поколением инбридинга становятся более однотипными и гомозиготными. Предполагают, что одной из причин инбредной депрессии является переход в гомозиготное состояние летальных и сублетальных рецессивных генов, снижающих жизнеспособность и продуктивность растений.

При инбридинге в каждом поколении повышается доля гомозиготных особей. Например, у растения с генотипом Аа в результате инбридинга при условиях равновероятной встречаемости гамет, имеющих аллели А и а, и равновероятной выживаемости гетерозигот Аа и гомозигот АА и аа в I_1 частота гетерозиготных растений уменьшится вдвое: 25% АА : 50% Аа : 25% аа. При повторном инбридинге в I_2 частота гетерозигот снова уменьшится вдвое: 37,5% АА : 25% Аа : 37,5% аа. Таким образом, в каждом поколении инбридинга доля гетерозигот уменьшается вдвое по сравнению с предыдущим поколением, а доля гомозигот соответствующим образом увеличивается.

При инбридинге относительную численность гетерозигот по одной паре аллелей определяют по формуле:

$$(1/2)^n$$

Численность гомозигот равна:

$$1 - (1/2)^n,$$

где n – число инбредных поколений.

Явления увеличения мощности и жизнеспособности, повышения продуктивности гибридов первого поколения по сравнению с их родительскими формами называются **гетерозисом**. Понятие о гетерозисе как проявлении «гибридной силы» было введено в науку американским генетиком В. Шеллом в 1914 г. Гетерозис характерен для растений и животных.

Эффект гетерозиса максимально проявляется только в первом поколении, резко снижаясь уже во втором и последующих поколениях.

Впервые это явление у растений было обнаружено в 1772 г. И. Кельрейтером при скрещивании двух видов табака.

Гетерозис у гибридов проявляется в усилении роста, большей урожайности зеленой массы, зерна, клубней, более интенсивном обмене веществ и т.п. Самое главное преимущество гетерозисных гибридов – повышенная их урожайность. В среднем по всем сельскохозяйственным культурам прибавка урожая у гетерозисных гибридов F_1 составляет 15-30%. По зерну гетерозис составляет: у кукурузы – до 30%, у сорго – до 50%, у подсолнечника – до 30%. По зеленой массе у сорго – до 200%, по листьям у табака – до 40%, по сухому веществу у свеклы – до 30%, по выходу волокна у хлопчатника – до 30%.

Гетерозису противостоит инбредная депрессия, которая наблюдается при близкородственном скрещивании (инбридинге). Она приводит к гомоготизации и проявлению рецессивных признаков, которые нередко связаны с различными заболеваниями.

Для растений выделены три формы гетерозиса – **репродуктивный** (выражается в лучшем развитии органов размножения растений, повышенной фертильности, большем урожае плодов и семян) (рис. 12), **соматический** (увеличение размеров и массы гибридов) и **адаптивный** (повышает приспособленность к неблагоприятным факторам среды).

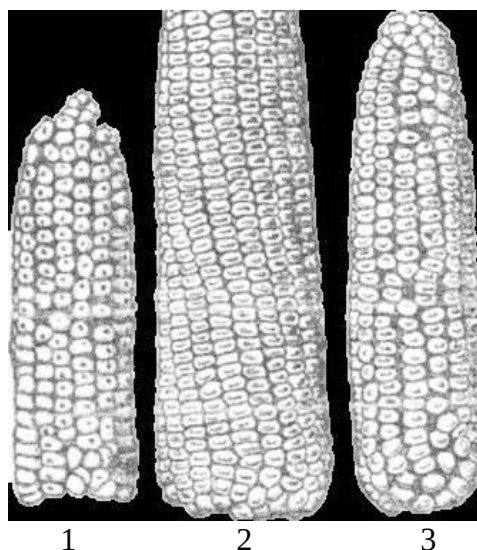


Рисунок 12. Репродуктивный гетерозис у кукурузы
1, 3 – початки родительских растений, 2 – початок гибрида F_1

Количество гибридов в диаллельных скрещиваниях, производимых для определения специфической комбинационной способности, находят по формуле:

$$K = \frac{n \times (n-1)}{2},$$

где K – количество получаемых гибридов (без реципрокных скрещиваний);
 n – число анализируемых линий.

Величину снижения урожайности у гибридов F_2 можно вычислить заранее, используя формулу:

$$F_2 = F_1 - \frac{F_1 - P}{n},$$

где F_2 – вычисляемая величина урожая гибридов второго поколения;
 F_1 – фактически полученный урожай гибридов первого поколения;
 P – средняя урожайность скрещиваемых самоопыляемых линий;
 n – число самоопыленных линий, входящих в состав гибрида.

В генетических исследованиях гибриды оценивают по степени проявления **истинного**, **гипотетического** и **конкурсного гетерозиса** (виды гетерозиса).

Гипотетический гетерозис ($\Gamma_{\text{гип}}$) – отношение превышения данного признака над средним его показателем у родительских форм к среднему показателю у родительских форм – определяют по формуле:

$$\Gamma_{\text{гип}} = \frac{F_1 - P_{\text{ср.}}}{P_{\text{ср.}}} \times 100\%,$$

где F_1 – среднее значение признака первого поколения гибридов, $P_{\text{ср.}}$ – среднее значение признака обоих родителей.

Истинный гетерозис ($\Gamma_{\text{ист}}$) – способность гибридов F_1 превосходить по данному признаку лучшую из родительских форм – определяют по формуле:

$$\Gamma_{\text{ист}} = \frac{F_1 - P_{\text{лучш.}}}{P_{\text{лучш.}}} \times 100\%,$$

где F_1 – среднее значение признака первого поколения гибридов, $P_{\text{лучш.}}$ – средний показатель лучшей родительской формы.

Истинный и гипотетический гетерозис не свидетельствует о практической ценности данной гибридной комбинации. Эту ценность определяет в первую очередь **конкурсный гетерозис** ($\Gamma_{\text{конк}}$). Он показывает, на сколько процентов растения гибрида F_1 по значению данного признака превышают лучший районированный сорт или гибрид. Конкурсный гетерозис вычисляют по формуле:

$$\Gamma_{\text{конк}} = \frac{F_1 - K}{K} \times 100\%,$$

где F_1 – среднее значение признака первого поколения гибридов, K – среднее значение признака у контроля (стандарта).

Гибриды оценивают по степени проявления гетерозиса. При этом большое внимание уделяют степени наследования соответствующего количественного признака. Степень наследования определяют по коэффициенту доминирования (H).

Коэффициент доминирования характеризует степень фенотипического проявления одного или нескольких доминантных генов, детерминирующих развитие данного количественного признака, показывает, во сколько раз величина признака у растений F_1 превышает среднее его значение у растений родительских сортов.

Коэффициент доминирования рассчитывают по формуле:

$$H = \frac{F_1 - P_{\text{ср.}}}{P_{\text{лучш.}} - P_{\text{ср.}}}$$

В зависимости от значения коэффициента доминирования устанавливают степень и характер проявления количественного признака у гибридов F_1 и возможность проявления гетерозиса в данной комбинации.

Сверхдоминирование родительской формы с меньшей величиной признака: $H < -1$.

Полное доминирование родительской формы с меньшей величиной признака: $H = -1$.

Неполное доминирование родительской формы с меньшей величиной признака: $-1 < H < 0$.

Промежуточный характер наследования: $H = 0$.

Неполное доминирование родительской формы с большей величиной признака: $+1 > H > 0$.

Полное доминирование лучшей родительской формы с большей величиной признака: $H = +1$.

Сверхдоминирование – гетерозис: $H > +1$.

Примеры решения задач

Определить число гетерозиготных форм по одной паре аллелей после четырех последовательных поколений инбридинга.

Решение

1. При инбридинге относительную численность гетерозигот по одной паре аллелей определяют по формуле $(1/2)^n$.
2. Таким образом, число гетерозиготных форм по одной паре аллелей после четырех последовательных поколений инбридинга составит: $(1/2)^4 = 1/16$.

Двойной межлинейный гибрид, давший в первом поколении урожай 60 ц с 1 га, получен от скрещивания четырех самоопыленных линий, средняя урожайность которых 16 ц с 1 га. Определить урожайность этого гибрида во втором поколении.

Решение

1. При расчете величины снижения урожайности у гибридов F_2 воспользуемся формулой:
$$F_2 = F_1 - (F_1 - P)/n.$$
2. По условию задачи $F_1 = 60$ ц с га; средняя урожайность скрещиваемых самоопыляемых линий (P) = 16 ц/га; число самоопыляемых линий, входящих в состав гибрида (n) = 4.
3. Таким образом, $F_2 = 60 - (60 - 16) / 4 = 60 - 11 = 49$ ц с га.

Анализ початков самоопыленных родительских линий и гибридов первого поколения по длине початка и числу рядков в початке показал:

Признаки	Родительские линии Р		Гибрид F_1	Сорт контроль
	материнская	отцовская		
длина початка	15	12	25	20
число рядков в початке	14	14	14	14

- 1) Определите гипотетический гетерозис по изучаемым признакам.
- 2) Определите истинный гетерозис по изучаемым признакам.
- 3) Определите конкурсный гетерозис по изучаемым признакам.
- 4) Определите степень наследования признаков по коэффициенту доминирования.

Решение

1. На основании представленных данных определяем гипотетический гетерозис по изучаемым признакам по формуле:
$$\Gamma_{\text{гип}} = \frac{25 - 13,5}{13,5} \times 100\% = 85,2\%$$
$$\Gamma_{\text{гип}} = \frac{14 - 14}{14} \times 100\% = 0\%$$
2. На основании представленных данных определяем истинный гетерозис по изучаемым признакам по формуле:
$$\Gamma_{\text{ист}} = \frac{25 - 15}{15} \times 100\% = 66,7\%$$
$$\Gamma_{\text{ист}} = \frac{14 - 14}{14} \times 100\% = 0\%$$
3. Конкурсный гетерозис определяем с учетом имеющейся характеристики районированного сорта или гибрида по формуле:
$$\Gamma_{\text{конк}} = \frac{25 - 20}{20} \times 100\% = 25,0\%$$
$$\Gamma_{\text{конк}} = \frac{14 - 14}{14} \times 100\% = 0\%$$
4. Определяем коэффициент доминирования у гибридов F_1 кукурузы по формуле:
$$H = \frac{25 - 13,5}{15 - 13,5} = 7,7 \text{ (сверхдоминирование)}$$
$$H = \frac{14 - 14}{14 - 14} = 0,0 \text{ (промежуточное наследование)}$$

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить количество простых межлинейных гибридов, получаемых для оценки специфической комбинационной способности: 1) 50 самоопыленных линий; 2) 36 самоопыленных линий; 3) 15 самоопыленных линий во всех реципрокных скрещиваниях.
2. Урожайность самоопыленных линий, входящих в состав двойного межлинейного гибрида, составляет 14, 13, 10 и 15 ц с га, а урожай первого поколения этого гибрида равен 53 ц с 1 га. Определить, насколько снизится урожай у этого гибрида после первого пересева семян первого урожая.
3. В первом поколении гибрида ячменя число гетерозиготных форм по паре аллелей составляет 100%. Определить долю гомозиготных форм в потомстве этого растения после самоопыления в F_5 .
4. Определить число гетерозиготных форм по одной паре аллелей после: 1) шести; 2) восьми последовательных поколений инбридинга.
5. Анализ початков самоопыленных родительских линий и гибридов первого поколения по числу зерен в рядке показал:

Признаки	Родительские линии Р		Гибрид F_1	Сорт контроль
	материнская	отцовская		
число зерен в рядке	26	22	46	40

- 1) Определите гипотетический гетерозис по изучаемым признакам.
- 2) Определите истинный гетерозис по изучаемым признакам.
- 3) Определите конкурсный гетерозис по изучаемым признакам.
- 4) Определите степень наследования признаков по коэффициенту доминирования.
6. Анализ початков самоопыленных родительских линий и гибридов первого поколения по числу зерен и массе зерна в початке показал:

Признаки	Родительские линии Р		Гибрид F_1	Сорт контроль
	материнская	отцовская		
число зерен в початке	364	396	644	560
масса зерна с початка	95	82	188	165

- 1) Определите гипотетический гетерозис по изучаемым признакам.
- 2) Определите истинный гетерозис по изучаемым признакам.
- 3) Определите конкурсный гетерозис по изучаемым признакам.
- 4) Определите степень наследования признаков по коэффициенту доминирования.

Генетика популяций

Популяция – группа особей одного вида, обладающих морфологическим и другим сходством и свободно скрещивающихся между собой и с особями других популяций данного вида.

В генетике популяций изучаются закономерности распределения генов и генотипов в популяциях, устанавливается количественное соотношение носителей отдельных генов и генотипов и пути изменения генотипов в поколениях.

В 1908 г. английский математик Харди и немецкий врач Вайнберг провели теоретический анализ поведения генов в идеальной, панмиктической популяции.

Панмиктическая популяция отвечает следующим условиям:

- 1) Имеется свободное (случайное) скрещивание;
- 2) Отсутствие оттока генов за счет отбора и элиминации организмов – носителей генов или эмиграции части популяции;
- 3) Отсутствие притока генов за счет мутаций или миграции особей из другой популяции извне;
- 4) Имеется равная плодовитость и выживаемость гомозигот и гетерозигот.

Первое положение закона Харди-Вайнберга гласит: сумма частот аллелей одного гена в данной популяции есть величина постоянная и выражается формулой $p + q = 1$, где p – число доминантных аллелей гена A , q – число рецессивных аллелей того же гена a . Соотношение аллелей гена в популяции выражается либо в долях единицы, либо в процентах ($p + q = 100\%$). В популяции с перекрестным оплодотворением число аллелей данного гена будет в 2 раза больше числа особей (одна диплоидная особь несет 2 гена).

Соотношение аллелей данного гена может быть разным. Доминантных может быть 30%, рецессивных 70% ($p = 0,3$, $q = 0,7$) или 80% ($p = 0,8$, $q = 0,2$) и т.д.

Существуют аллели настолько редкие, что частота их встречаемости составляет тысячные или миллионные доли единицы.

Частота встречаемости аллеля данного гена зависит от адаптивной значимости признака, который формируется у организмов под влиянием этого гена, и устанавливается естественным отбором.

Второе положение закона Харди-Вайнберга гласит: сумма частот генотипов в данной популяции по аллельным состояниям есть величина постоянная, а распределение генотипов соответствует формуле $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, где p^2 – число гомозигот по доминантному аллелю A (генотип AA), $2pq$ – число гетерозигот (генотип Aa), q^2 – число гомозиготных особей по рецессивным аллелям (генотип aa).

В равновесной популяции женские и мужские особи дают одинаковое число гамет с аллелью A и с аллелью a .

Число генотипов рассчитывается простым перемножением величин частот женских и мужских гамет: ♀ $(p + q) \times$ ♂ $(p + q) = p^2 + 2pq + q^2$.

Например, при соотношении аллелей $p = 0,8$, $q = 0,2$ соотношение генотипов в популяции будет $p^2 = 0,64$; $2pq = 0,32$; $q^2 = 0,04$, т.е. число гомозигот AA в популяции равно 64%, гетерозигот $Aa = 32\%$, гомозигот $aa = 4\%$.

В последующих поколениях данной популяции частота генов и генотипов сохранится. Действительно, в популяции, состоящей из особей AA (p^2) = 64%, Aa ($2pq$) = 32%, aa (q^2) – 4%, образуется гамет: $(A) - 64\%$, $(a) - 4\%$, 32% Aa дадут гаметы $(A) - 16\%$, гаметы $(a) - 16\%$. Во втором поколении число гамет $(A) = 64\% + 16\% = 80\%$ (0,8), число гамет $a = 4\% + 16\% = 20\%$ (0,2). Соотношение гамет во втором поколении осталось прежним.

Если ген имеет не два, а три аллеля в популяции, то частота аллелей выражается $p + q + r = 1$, а частота генотипов как $p^2 + q^2 + r^2 + 2pq + 2pr + 2qr = 1$.

В самооплодотворяющихся популяциях (например, при искусственном получении гибрида в скрещивании растений гороха с красными и белыми цветками) в потомстве второго поколения имеет место расщепление в отношении $1AA : 2Aa : 1aa$, или в процентном отношении $25AA : 50Aa : 25aa$. Однако в последующих поколениях происходит увеличение доли гомозигот (AA, aa) и уменьшение доли гетерозигот (Aa) в силу того, что при каждом цикле размножения гетерозиготные организмы добавляют 25% своей численности к генотипам AA и 25% к генотипам aa. Наблюдается процесс *гомозиготизации*. В случае, если при самооплодотворении мы имеем дело с типичным соотношением во втором гибридном поколении $1AA : 2Aa : 1aa$, то соотношение гомо- и гетерозигот в ряду поколений легко рассчитать по формуле:

$$\frac{1AA}{2^n-1} \quad \frac{2Aa}{2} \quad \frac{1aa}{2^n-1}, \text{ где } n - \text{число поколений.}$$

Например, через 5 поколений соотношение гомо- и гетерозигот у самооплодотворяющегося организма будет $2^5 - 1 = 32 - 1 = 31/32$ AA : $2/32$ Aa : $31/32$ aa. На 62 гомозиготы приходится 2 гетерозиготы.

Если в популяции самооплодотворяющихся организмов коэффициенты генотипов имеют иное соотношение, то расчет ведется по формуле:

а) гомозигота AA: $2^n \times (2 \times K_{AA} + K_{Aa}) - K_{Aa}$;

б) гомозигота aa: $2^n \times (2 \times K_{aa} + K_{Aa}) - K_{Aa}$;

в) гетерозигота Aa: $2 \times K_{Aa}$,

где 2^n – число поколений, K_{AA} – коэффициент доминантных гомозигот, K_{Aa} – коэффициент гетерозигот, K_{aa} – коэффициент рецессивных гомозигот.

Примеры решения задач

Врождённый вывих бедра наследуется доминантно, средняя пенетрантность гена 25%. Заболевание встречается с частотой 6 : 10 000. Определите число гомозиготных особей по рецессивному гену.

Решение:

1. Из условия задачи известно, что в формуле Харди-Вайнберга нам известна частота встречаемости генотипов AA и Aa ($p^2 + 2pq$). Необходимо найти q^2 .
2. $q^2 = 1 - (p^2 + 2pq)$. Но число больных (6 : 10000) представляет собой не $p^2 + 2pq$, а только 25% носителей гена; действительное число больных в 4 раза больше: 24 : 10000.
3. Тогда $q^2 = 1 - 24 : 10000 = 0,9976$ или 9976 : 10000, что примерно равно 1 : 10.

Болезнь Тей-Сакса, обусловленная аутосомным рецессивным геном, неизлечима; люди, страдающие этим заболеванием, умирают в детстве. В одной из больших популяций частота рождения больных детей составляет 1 : 5000. Изменится ли концентрация патологического гена и частота этого заболевания в следующем поколении данной популяции?

Решение:

1. В формуле Харди-Вайнберга нам известно лишь q^2 (1 : 5000 = 0,002). Ген данного заболевания перейдет к следующему поколению только от гетерозиготных родителей, поэтому необходимо найти $2pq$.
2. Определяем $q = 0,014$; $p = 1 - 0,014 = 0,986$; $2pq = 2(0,986 \times 0,014) = 0,028$.

3. В следующем поколении ген болезни будет у 50% гамет у гетерозигот, его концентрация в генофонде около 0,014. Отсюда вероятность рождения больных детей $q^2 = 0,000196$, или $0,000196 / 0,0002 = 0,98$ на 5000 населения. Поэтому делаем вывод, что в следующем поколении частота заболевания практически не изменится.

Кистозный фиброз поджелудочной железы поражает индивидуумов с рецессивным гомозиготным фенотипом и встречается среди населения с частотой 1 на 2000. Вычислите частоту носителей гена кистозного фиброза.

Решение:

1. По формуле Харди-Вайнберга $q^2 = 1 : 2000$, или 0,0005; $q = 0,0224$.
2. $p = 1 - q = 1 - 0,0224 = 0,974$.
3. $2pq = 0,044$, т.е. носители рецессивного гена кистозного фиброза поджелудочной железы составляют около 4,4% от популяции.

В выборке, состоящей из 84000 растений ржи, 210 растений оказались альбиносами, так как у них рецессивные гены находятся в гомозиготном состоянии. Определить частоты аллелей А и а и относительную частоту гомозигот и гетерозигот.

Решение:

1. В формуле Харди-Вайнберга $q^2 = 210 : 84000 = 0,0025$ (25%); отсюда $q = 0,05$.
2. Определим частоту гена p : $p = 1 - q = 1 - 0,05 = 0,95$.
3. Частота генотипа $p^2 = 0,95^2 = 0,9025$, или 90,25%.
4. Частота гетерозигот $2pq = 2 \times 0,95 \times 0,05 = 0,095$, или 9,5%.

У сорта кукурузы альбиносные растения (аа) встречаются с частотой 0,0025. Определите частоту аллелей А и а и частоту генотипов АА и Аа

Решение:

1. Частота $q^2 = 0,0025$ (0,25%), следовательно, частота $q = 0,05$.
2. По формуле $p + q = 1$ находим $p = 1 - 0,05 = 0,95$.
3. Частота $AA = p^2 = 0,9025$ (90,25%).
4. Частота $Aa = 2pq = 2 \times 0,95 \times 0,05 = 0,0950$ (9,5%).

На пустынный островок случайно попало 6 зерен пшеницы: одно гетерозиготное, три гомозиготных по доминантному аллелю и два – по рецессивному. Четыре зерна были красными (А – красная окраска семян, аа – белая) и два белыми. Каково будет соотношение красных и белых семян в этой популяции через 5 лет?

Решение:

1. Исходная самооплодотворяющаяся популяция, $3AA : 1Aa : 2aa$.
2. При одинаковом коэффициенте размножения соотношение красных и белых семян окажется:

$$AA = 2^n \times (2 \times K_{AA} + K_{Aa}) - K_{Aa} = 2^5 \times (2 \times 3 + 1) - 1 = 32 \times 7 - 1 = 223$$

$$aa = 2^n \times (2 \times K_{aa} + K_{Aa}) - K_{Aa} = 2^5 \times (2 \times 2 + 1) - 1 = 32 \times 5 - 1 = 159$$

$$Aa = 2 \times 1 = 2$$

3. Таким образом, в популяции соотношение красных и белых зерен составит: $223 + 2 = 225$ красных и 159 белых.

Задачи для самостоятельного решения

1. Доля особей AA в большой панмиктической популяции равна 0,09. Какая часть популяции гетерозиготна по гену A?
2. В популяции мышей есть два аллеля (A_1 и A_2). Исследования показали, что в этой популяции есть 384 мыши генотипа A_1A_1 , 210 – A_1A_2 и 260 – A_2A_2 . Каковы частоты этих двух аллелей в популяции?
3. Выборка растений оказалась состоящей из 128 гетерозигот Aa. Определить частоту доминантного аллеля A и частоту рецессивного аллеля a в долях единицы и в процентах от общего числа аллелей ($A + a$).
4. В популяции, подчиняющейся закону Харди-Вайнберга, частоты аллелей A и a равны соответственно 0,8 и 0,2. Определить частоты гомозигот и гетерозигот по этим генам в первой генерации.
5. Популяция состоит из 80% особей с генотипом AA и 20% с генотипом aa. Определить в долях единицы частоты генотипов AA, Aa и aa после установления равновесия в популяции.
6. Определить частоту доминантного (p) и рецессивного (q) аллелей в следующих выборках из популяций: а) 400 особей CC и 100 особей cc; б) 700 особей AA и 300 особей aa; в) 180 особей MM и 20 особей mm; 4) 60 особей NN и 40 особей nn.
7. Популяция включает 400 особей, из них с генотипами AA – 20, Aa – 120 и aa – 260 особей. Определить частоты генов A и a.
8. Определите частоты генотипов AA, Aa и aa (в %), если гомозиготные особи aa составляют в популяции 1%.
9. Каким будет процент гетерозигот среди черных мышей, если число белых особей равно 1,6%, а популяция этих животных находится в равновесном состоянии?
10. В популяции лисиц на 1000 особей встречаются 10 белых особей, остальные рыжие. Рыжий цвет доминирует над белым. Определить процентное соотношение рыжих гомозиготных, рыжих гетерозиготных и белых лисиц в данной популяции.
11. Популяция состоит из 80% особей с генотипом AA и 20% с генотипом aa. Определить частоты генотипов AA, Aa, aa (в долях единицы) после установления равновесия в популяции.
12. Определить вероятное количество гетерозигот в шиншилловом стаде кроликов, насчитывающем 500 животных, если в нем выщепляется примерно 4% альбиносов. Каким будет количество гетерозигот в этом же стаде, если альбиносов 10%?
13. В популяции озерной лягушки появилось потомство – 420 особей с темными пятнами (доминантный признак) и 80 особей со светлыми пятнами. Определить частоту встречаемости рецессивного гена и число гетерозигот среди особей с темными пятнами.

14. У крупного рогатого скота породы шортгорн красная масть не полностью доминирует над белой. Гибриды от скрещивания красных с белыми имеют чалую масть. В районе, специализирующемся на разведении шортгорнов, зарегистрировано 4169 красных особей, 3780 чалых и 756 белых. Определить частоту генов красной и белой окраски скота в данном районе.
15. Как изменится равновесное распределение генотипов в популяции $0,49AA + 0,42Aa + 0,09aa$ при установлении новой концентрации аллелей: $A = 0,6$, $a = 0,4$?
16. Определить частоты генотипов AA , Aa и aa (в %), если гомозиготные особи aa составляют в популяции 1%.
17. Соответствует ли формуле Харди-Вайнберга соотношение гомозигот и гетерозигот в популяции $239AA : 79Aa : 6aa$?
18. Доля особей aa в панмиктической популяции равна 0,49. Какая часть популяции гетерозиготна по гену A ?
19. Группа особей состоит из 30 гетерозигот. Определить частоты генов A и a .
20. Определить частоты аллелей A и a в популяциях: а) $AA = 36\%$, $Aa = 48\%$, $aa = 16\%$; б) $AA = 64\%$, $Aa = 32\%$, $aa = 4\%$; в) $AA = 49\%$, $Aa = 42\%$, $aa = 9\%$.
21. Фермер обнаружил, что в его стаде, насчитывающем около 8100 птиц, обнаружена одна птица с нежелательным признаком, который затрагивает оперение. Известно, что он наследуется как аутосомный рецессивный признак. Как много птиц в стаде, состоящем из 8100 особей, несут нежелательный ген?
22. Соответствует ли формуле Харди-Вайнберга такое соотношение гомозигот и гетерозигот в популяции: $4096AA : 4608Aa : 1296aa$?
23. Доля особей AA в большой панмиктической популяции равна 0,09. Какая часть популяции гетерозиготна по гену A ?
24. Популяция имеет состав $0,2AA : 0,3Aa : 0,5aa$. Определить частоты аллелей A и a .
25. Как изменится частота аллелей, если организмы от панмиксии перейдут к самооплодотворению? Примеры исходного соотношения генотипов $1AA : 2Aa : 1aa$; $0,12AA : 0,48Aa : 0,40aa$.
26. Популяция состоит из 49% особей с генотипом AA и 9% с генотипом aa . Находится ли эта популяция в равновесии?
27. В популяции дрозофилы частота аллеля b (черная окраска тела) равна 0,1. Определить частоты серых и черных мух в популяции, а также гомозиготных и гетерозиготных особей. Черных 0,01, серых 0,99, доминантных гомозигот 0,81, рецессивных гомозигот 0,01, гетерозигот
28. В одной популяции имеются три генотипа по аутосомному локусу в соотношении $9/16AA$, $6/16Aa$, $1/16aa$; а) находится ли данная популяция в состоянии генетического равновесия? б) рассчитать генотипический состав популяции следующего поколения, полученного в

результате перекрестного оплодотворения; в) будет ли эта популяция находиться в состоянии генетического равновесия.

29. Что произойдет с популяцией, подчиняющейся закону Харди-Вайнберга, за 10 поколений, если исходное соотношение генотипов в ней $0,2AA : 0,4Aa : 0,4aa$?

30. Если в популяции особи с доминантным фенотипом составляют 5%, то какой процент от общего числа особей должны составлять гетерозиготные особи и доминантные гомозиготы? Какое скрещивание в такой популяции будет происходить чаще: $Aa \times aa$ или $AA \times aa$?

31. У гречихи ярко-красная окраска растений неполно доминирует над зеленой. Гетерозиготы имеют розовую окраску. В панмиктической популяции, состоящей из 840 растений, оказалось 42 красных растения. Определить частоту встречаемости гомозиготных растений.

32. Доля особей с рецессивным сцепленным с полом признаком равна среди самок 19,39%. Каков процент самцов, обладающих данным признаком?

33. Определить частоту аутосомного доминантного гена А (появление у кошек белых пятен на теле, белого треугольника на шее и белых кончиков лап), если из 420 встреченных на улицах кошек 350 были пятнистыми.

34. Частота рецессивного аутосомного гена длинной шерсти у кошек в Среднем Поволжье составляет 0,56, а на Дальнем Востоке – 0,23. Какова вероятность встретить длинношерстное животное в Казани и Владивостоке?

35. Соотношение генотипов в выборке следующее: $7aa$, $1AA$, $1Aa$. Определите генотипическую структуру популяции в пятом поколении в случае самоопыления и панмиксии.

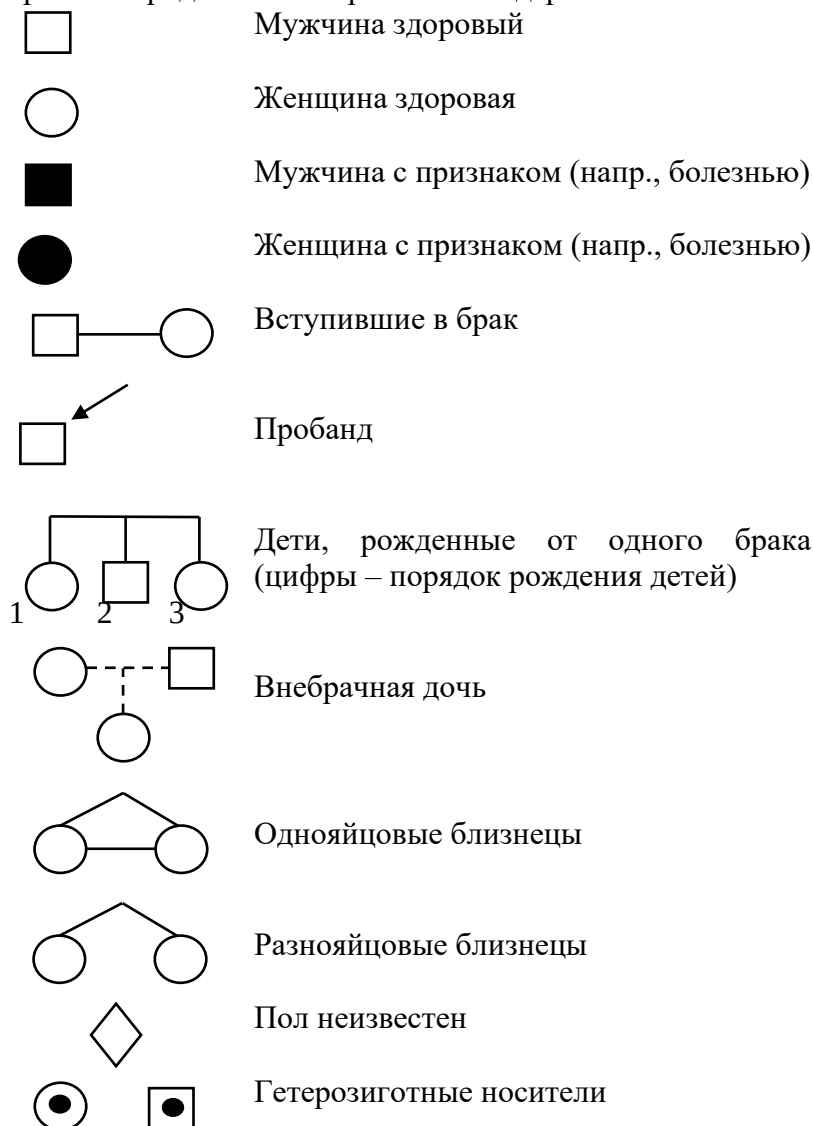
36. Взяты четыре растения гороха красноцветковых гетерозиготных (Aa) и 1 красноцветковое гомозиготное (AA). Определите соотношение генотипов и фенотипов в популяции в четвертом поколении.

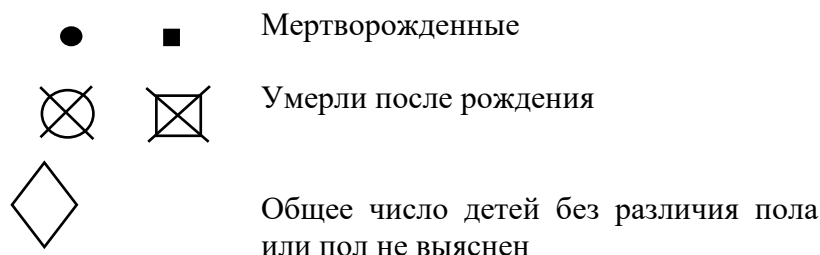
Анализ родословных

Генетический метод анализа родословных, получивший название *генеалогического метода*, широко применяется при изучении наследственных признаков у человека. Генеалогический метод введен в конце 19 в. Ф. Гальтоном. Генеалогический анализ позволяет установить:

1. Характер признака (наследственный или ненаследственный);
2. Тип наследования (доминантный, сцепленный с полом и др.);
3. Зиготность пробанда и возможный генотип членов родословной;
4. Частоту встречаемости и степень выраженности признака (болезни).

Составление родословных начинается от *пробанда* – лица, по отношению к которому проводится исследование (в родословной обозначается стрелкой). Им может быть больной или здоровый человек – носитель какого-либо признака или лицо, обратившееся за советом к врачу-генетику. Родные братья и сестры пробанда называются *сибсами*, двоюродные – *полусибсами*. Чаще родословная составляется по одному признаку, но может составляться и по нескольким. Метод состоит из двух этапов – составления родословной и ее анализа. Для графического изображения родословной приняты стандартные символы:





При составлении родословной поколения обозначают римскими цифрами сверху вниз. Потомство одного поколения располагается в одном горизонтальном ряду, каждый член этого поколения (в том числе мужья и жены) обозначаются арабскими цифрами слева направо.

После составления родословной начинается второй этап – генеалогический анализ, способствующий установлению закономерностей.

Типы наследования наследственных признаков у человека условно можно разделить на:

1. Аутосомно-доминантное

- проявляется в каждом поколении (рис. 13);
- независимо от пола;
- по горизонтали в небольшом числе;
 - вероятность рождения больного ребенка у здоровых родителей составляет 0%.
 - больной ребенок рождается у больных родителей с вероятностью 100%, если они гомозиготны, 75%, если они гетерозиготны.

Примеры: хорea Хантингтона, синдром Марфана, нейрофиброматоз типа I, брахидактилия (короткопалость).

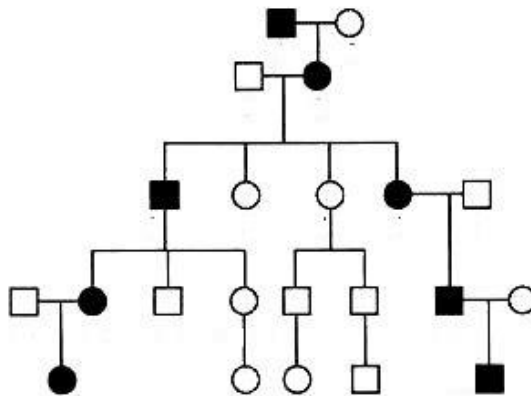


Рисунок 13. Наследование синдрома Марфана

2. Аутосомно-рецессивное

- у здоровых родителей рождаются больные дети (25%), здоровые (25%), носители (50%);
- число носителей признака в родословной небольшое
- проявляется не в каждом поколении
- распределение по полу в равном числе

Примеры: муковисцидоз, фенилкетонурия (рис. 14), галактоземия, адреногенитальный синдром, мукополисахаридозы. На сегодняшний день известно всего более 1600 аутосомно-рецессивных заболеваний. Основные методы их предупреждения – медико-генетическое консультирование семей и дородовая диагностика (в случае заболеваний, для которых разработаны методы внутриутробной диагностики).

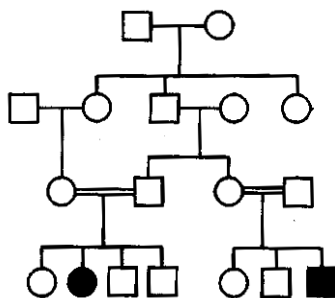


Рисунок 14. Наследование фенилкетонурии

3. Рecessивное, связанное с X-хромосомой (рис. 15)

- страдают, как правило, мужчины (у женщин проявляется лишь в гомозиготном состоянии, что наблюдается крайне редко);
- может не проявляться в одном поколении, но проявиться в следующем (признак (заболевание) передается от больного отца через его фенотипически здоровых дочерей половине его внуков);
- заболевание никогда не передается от отца к сыну.

Примеры: гемофилия А

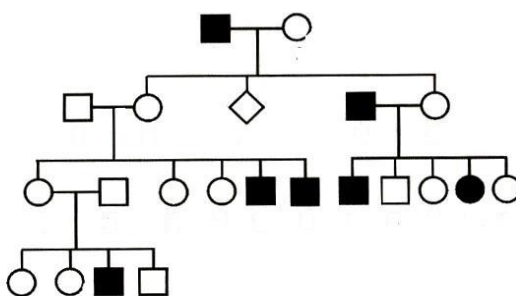


Рисунок 15. Наследование гемофилии

4. Доминантное, связанное с X-хромосомой

- встречается в 2 раза чаще у женщин (рис. 16)
- мужчины передают ген болезни только дочерям, но не сыновьям
- больные женщины передают мутантный аллель половине своих детей независимо от пола
- проявляется в каждом поколении

Примеры: витамин-Д-резистентный рахит, рото-лицепальцевый синдром (множественные гиперплазированные уздечки языка, расщелины губы и нёба, гипоплазия крыльев носа, асимметричное укорочение пальцев).

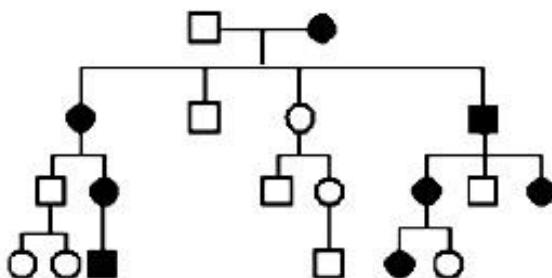


Рисунок 16. Доминантное, связанное с X-хромосомой наследование

5. Наследование, связанное с Y-хромосомой (голандрическое наследование) (рис. 17)

- передается только от отца к сыновьям.

В настоящее время в Y-хромосоме выявлена локализация около 20 генов, в том числе генов, детерминирующих развитие семенников, отвечающих за сперматогенез, контролирующих интенсивность роста, определяющих гипертрихоз (оволосение) ушной раковины, средних фаланг кистей, и некоторые другие признаки. Патологические мутации, обуславливающие нарушения формирования семенников или сперматогенеза, не наследуются в связи со стерильностью их носителей.

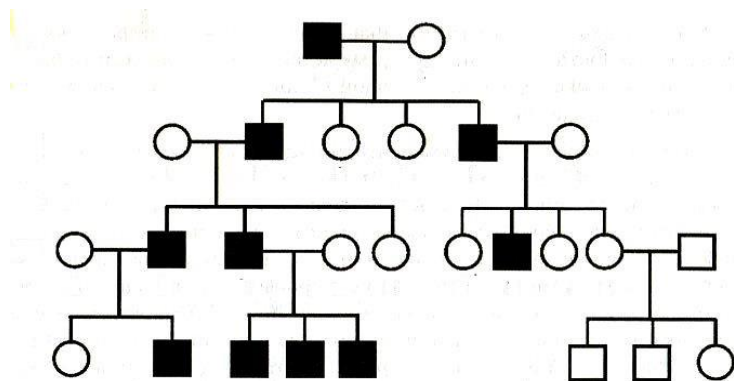


Рисунок 17. Наследование гипертрихоза ушной раковины (голандрическое наследование)

6. Аутосомный, зависимый от пола признак проявляется только у мужчин в последовательных поколениях, в том числе у гетерозигот; гетерозиготная по этому признаку женщина, у которой он не проявляется, может передать его сыну. Гетерозиготный отец может передать и не передать его сыну.

Алгоритм решения задач

1. Определить тип наследования признака – доминантный или рецессивный. Для этого необходимо ответить на следующие вопросы:

- ♦ признак встречается во всех поколениях?
- ♦ часто ли встречается признак?
- ♦ проявляется ли признак у детей, если у родителей его нет?
- ♦ отсутствует ли признак у детей, если оба родителя его имеют?
- ♦ какая часть потомства несет признак в семьях, если его обладателем является один из родителей?

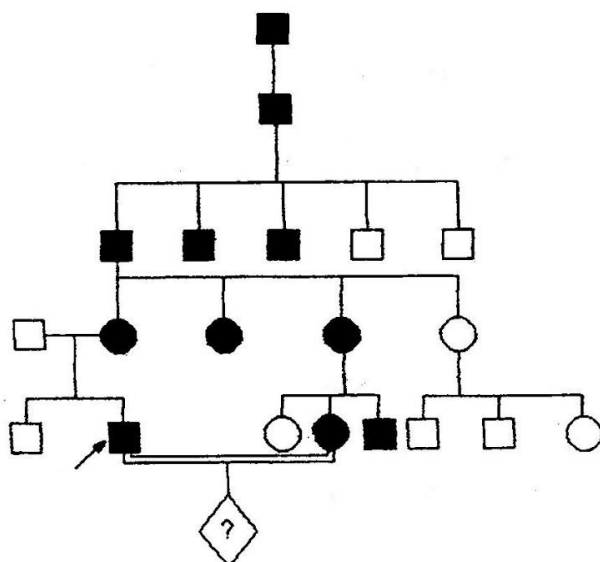
2. Определить, наследуется ли признак сцепленно с полом. Для этого необходимо ответить на следующие вопросы:

- ♦ как часто встречается признак у лиц обоих полов (если встречается редко, то лица какого пола несут его чаще)?
- ♦ лица какого пола наследуют признак от отца и матери, несущих признак?

3. Выяснить формулу расщепления потомков в одном поколении. Исходя из анализа, определить генотипы всех членов родословной.

Примеры решения задач

Пробанд страдает ночной слепотой. Его два брата также больны. По линии отца пробанда страдающих ночной слепотой не было. Мать пробанда больна. Две сестры и два брата матери пробанда здоровы. Они имеют только здоровых детей. По материнской линии известно, что бабушка больна, дедушка здоров; сестра бабушки больна, а брат

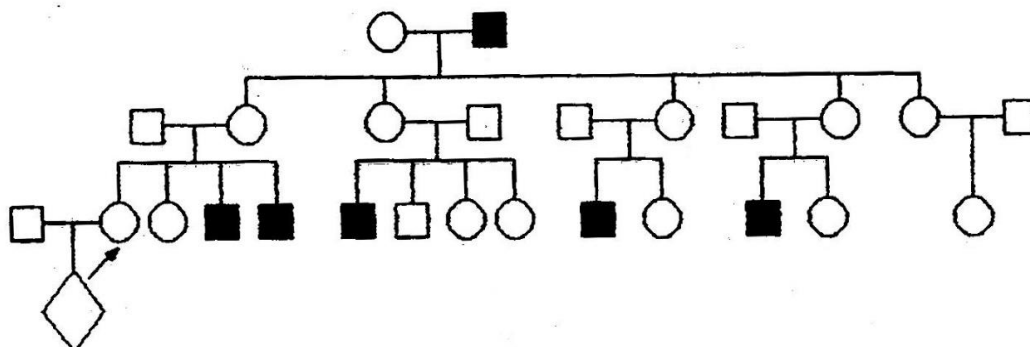


- Из родословной видно, что характер передачи признака аутосомно-доминантный. А тот факт, что дед пробанда унаследовал признак от прадеда, означает, что признак гетерозиготный (Aa).
- Мать пробанда унаследовала признак от своего отца, что также говорит о гетерозиготности признака ее и ее сестер, имеющих белый локон (Aa). Отец пробанда гомозиготен (aa).
- Отсюда три четверти всего потомства будут рождаться с белым локоном над лбом:
 $\text{♀ Aa} \times \text{♂ aa} = 3/4 \text{ A}_-, 1/4 \text{ aa}$.

Пробанд – здоровая женщина. Ее сестра также здорова, а два брата страдают дальтонизмом. Мать и отец пробанда здоровы, четыре сестры матери пробанда здоровы, мужья их также здоровы. О двоюродных братьях и сестрах (сibsах) со стороны матери известно: в одной семье больной брат, две сестры и брат здоровы; в двух других семьях по одному больному брату и по одной здоровой сестре; в четвертой семье одна здоровая сестра. Бабушка пробанда со стороны матери здорова, дедушка страдал дальтонизмом. Со стороны отца пробанда больных дальтонизмом не было. Определите характер наследования признака и рождение у пробанда больных дальтонизмом детей при условии, что она выйдет замуж за здорового мужчину.

Решение:

- Составляем родословное дерево:

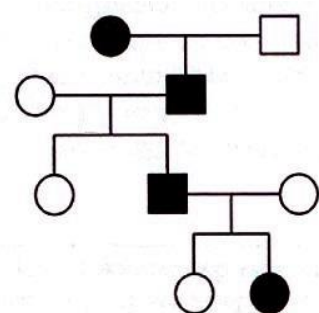


- Тот факт, что у здорового мужчины и нормальной женщиной рождаются здоровые сыновья и дочери, говорит о рецессивном характере наследования и его связи с полом.

3. У дочерей в браке со здоровыми мужчинами большая часть сыновей больная. Это говорит о том, что рецессивную аллель (X^a) сыновья могли получить только от матери.
4. Поскольку пробанд – здоровая женщина, ее генотип, учитывая, что ее дедушка был больным, может быть $X^A X^a$ либо $X^A X^A$.
5. Если пробанд гетерозигота, то в ее браке со здоровым мужчиной половина сыновей родится дальтониками, а все дочери будут здоровыми; если пробанд гомозигота – все дети будут здоровыми.

Задачи для самостоятельного решения

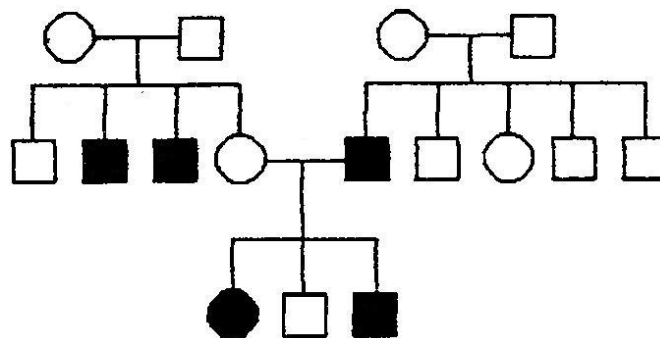
1. По изображенной на рисунке родословной установите характер проявления признака (доминантный или рецессивный), обозначенного черным цветом. Определите генотипы родителей (оба гомозиготы) и потомства в первом и втором поколениях.



2. Пробанд – здоровая женщина. Она имеет двух здоровых и двух больных алькаптонурией братьев. Мать пробанда здорова и имеет двух здоровых братьев. Отец пробанда болен алькаптонурией и является двоюродным дядей своей жены. У него есть здоровые брат и сестра. Бабушка по линии отца была больна и состояла в браке со своим двоюродным здоровым братом. Бабушка и дедушка пробанда по линии матери здоровы, отец и мать деда также здоровы, при этом мать деда – родная сестра деда пробанда со стороны отца. Определите вероятность рождения больных алькаптонурией детей в семье пробанда при условии, если эта женщина выйдет замуж за здорового мужчину, мать которого страдала алькаптонурией.

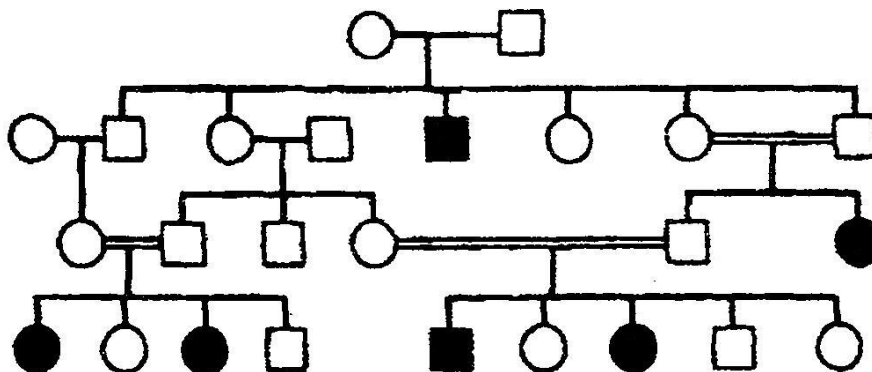
3. Ш. Ауэрбах (1969) приводит данные конкретной родословной по шестипалости. Две шестипалые сестры Маргарет и Мэри вышли замуж за нормальных мужчин. В семье Маргарет было пятеро детей – Джеймс, Сусанна и Дэвид были шестипалыми, Элла и Ричард пятипалыми. В семье Мэри была единственная дочь Джейн с нормальным строением кисти. От первого брака Джеймса с нормальной женщиной родилась шестипалая дочь Сара, от второго брака также с нормальной женщиной у него было шестеро детей: одна дочь и два сына – пятипалые, две дочери и один сын – шестипалые. Элла вышла замуж за нормального мужчину. Единственный их сын Чарлз оказался шестипалым. Ричард женился на своей двоюродной сестре Джейн. Две их дочери и три сына были пятипалыми. Определите вероятность рождения шестипалых детей в случаях: 1) брака нормальной Джеймса с одним из сыновей Ричарда; 2) брака Сары с сыном Дэвида.

4. Определите характер наследования признака с приведенной родословной:



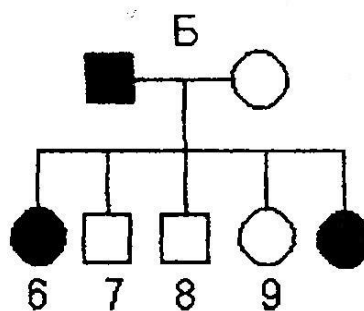
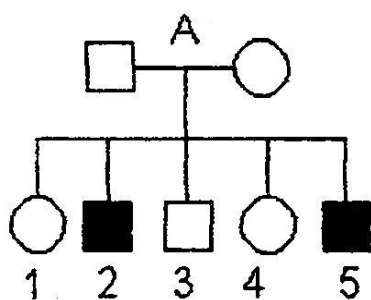
5. Пробанд и его пять братьев здоровы. Мать и отец пробанда глухонемые. Два дяди и тетка со стороны отца также глухонемые, со стороны матери четыре тети и дядя здоровы, и одна тетя и один дядя глухонемые. Бабушка и дедушка по материнской линии здоровы, бабушка и дедушка с отцовской стороны – глухонемые. Бабушка со стороны отца имеет двух братьев, один из которых здоров, другой – глухонемой, и пять сестер, две из которых глухонемые. Мать и отец дедушки со стороны отца здоровы, мать и отец бабушки со стороны отца – глухонемые. Определите вероятность рождения глухонемых детей в семье пробанда, если он вступит в брак с нормальной по глухоноте женщиной, происходящей из благополучной по этому заболеванию семьи.

6. Проведите анализ родословной. Определите характер наследования признака.



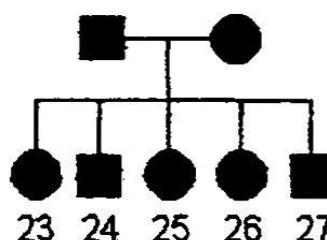
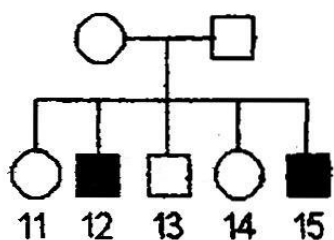
7. Пробанд болен врожденной катарактой. Он состоит в браке со здоровой женщиной и имеет больную дочь и здорового сына. Отец пробанда болен катарактой, а мать здорова. Мать пробанда имеет здоровую сестру и здоровых родителей. Дедушка по линии отца болен, а бабушка здорова. Пробанд имеет по линии отца здоровых родных тетю и дядю. Дядя женат на здоровой женщине, их три сына (двоюродные братья пробанда по линии отца) здоровы. Какова вероятность появления в семье дочери пробанда больных внуков, если она выйдет замуж за гетерозиготного по катаракте этого типа мужчину?

8. Определите характер наследования в родословных. Если женщина № 1 выйдет замуж за мужчину № 7, а женщина № 9 за мужчину № 5, то какие у них будут дети? А если мужчина № 5 женится на женщине № 6, то какую аномалию отца или матери унаследуют дети?



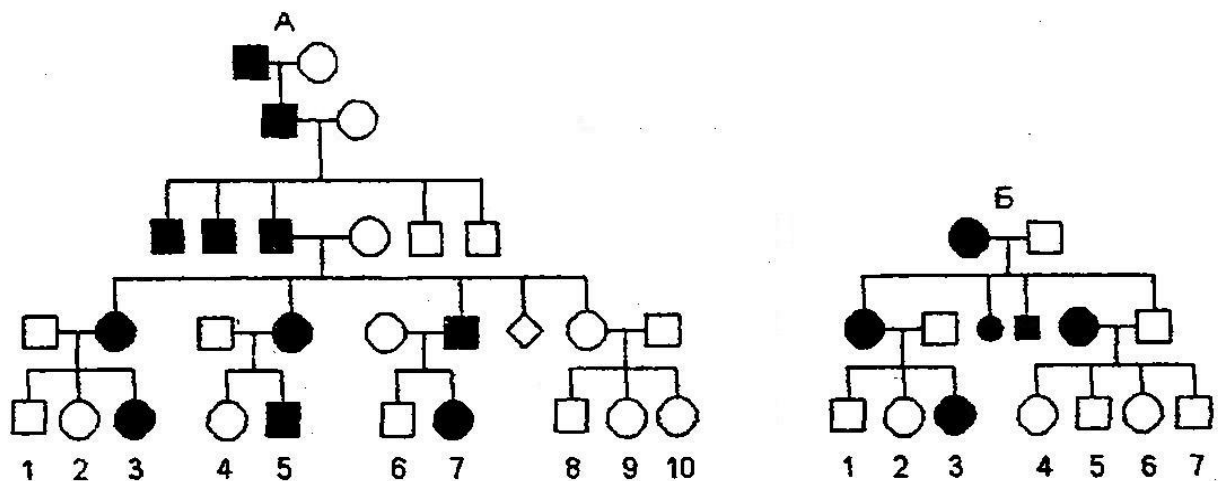
9. У пробанда полидактилия. Его отец также многопалый, а мать с нормальным строением кисти. Дальнейшая родословная известна только по линии отца. У отца есть брат и сестра с нормальным строением кисти, а также брат и сестра многопалые. Многопалый дядя пробанда был дважды женат на женщинах с нормальным строением кисти. От одного брака у него была дочь с полидактилией, от второго брака – шестеро детей: две дочери и один сын с полидактилией и два сына и одна дочь с нормальным строением кисти. Тетя пробанда с нормальной кистью была замужем за мужчиной без полидактилии. У них было три мальчика и три девочки с нормальной кистью. Дедушка пробанда без аномалии, а бабушка многопалая. Какова вероятность рождения многопалых детей в семье пробанда, если он вступит в брак с женщиной, имеющей нормальное строение кисти?

10. Если мужчина № 12 женится на женщине № 25, какие у них могут быть дети? Укажите генотипы всех персон. Укажите характер наследования признаков в родословных.



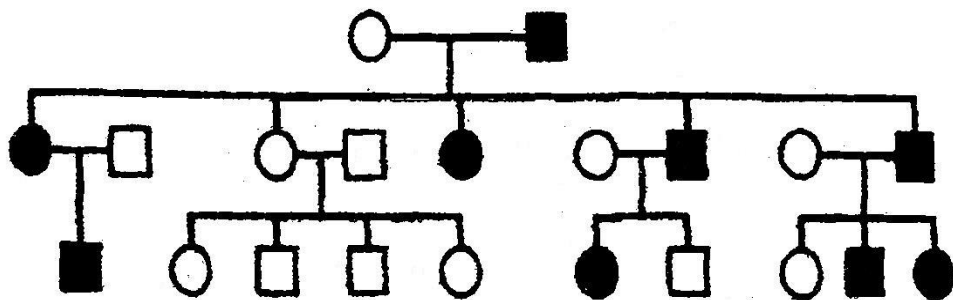
11. Пробанд нормального роста имеет сестру с ахондроплазией (карликовостью). Мать пробанда нормальна, а отец страдает ахондроплазией. По линии отца пробанд имеет двух нормальных теток, одну тетю с ахондроплазией, одного дядю с ахондроплазией. Тетя, имеющая ахондроплазию, замужем за здоровым мужчиной, у них есть сын – карлик. Здоровая тетя от здорового мужа имеет двух мальчиков и двух девочек – все они здоровы. Дядя – карлик, женат на здоровой женщине. У него две нормальные девочки и сын карлик. Дедушка по линии отца – карлик, а бабушка нормальна. 1) Определите вероятность появления карликов в семье пробанда, если его жена будет иметь такой же генотип, как и он сам. 2) Какова вероятность появления карликов в семье сестры пробанда, если она вступит в брак со здоровым мужчиной?

12. Укажите характер наследования признака в родословных А и Б? Укажите генотип женщины, вышедшей замуж за мужчину из родословной Б?

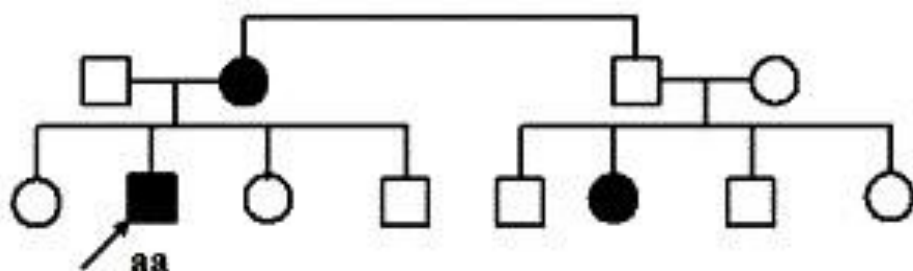


13. Пробанд – юноша, страдающий глухотой. Его сестра с нормальным слухом. Мать и отец пробанда также с нормальным слухом. У матери пробанда пять сестер с нормальным слухом и один глухой брат. Три сестры матери пробанда замужем за здоровыми мужчинами. У одной сестры матери пробанда здоровая дочь, у второй – здоровый сын, у третьей – здоровая дочь и глухой сын. Бабушка пробанда по линии матери здорова, ее муж здоров. У бабушки пробанда по линии матери три здоровые сестры, один здоровый и один глухой брат. Здоровые сестры бабушки по линии матери имели здоровых мужей, а здоровый брат женат на здоровой женщине. У первой сестры бабушки пробанда четыре здоровые дочери и один глухой сын. У второй сестры бабушки здоровая дочь и глухой сын. У третьей сестры бабушки здоровая дочь, один здоровый и один глухой сын. Отец и мать бабушки пробанда по линии матери здоровы. Определите вероятность рождения глухих детей в семье пробанда при условии, что его жена будет иметь такой же генотип, как и мать пробанда.

14. Определите генотипы всех персон родословной и характер наследования признака.



15. Болезнь наследуется по аутосомно-рецессивному типу. Жена пробанда здорова и не содержит патологических аллелей. Какова вероятность рождения в семье пробанда здорового ребенка?



Глоссарий

А

Аберрация хромосомная – общее название любой хромосомной (инверсия, делеция, транслокация и др.) или геномной (анеуплодия, трисомия и др.) мутации

Аллель – одна из двух или более альтернативных форм гена. Аллели располагаются в одинаковых участках (локусах) гомологичных хромосом.

~ **дикого типа** (нормальный) – нуклеотидная последовательность гена, обеспечивающая его нормальную работу

~ **доминантный** – аллель, наличие которого проявляется в фенотипе

~ **мутантный** – мутация, приводящая к изменению последовательности аллеля дикого типа

~ **рецессивный** – аллель, фенотипически проявляющийся только в гомозиготном состоянии и маскирующийся в присутствии доминантного аллеля

Ампликон – внехромосомная единица амплификации

Амплификатор ДНК – прибор, необходимый для проведения полимеразной цепной реакции; позволяет задавать нужное количество циклов и выбирать оптимальные временные и температурные параметры для каждой процедуры цикла

Амплификация ДНК – производство множества копий ДНК из одной или нескольких копий или фрагментов. В клетках организма амплификация происходит в результате репликации ДНК, в лабораторных же условиях это производят методом полимеразной цепной реакции

Амфидиплоиды – эукариотические клетки, содержащие два двойных набора хромосом в результате объединения двух геномов

Анеуплодия – некротное изменение числа хромосом (моносомия, трисомия, полисомия и др.)

Аномалия хромосомная см. аберрация хромосомная

Антикодон – последовательность из трёх нуклеотидов в молекуле транспортной РНК, комплементарная кодирующему триплету в молекуле мРНК

Антимутагенез – процесс предотвращения закрепления (становления) мутации, т.е. возврат первично поврежденной хромосомы или гена в исходное состояние

Аутосома – неполовая хромосома

Б

Банк генов – полный набор генов данного организма, полученный в составе рекомбинантных ДНК

Белковая инженерия – создание искусственных белков с заданными свойствами путем направленных изменений (мутаций) в генах или путем обмена локусами между гетерологичными генами

Библиотека генов см. банк генов

Блоттинг – перенос молекул ДНК, РНК или белка из геля, в котором шёл электрофорез, на фильтр (мембрану)

Болезни

~ **врождённые** – болезни, имеющиеся при рождении; могут быть как наследственными, так и дефектами индивидуального развития организма

~ **наследственные** – патологические состояния, связанные с мутацией гена или хромосомными нарушениями и передающиеся из поколения в поколение

Бэндинг – комплекс методов окраски хромосомных препаратов, позволяющих выявлять специфическую продольную структурированность отдельных хромосом

В

Вакцина – препарат ослабленного или убитого инфекционного агента (вируса, бактерии и т. п.) или его отдельных компонентов, несущих антигенные детерминанты, способный вызывать образование иммунитета к данной инфекции у животных (человека)

Вектор – молекула ДНК, способная к включению чужеродной ДНК и к автономной репликации, служащая инструментом для введения генетической информации в клетку

~ **для клонирования** – любая небольшая плаزمиды, фаг или ДНК-содержащий вирус животных, в которые может быть встроена чужеродная ДНК

Вирусы – инфекционные агенты неклеточной природы, способные в процессе реализации генетической информации, закодированной в их геноме, перестроить метаболизм клетки, направив его в сторону синтеза вирусных частиц

Г

Гамета – зрелая половая клетка

Гаплогруппа – группа схожих гаплотипов

Гаплоид – клетка, содержащая одинарный (гаплоидный) набор хромосом

Гаплотип – совокупность аллелей на локусах одной хромосомы, которая обычно (за редким исключением) передается потомству как единое целое

Гемизиготность – состояние организма, при котором определенный ген представлен в одной хромосоме

Ген – последовательность нуклеотидов в ДНК (реже РНК), которая кодирует синтез полипептида (белка), транспортной или рибосомной РНК; единица наследственной информации

~ **амбивалентный** – ген, оказывающий как полезное, так и вредное действие на его носителя

~ **внехромосомный** – ген, локализованный вне хромосом в той или иной цитоплазматической структуре

~ **голандрический** – ген, локализованный в участке Y-хромосомы, не имеющем гомологии в X-хромосоме, и поэтому абсолютно сцепленный с Y-хромосомой

~ **гомеотический** – ген, действие которого обуславливает трансформацию эмбрионального зачатка одного органа в другой, возникающий обычно в несвойственном ему месте

~ **диагинический** – ген X-хромосомы, переданной от матери к сыну

~ **диандрический** – ген X-хромосомы, переданной от отца к дочери

~ **доминантный** – ген, сходно проявляющийся в гетеро и гомозиготном состоянии и подавляющий проявление других аллелей этого гена

~ **зависимый** – ген, контролирующий при полигении образование специфического признака лишь во взаимодействии с другими неаллельными генами

~ **идиоморфный** – ген, у которого один аллель заполняет всю популяцию, а все другие аллели вместе встречаются с частотой, не превышающей 1%

~ **изоляция** – ген, в гетерозиготном состоянии обуславливающий снижение жизнеспособности или плодовитости особи

~ **комплексный** – ген, состоящий из частей, контролирующих один и тот же признак, не могущих быть разделенными при кроссинговере

~, **контролируемый пол** – ген, присутствующий в генотипе обоих полов, но проявляющийся по-разному у особей мужского и женского пола

~ **лабильный** – ген, переходящий из одного стабильного состояния в другое через ряд мелких мутационных изменений

- ~, **лабильный к среде** – ген, проявление которого в значительной степени зависит от условий окружающей и внутренней среды
- ~ **летальный** – ген, обуславливающий гибель особи обычно до достижения ею половой зрелости
- ~ **маркерный в рекомбинантной ДНК** – ген, кодирующий селективный признак
- ~ **«межвидовой»** – ген, детерминирующий межвидовые барьеры и не передающийся при межвидовом скрещивании
- ~ **мутабельный** – ген, отличающийся высокой частотой спонтанного мутирования
- ~ **независимый** – ген, в случае полигении способный самостоятельно детерминировать образование признака без участия других генов, контролирующих этот признак
- ~, **ограниченный полом** – ген, присутствующий у особей обоих полов, но фенотипически проявляющийся только у особей одного пола
- ~ **плейотропный** – ген, принимающий участие в формировании одновременно нескольких признаков
- ~ **полиургический** – ген, вызывающий неодинаковый эффект в различных частях организма соответственно специфическим свойствам протоплазмы
- ~ **регулятор** – ген, кодирующий регуляторный белок активирующий или подавляющий транскрипцию других генов
- ~ **репортер** – ген, чей продукт определяется с помощью простых и чувствительных методов, и чья активность в тестируемых клетках в норме отсутствует. Используется в генно-инженерных конструкциях для подтверждения наличия вектора
- ~ **рецессивный** – ген, проявляющийся только в гомозиготном состоянии
- ~ **сигнальный** – ген с известной локализацией и проявлением, используемый для картирования данной хромосомы (тж. ген-маркер)
- ~ **сложный** – ген, состоящий из частей, не разделяемых кроссинговером, но обладающих независимой мутабельностью и частично независимых друг от друга
- ~, **стабильный в развитии** – ген, характеризующийся регулярным и не варьирующим по силе проявлением
- ~, **сцепленный с полом** – ген, локализованный в половой хромосоме; различают гены, абсолютно и неполностью сцепленные с полом
- ~ **структурный** – ген, определяющий последовательность аминокислот в полипептидной цепи
- ~ **усилитель** – короткий сегмент ДНК, который влияет на уровень проявления (экспрессии) определенных генов, увеличивая частоту инициации и транскрипции
- ~ **эпистатический** – ген, подавляющий проявление других неаллельных генов (тж. ген-ингибитор)
- ~ **ядерный** – ген, входящий в состав ядерного генома

Геном – полный гаплоидный набор генов или хромосом клетки (организма)

Генотип – совокупность имеющих фенотипическое проявление генов, локализованных в хромосомах либо в цитоплазматических структурах клетки (митохондриях, хлоропластах)

Генофонд – совокупность генов, которые имеются у особей, составляющих данную популяцию

Гены

- ~ **домашние** – гены, которые транскрибируются с относительным постоянством и используются в качестве нормализатора (стандарта) в PCR (полимеразной цепной реакции), поскольку предполагается, что на их экспрессию не влияют условия эксперимента
- ~ **материнского эффекта** – гены, проявляющиеся в яйцеклетке и определяющие фенотип потомства вне зависимости от генотипа самца

Гетерозигота – клетка (или организм), содержащая два различных аллеля одного гена в конкретном локусе гомологичных хромосом

Гетерозиготность – наличие разных аллелей одного гена в диплоидной клетке

Гетерохроматин – область хромосомы (иногда целая хромосома), имеющая плотную компактную структуру в интерфазе из-за отсутствия транскрипции

Гибрид – гетерозиготный организм, полученный в результате скрещивания генетически различных организмов

Гибридизация – скрещивание (в генетике)

- ~ **ДНК** – образование в опыте двуцепочечной ДНК или дуплексов ДНК:РНК в результате взаимодействия комплементарных нуклеотидов
- ~ **соматических клеток** – слияние неполовых клеток, способ получения соматических гибридов
- ~ **in situ** – гибридизация между денатурированной ДНК клеток на предметном стекле и меченой радиоактивными изотопами или иммунофлюоресцентными соединениями одноцепочечной РНК или ДНК

Гибридомы – гибридные лимфоидные клетки, полученные путем слияния опухолевой миеломной клетки с нормальными лимфоидными клетками иммунизированного животного или человека

Гомозигота – клетка (или организм), содержащая два одинаковых аллеля в конкретном локусе гомологичных хромосом

Гомозиготность – наличие одинаковых аллелей в диплоидной клетке

Гомозиготный организм – организм, имеющий две идентичные копии данного гена в гомологичных хромосомах

Группа сцепления – все гены, локализованные в одной хромосоме

Д

Дактилоскопия генная – выявление вариаций в числе и длине tandemных повторов ДНК

Делеция – тип хромосомной мутации, при которой утрачивается участок хромосомы; тип генной мутации, при которой выпадает участок молекулы ДНК

Денатурация – нарушение пространственной структуры молекулы в результате разрыва внутри- или межмолекулярных нековалентных связей

Диплоид – клетка или организм, содержащий двойной набор гомологичных хромосом

ДНК-полимераза – фермент, ведущий матричный синтез ДНК

Доминантность – преимущественное проявление только одного аллеля в формировании признака у гетерозиготной клетки

Доминантный – признак или соответствующий аллель, проявляющийся у гетерозигот

Доминирование см. доминантность

Дрейф генов – изменение частот генов в ряду поколений, обусловленное случайными событиями митоза, оплодотворения и размножения

Дупликация – тип хромосомной мутации, при которой удвоен какой-либо участок хромосомы; тип генной мутации, при которой удвоен какой-либо участок ДНК

З

Зигота – диплоидная клетка, образующаяся при слиянии гаплоидных гамет

Зонд генетический – короткий отрезок ДНК или РНК известной структуры или функции, меченый каким-либо радиоактивным или флуоресцентным соединением

И

Изменчивость – вариабельность признаков среди представителей данного вида

Индуктор – фактор (вещество, свет, теплота), вызывающий транскрипцию генов, находящихся в неактивном состоянии

Инженерия генная – совокупность приемов, методов и технологий получения рекомбинантных РНК и ДНК, выделения генов из организма (клеток), осуществления манипуляций с генами и введения их в другие организмы

Инсерция – вставка сегмента ДНК размерами от одного нуклеотида до субхромосомного фрагмента, включающего несколько генов

Интеграза – фермент, осуществляющий внедрение какого-либо генетического элемента в геном через специфический сайт

Интегроны – генетические элементы, которые содержат в себе ген интегразы, специфический сайт и рядом с ним промотор, что придает им способность интегрировать в себя мобильные генные кассеты и экспрессировать присутствующие в них беспромоторные гены

Интрон – некодирующий участок гена, который транскрибируется, а затем удаляется из предшественника мРНК при ее редактировании (сплайсинге)

Интронированный ген – ген, содержащий интроны

Итероны – повторяющиеся последовательности нуклеотидных остатков в ДНК

К

Кариотип – совокупность хромосом организма (клетки)

Карта генетическая – схема расположения структурных генов и регуляторных элементов в хромосоме

Кассета экспрессионная – фрагмент ДНК, содержащий все необходимые генетические элементы для экспрессии внедренного в него гена

кДНК – однокитевая ДНК, синтезируемая *in vivo* по матрице РНК с помощью обратной транскриптазы

Клон – группа генетически идентичных клеток, возникших неполовым путем от общего предка

Клонирование

- ~ **ДНК** – процесс получения рекомбинантных молекул ДНК путем встраивания чужеродной ДНК в векторную молекулу ДНК или РНК и введение этой конструкции в фаговые, бактериальные или эукариотические клетки хозяина
- ~ **клеток** – их разделение путем посева в питательной среде и получение колоний, содержащих потомство от изолированной клетки

Код генетический – соответствие между триплетами в ДНК (или РНК) и аминокислотами белков

Кодон – тройка расположенных подряд нуклеотидных остатков в ДНК или РНК, кодирующая определенную аминокислоту или являющаяся сигналом начала или окончания трансляции

Кодоминирование – фенотипическое проявление обоих аллелей у гетерозиготы

Комплементарность – свойство азотистых оснований образовывать с помощью водородных связей парные комплексы аденин-тимин (или урацил) и гуанин-цитозин при взаимодействии цепей нуклеиновых кислот

Контиг – в секвенировании группа из нескольких последовательно соединенных участков ДНК

Концы липкие – комплементарные однокитевые участки ДНК, расположенные на концах молекул ДНК

Конъюгация – способ обмена генетической информацией у бактерий, при котором вследствие физического контакта между клетками происходит перенос клеточной, плазмидной или транспозонной ДНК от донорной клетки в реципиентную

Космида – вектор, содержащий *cos*-сайт ДНК фага λ

Кроссинговер – явление обмена участками гомологичных хромосом во время конъюгации при мейозе (известен также митотический кроссинговер).

Л

Лигаза – фермент, образующий фосфодиэфирную связь между двумя полинуклеотидами

Линия клеток – генетически однородные клетки животных или растений, которые можно выращивать *in vitro* в течение неограниченно долгого времени

Линкер – короткий синтетический олигонуклеотид, применяемый для соединения фрагментов ДНК *in vitro*; обычно содержит участок узнавания определенной рестриктазой

Локус – участок ДНК (хромосомы), где расположена определенная генетическая детерминанта

М

Мейоз – тип деления клеток, при котором из одной материнской диплоидной образуются четыре дочерние гаплоидные клетки (споры у растений, гаметы у животных)

Метилазы – ферменты, присоединяющие метильную группу к определенным азотистым основаниям в ДНК

Микросателлит – микросателлитный локус (STR – от англ. Short Tandem Repeats), участок ДНК с определенной геномной локализацией, содержащий короткие tandemные повторы

Миниклетки – клетки, не содержащие хромосомной ДНК

Миссенс-мутация – мутация, приводящая к подстановке несоответствующей аминокислоты в полипептидную цепь

Мутагенез – процесс индукции мутаций

Мутагены – физические, химические или биологические агенты, увеличивающие частоту возникновения мутаций

Мутация – изменение генетического материала, часто приводящее к изменению свойств организма

Мутон – элементарная единица мутирования, т.е. наименьший участок генетического материала, изменение которого представляет собой улавливаемую фенотипически мутацию и приводит к нарушению функции какого-либо гена

Н

Наследование – процесс передачи генетической информации от одного поколения организмов другому

~ **аутосомно-доминантное** – тип наследования, при котором одного мутантного аллеля, локализованного в аутосоме, достаточно, чтобы болезнь (или признак) могла быть выражена

~ **аутосомно-рецессивное** – тип наследования признака или болезни, при котором мутантный аллель, локализованный в аутосоме, должен быть унаследован от обоих родителей

~ **голландрическое** – наследование, сцепленное с Y-хромосомой

Наследственность – свойство организмов передавать признаки от родителей к потомству в неизменном виде

Наследуемость – доля фенотипической изменчивости в популяции, обусловленная генетической изменчивостью (в отношении к определенному качественному или количественному признаку)

Ник – односторонний разрыв в дуплексе ДНК с образованием 3' OH- и 5' P-концов; ликвидируется ДНК-лигазой

Норма реакции – диапазон изменчивости фенотипа на основе данного генотипа, возникающего под влиянием условий внешней среды

Нуклеазы – общее название ферментов, расщепляющих молекулы нуклеиновых кислот

Нуклеотид – структурная единица нуклеиновых кислот; в состав ДНК входят 4 нуклеотида: аденин, тимин, гуанин, цитозин

О

- Олигонуклеотид** – цепь ДНК, состоящая из нескольких (от 2 до 20) нуклеотидных остатков
- Онкогены** – гены, чьи продукты обладают способностью трансформировать эукариотические клетки так, что они приобретают свойства опухолевых клеток
- Онкорнавирус** – РНК-содержащий вирус, вызывающий перерождение нормальных клеток в раковые; содержит в своем составе обратную транскриптазу
- Оператор** – регуляторный участок гена (оперона), с которым специфически связывается репрессор, предотвращая тем самым начало транскрипции
- Оперон** – совокупность совместно транскрибируемых генов, обычно контролирующих родственные биохимические функции; включает структурные гены, оператор, ген-регулятор

П

- Панмиксия** – свободное скрещивание особей, составляющих популяцию
- Плазида** – кольцевая или линейная молекула ДНК, реплицирующаяся автономно от клеточной хромосомы
- Пол** – совокупность генетически детерминированных морфофункциональных характеристик организма, отличающих его от представителей другого пола и определяющих его роль в процессе полового размножения
- ~ **гетерогаметный** – пол, у которого в процессе мейоза образуется два типа гамет (X и Y); у человека, дрозофилы это мужской пол
- ~ **гомогаметный** – пол, у которого в процессе мейоза образуется один тип гамет (X); у человека, дрозофилы это женский пол
- Полилинкер** – синтетический олигонуклеотид, содержащий участки узнавания для нескольких рестриктаз
- Полимеразы** – ферменты, ведущие матричный синтез нуклеиновых кислот
- Полиморфизм гена** – многообразие нуклеотидных последовательностей гена, в т.ч. его аллельных форм
- Полипептид** – белок, полимер, состоящий из аминокислотных остатков, связанных пептидными связями
- Полипloidия** – кратное увеличение числа хромосом (геномная мутация)
- Праймер** – короткая олиго- или полинуклеотидная последовательность со свободной 3'-ОН-группой, комплементарно связанная с одонитевой ДНК или РНК; с его 3'-конца ДНК-полимераза начинает наращивать полидезоксирибонуклеотидную цепь
- Пробанд** – лицо, с которого начинается составление родословной
- Промотор** – регуляторный участок оперона, к которому присоединяется РНК-полимераза с тем, чтобы начать транскрипцию
- Протоонкогены** – нормальные хромосомные гены, мутации которых могут привести к злокачественному перерождению клетки
- Процессинг** – частный случай модификации, когда в биополимере уменьшается число звеньев
- Признак** – особенность строения на любом уровне организации
- Полимерия** – взаимодействие неаллельных множественных генов, одинаково влияющих на развитие одного и того же признака; степень проявления признака зависит от количества генов. Полимерные гены обозначаются одинаковыми буквами, а аллели одного локуса имеют одинаковый нижний индекс
- Плейотропия** – явление множественного действия гена, выражается в способности одного гена влиять на несколько фенотипических признаков

Р

Регулон – система генов, разбросанных по всему геному, но подчиняющихся общему регуляторному белку

Регуляция экспрессии генов – контроль над клеточной структурой и функцией, а также основа дифференцировки клеток, морфогенеза и адаптации

Рекомбинация

~ **гомологическая** – обмен генетическим материалом между двумя гомологичными молекулами ДНК

~ **сайт-специфическая** – объединение путем разрыва и слияния двух молекул ДНК или участков одной молекулы, происходящее по определенным сайтам

~ **in vitro** – операции in vitro, приводящие к созданию рекомбинантных молекул ДНК

Рекон – элементарная единица генетической рекомбинации, т.е. минимальный участка генетического материала, в пределах которого возможна рекомбинация

Ренатурация – восстановление исходной пространственной структуры молекул

Репарация ДНК – исправление повреждений молекулы ДНК, восстанавливающее ее первоначальную структуру

Репликатор – участок ДНК, ответственный за инициацию репликации

Репликация ДНК – синтез дочерних цепей на исходной (матричной) молекуле ДНК, приводящий к увеличению числа копий генетического материала

Репликон – молекула ДНК или ее участок, находящиеся под контролем репликатора

Репрессия – подавление активности генов, чаще всего путем блокирования их транскрипции

Репрессор – белок или антисмысловая РНК, подавляющие активность генов

Рестриктазы – группа бактериальных сайт-специфических эндонуклеаз, которые узнают определенные участки ДНК длиной от четырех и более пар нуклеотидов и расщепляют нуклеотидную цепь внутри участка узнавания или вне его, образуя «липкие» или «тупые» концы

Рестрикты – фрагменты ДНК, образовавшиеся после ее гидролиза рестриктазой

Рецессивность – неучастие аллеля в формировании признака у гетерозиготной клетки

Рибонуклеазы (РНКа́зы) – ферменты, расщепляющие РНК

С

Сайт – участок молекулы ДНК, белка и т.п

Секвенирование – установление последовательности звеньев в молекулах нуклеиновых кислот или белков

Сибсы – в генетике братья и сестры (кроме однояйцевых близнецов)

Спейсер – в ДНК или РНК некодирующая последовательность нуклеотидов между генами; в белках – аминокислотная последовательность, связывающая соседние глобулярные домены

Сплайсинг – процесс формирования зрелой мРНК или функционального белка путем удаления интронов у РНК или интроинов у белков.

Т

Термоциклер – см. амплификатор ДНК

Трансдукция – перенос фрагментов ДНК с помощью бактериофага

Транскрипция – синтез РНК на ДНК-матрице; осуществляется РНК-полимеразой

Транскрипт – продукт транскрипции, т.е. РНК, синтезированная на данном участке ДНК как на матрице и комплементарная одной из его нитей

Транскриптаза обратная – фермент, катализирующий реакцию синтеза ДНК на матрице РНК

Трансляция – синтез полипептидной цепи белков, осуществляемый в рибосомах

Транспозон – генетический элемент, реплицируемый в составе репликона и способный к самостоятельным перемещениям (транспозиции) и интеграции в разные участки хромосомной или внехромосомной ДНК

Трансфекция – трансформация клеток с помощью изолированной ДНК

Трансформация – 1) изменение наследственных свойств клетки, вызванное поглощенной ДНК; 2) перенос ДНК из одной клетки и встраивание ее в геном другой клетки; 3) частичная или полная дедифференцировка клеток, вызванная нарушением регуляции роста клеток

Ф

Фенотип – внешнее проявление свойств организма, зависящих от его генотипа и факторов окружающей среды.

Х

Химеры – лабораторные гибриды (рекомбинанты)

Хроматин – нитчатые комплексные молекулы дезоксирибонуклеопротеида (ДНП), которые состоят из ДНК, связанной с гистонами

Хромосома – структура в ядрах клеток организмов, которая содержит упакованную специальным образом двойную спираль ДНК

Хромосомы

~ **гомологичные** – хромосомы, одинаковые по набору составляющих их генов

~ **половые** – пара хромосом, отличная по структуре и функциям от аутосом и имеющая отношение к генетическому механизму определения пола

Ц

Центромера – локус на хромосоме, физически необходимый для распределения гомологичных хромосом по дочерним клеткам

Ш

Шаффлинг ДНК – рекомбинация фрагментов генов двух и более гомологичных белков. Трехступенчатый процесс, включающий разрушение родительских молекул ДНК и два раунда амплификации (без праймеров и со специально подобранными), с целью получения восстановленных по длине, но измененных по составу (с перетасованными последовательностями) химерных молекул ДНК, с существенно улучшенными или новыми свойствами кодируемых ими белков

Э

Экзон – сохраняющаяся при сплайсинге часть интронированного гена

Экзонуклеаза – фермент, гидролизующий фосфодиэфирные связи с концов ДНК

Экспрессия гена – процесс реализации информации, закодированной в гене, состоит из двух основных стадий: транскрипции и трансляции

Эндонуклеаза – фермент, гидролизующий фосфодиэфирные связи внутри нити ДНК

Энхансер см. ген-усилитель

Эпистаз – тип взаимодействия неаллельных генов, при котором один ген подавляет проявление другого (или других) генов

Ответы к задачам на самостоятельное решение

Генетические механизмы наследования

- 59,2 нм
- 1) Лей–Арг–Фен–Цис; 2) ЦУУ–ЦГУ–УУУ–УГЦ; 3) ГАА–ГЦА–ААА–АЦГ
- Вал–Тре–Ала–Иле–Асн; замена аминокислоты возможна при замене второго триплета АЦА на триплеты ЦЦТ, ЦЦЦ, ЦЦА или ЦЦГ; свойство генетического кода – избыточность (вырожденность)
- 1) А–Ц–Ц–Г–Т–Ц, 2) 16
- Длина 102 нм, масса 900
- Длина ДНК 170 нм, длина и-РНК также 170 нм
- 198 аминокислот
- ТТЦАЦТГ, 17 водородных связей
- Ц 20%, Т 30%, А 30%; длина ДНК 51 нм
- ТЦАТГГЦТАТГААЦТАААТГЦ
АГТАЦЦГАТАЦТТГАТТТАЦГ;
7,14 нм
- Используя таблицу триплетов генетического кода, находим триплеты и-РНК, кодирующие эти аминокислоты. Затем определяем соответствующие им триплеты ДНК.
- Исходная последовательность аминокислот: Ала–Ала–Сер–Фен–Сер; мутантная последовательность аминокислот: Ала–Цис–Асп–Фен–Сер
- Исходная последовательность аминокислот: Мет–Сер–Три–Лей–Ала, УГА – терминирующий кодон; мутантная последовательность аминокислот: Мет–Сер–Арг, УАА – терминирующий кодон
- Одна замена первого нуклеотида в триплете
- 51 нм
- 15 800
- Синтез отстающей цепи в направлении от 3' к 5' невозможен, потому что ДНК-полмераза присоединяет нуклеотиды в 3'-ОН концу. Из-за этого синтез отстающей цепи идет пофрагментно, каждый фрагмент синтезируется от 5' к 3'-концу
- 1200 нуклеотидов, длина гена $1200 \times 3,4 \times 10^{-4} = 0,408$ мкм
- $A+T=A+U=60\%$, $A=T=30\%$ (60 : 2), $G+C=40\%$, $G=C=20\%$ (40 : 2)
- $T=15\%$; $G=35\%$; $C=35\%$; 340 нм
- а) Про; б) Фен; в) Глу; г) Сер; д) Сер; е) Фен
- Первый способ: ААГ–ЦАЦ–АГЦ–ГГЦ–УАЦ; второй способ: ААА–ЦАУ–АГУ–ГГГ–УАУ.
- Мет–Про–Про
- АТТ–ЦТА–ТТГ–ТГЦ–АГТ
- 1) 336, 2) 112, 3) 112, 4) 112
- 360 000
- Тир–Гис–Лей–Про–Лиз
- Белок: Асп–Вал–Гли–Лиз–Гли–Глу
- Незначимы замены третьего нуклеотида в каждом триплете
- Г и Ц по 20%, А и Т по 30%

Деление клеток

- 26 хроматид

2. Гаметы n , образуются митозом из гаплоидных клеток гаметофита; споры n , образуются мейозом из диплоидных клеток спорофита (коробочки)
3. У щуки в каждой клетке будет по 32 хромосомы и 32 хроматида ($2n2c$), у малярийного плазмодия по 2 хромосомы и 2 хроматиды ($2n2c$)
4. В интерфазе перед началом деления число хромосом 60, число молекул ДНК 120; после мейоза I число хромосом 30, число молекул ДНК 60
5. В анафазу I 22 хромосомы (44 хроматиды), в анафазу II 22 хромосомы (22 хроматиды)
6. 1) 8 хромосом, 16 молекул ДНК, происходит репликация ДНК; 2) хромосом 4, молекул ДНК 8, происходит редукционное деление
7. 1) $2n4c$, происходит репликация ДНК в интерфазе; 2) $2n4c$, к полюсам клетки расходятся двуххроматидные хромосомы; 3) $2n2c$, к полюсам клетки расходятся хроматиды (каждая nc).
8. В зоне роста 56 хромосом; в конце зоны созревания 28 хромосом
9. 1) n , образована в результате мейоза при прорастании споры; 2) n , образована в результате мейоза при прорастании споры; 3) n , образованы из генеративной клетки митозом
10. 1) $12 \cdot 10^{-9}$ мг; 2) $6 \cdot 10^{-9}$ мг
11. В телофазе мейоза I число хромосом 4, число молекул ДНК 8; в телофазе мейоза II число хромосом 4, число молекул ДНК 4
12. 1) $2n$, клетки листьев образуются в результате митоза из других клеток листьев; 2) n , спермии образуются путем митоза из генеративной клетки пыльцевого зерна (n)
13. 1) 40, образуются митозом из первичных диплоидных клеток; 2) 20, образуются из сперматогониев в результате мейоза; 3) 40, образуются митозом из зиготы
14. 1) $2n4c$ (48 хромосом, 96 молекул ДНК), в интерфазе произошла репликация ДНК; 2) $2n4c$ (48 хромосом, 96 молекул ДНК), к полюсам клетки отходят хромосомы, набор хромосом не меняется; 3) $n2c$ (24 хромосомы, 48 молекул ДНК), после мейоза I образуются клетки с уменьшенным вдвое набором хромосом
15. В зоне размножения число хромосом 78, число ДНК 78, происходит митоз; в конце зоны созревания число хромосом в гаплоидных клетках 39, число ДНК 39, происходит мейоз, число хромосом и ДНК уменьшаются в два раза
16. 1) $2n4c$ (38 хромосом, 76 молекул ДНК), после интерфазы начинается первое деление мейоза; 2) nc (19 хромосом, 19 молекул ДНК), заканчивается мейоз
17. 1) гаплоидный (n), образуются из клеток спорогенной ткани пыльников тычинок в результате мейоза; 2) гаплоидный (n), образуется из генеративной клетки пыльцевого зерна митозом
18. 1) $2n$, поскольку клетки листьев образуются митозом в конечном счете из зиготы; 2) $2n$, поскольку зародыш образуется при делении зиготы; 3) $3n$, поскольку образуется в результате слияния диплоидной центральной клетки зародышевого мешка и гаплоидного спермия
19. 1) $2n4c$ (116 хромосом, 232 молекул ДНК); 2) $2n4c$ (116 хромосом, 232 молекул ДНК); 3) $2n2c$ (116 хромосом, 116 молекул ДНК)
20. В конце зоны размножения в клетке 62 хромосомы, диплоидные клетки делятся митозом; в конце зоны созревания в клетке 31 хромосома, клетки делятся мейозом
21. 1) 48, клетка находится в интерфазе, происходит ее рост, число хромосом не меняется; 2) 24, закончился мейоз, клетки стали гаплоидными
22. 1) $2n$, клетки листьев развиваются в конечном итоге из зиготы митозом; 2) n , клетки заростка образуются из гаплоидной споры митозом
23. Анафазных больше, поскольку расходящиеся к полюсам клетки хроматиды являются уже хромосомами, т.к. цитоплазма еще не разделилась
24. $2n4c$
25. в конце мейоза I число хромосом 16 число, число молекул ДНК 32; в конце мейоза II число хромосом 16, число молекул ДНК 16
26. а) 28 и 24 хромосом (хроматид); б) 15 и 11 хромосом (хроматид); в) 14 и 12 хромосом (хроматид), если нерасхождение произошло в обеих клетках во время редукционного

- деления и 15, 11, 13 хромосом (хроматид), если нерасхождение произошло в одной из клеток во время эквационного деления мейоза
27. 2^4 типов гамет с генами ABCD.
28. 6000
29. 14
30. В анафазе I мейоза число хромосом 44, число молекул ДНК 88; в профазе II мейоза число хромосом 22, число молекул ДНК 44

Закономерности наследования признаков

Моногибридное скрещивание

1. 1) AA, aa; 2) Aa, aa
2. Полное доминирование; петух AA, первая курица AA, вторая курица Aa
3. 1) 24 растения; 2) 24 растения
4. 1) 2 типа; 2) 1 тип; 3) 50%; 4) 2 разных генотипа; 5) 2 разных фенотипа
5. 50%
6. 1) черная; 2) P: AA, aa; F₁: Aa; 3) закон единообразия гибридов первого поколения
7. 75% полосатых растений и 25% растений с равномерной окраской
8. 1) Rr, rr; 2) Rr, rr; 3) нет
9. Бык Aa, корова aa, телята Aa, aa
10. Более целесообразным было бы скрестить тигра-альбиноса с одним из родителей. В этом случае уже в первом поколении половина потомства несла бы признак альбинизма
11. Aa, свободная мочка уха
12. Опушенность наследуется по рецессивному типу. Гомозигот среди томатов с гладкими плодами 33,3%, т.е. примерно 173 особи.
13. Охотник должен скрестить свою собаку с белой (рецессивной гомозиготой, aa) особью
14. Зеленая окраска бобов – доминантный признак, желтая – рецессивный; доля чистого потомства $\frac{1}{3}$
15. Возможно. С вероятностью 25%
16. Хозяину нужно скрестить сеттера с суками-носительницами гена атрофии сетчатки, т.е. провести анализирующее скрещивание
17. а) Семен AA, Андрей Aa, Элла aa; б) 75% с шерстью нормальной окраски и 25% альбиносов; в) 50% с шерстью нормального цвета, 50% альбиносов
18. От доминантного признака оперенных ног
19. A – черный цвет, a – альбинизм, генотипы родителей первого скрещивания AA x aa, второго скрещивания Aa x aa
20. С рецессивной особью (с мягкой шерстью)
21. 1) 2 типа 2) 3 генотипа 3) 2 фенотипа 4) 22 растения 5) 11 растений
22. 69134 позднеспелых растений
23. 72 цыпленка нормальных, 24 цыпленка – шелковистых
24. Материнское растение имеет генотип Aa. При скрещивании Aa x aa получается $\frac{1}{2}$ черносемянных и $\frac{1}{2}$ белосемянных растений
25. а) A нормальные крылья, a укороченные крылья; б) Aa x Aa; в) примерно 40
26. Генотип определить нельзя. Не имеет значения, будут ли обе мухи гомозиготными (BB x BB) или одна из них будет гетерозиготной (Bb x BB): в потомстве получатся серые мухи
27. Пегость наследуется по рецессивному типу, исходные родители – гетерозиготы
28. 1) два типа гамет образует растение F₁ 2) 12 растений F₁ 3) 120 растений могут быть гомозиготными
29. Родители при первом скрещивании Aa и aa; родители второго скрещивания Aa и Aa; однородное потомство будет при генотипах AA x aa, AA x Aa, aa x aa
30. Аллель черной окраски полностью доминирует над аллелем рыжей окраски

Дигибридное скрещивание

1. 4 т
2. AaBb, AaBb
3. Мать Aabb, отец aaBb
4. Исходные особи – aaBB, AAbb; потомство AaBb
5. Собака может иметь один из следующих генотипов: AABB, AaBB, AaBb, AABb. Для выяснения вопроса о том, какой генотип имеется у данного животного, его надо спарить с особью, имеющей оба гена в рецессивном состоянии (aabb), т.е. с собакой, у которой длинная шерсть кофейного цвета. Отсутствие в потомстве от такого скрещивания особей с одним или двумя рецессивными признаками будет свидетельствовать о чистоте породы
6. Wwss, wwSS
7. 25%
8. Доминируют серое тело и нормальные крылья; AaBb
9. а) белые дисковидные плоды; по 50% белых дисковидных и желтых дисковидных плодов; по 50% белых дисковидных и белых шаровидных плодов; б) WwDd x Wwdd; в) WwDd x WwDd
10. а) BC; б) Bc, bc; в) bC; г) BC, bC; д) bC, bc; е) BC, Bc, bC, bc
11. Двурядный рыхлый колос – доминантные признаки, многорядный плотный колос – рецессивные признаки; признаки наследуются независимо друг от друга. 1) 4 типа гамет; 2) 270 растений; 3) 4; 4) 9; 5) 90
12. Зеленая окраска плодов округлой формы – доминантные признаки; полосатая окраска плодов удлинённой формы – рецессивные признаки. 1) 240; 2) 720; 3) 4; 4) 60
13. 1) Форма и окраска тела у тараканов наследуются независимо друг от друга; узкое тело и коричневая окраска – доминантные признаки, широкое тело и оранжевая окраска – рецессивные признаки; 2) Генотипы родителей: AABB, aabb; гибриды F₁: AaBb; 3) 9:3:3:1; 4) Первый и третий законы Менделя
14. Генотипы родителей: AaBb (самка), AaBB (самец); гибриды F₁: 1/4 aaBb, 2/4 AaBb, 1/4 AABb
15. Наследование независимое; родители Aa x Aa; 25% черных хохлатых, 25% черных без хохла, 25% бурых хохлатых; 25% бурых без хохла
16. Генотип определить нельзя. В скрещиваниях AABB x AaBB или AABb x AABB результаты будут одинаковыми: все семена окажутся гладкими
17. а) розеточная белая; б) розеточная белая; в) розеточная черная; г) гладкая черная; д) розеточная черная; е) гладкая белая
18. 9/16 A₋B₋ (высокий рост двукамерный плод) + 3/16 aaB₋ (низкий рост двукамерный плод) = 12/16; 12/16 x 240 = 180 растений
19. 3/16 aaB₋ (коричневые, висючая форма ушей) + 1/16 aabb (коричневые, стоячая форма ушей) = 4/16; 4/16 x 16 = 4 щенка
20. 1) 0; 2) 1/4; 3) 1/4
21. В F₁ все потомство будет иметь гороховидный гребень и оперенные ноги. Первый закон Менделя
22. Растение aaBB образует два типа яйцеклеток: aB и ab и такие же спермии. Возможные их сочетания дадут расщепление в отношении: 1aa : 2aaBb : 1aabb
23. Боров Борис AABB, боров Петр AaBb
24. Характер расщепления указывает на то, что материнское растение гетерозиготно по обоим признакам: ♀AaBb x ♂aabb → 1AaBb (безостые красноколосые) : 1AaBb (безостые белоколосые) : 1aaBb (остистые красноколосые) : 1aabb (остистые белоколосые)
25. Родители дигетерозиготны
26. Признаки желтая и красная окраска, комолость наследуются независимо друг от друга. А – желтая масть, а – красная, В – комолость, в – наличие рогов.
27. а) 25%, б) 50%, в) 25%, г) 18,75%, д) 6,25%
28. AaBb x aabb

29. а) если генотипы родителей ААВВ х ааВВ, окраска черная; если генотипы родителей Аавв х ааВВ или ААВВ х ааВв окраска черная и коричневая; если генотипы родителей Аавв х ааВв окраска черная сплошная, черно-пегая, коричневая, коричнево-пегая; б) да, если генотипы родителей АаВв х АаВв
30. а) 18,75%; б) 50%; в) 25%

Полигибридное скрещивание

1. ABC, abc, aBC, Abc, AbC, aBc, ABc, abC
2. ABCdE, AbCdE, aBCdE, abCdE
3. а) Генотип кабеля: LlBbHh: дает 4 типа гамет - LBH, lBh, LbH, lBH
б) Генотип суки: LlBbHh: дает 8 типов гамет - LBH, lBH, LbH, LBh, lBh, lBH, lBh
4. Генотип мужчины – aabbCc, женщины – AaBbcc, короткопалого ребенка – aaBbCc, близорукого – AabbCc, альбиноса – AaBbcc
5. Генотип отца – AaBbcc, матери – aabbCc, сына – aabbcc, дочери – AaBbCc
6. Генотип курицы – AaBbCc. Генотип петуха – AaBbCc
7. а) четыре типа гамет: ABC, ABc, aBC, aBc;
б) четыре типа гамет: aBC, aBc, abC, abc;
в) восемь типов гамет: ABC, ABc, AbC, Abc, aBC, aBc, abC, abc;
г) восемь типов гамет: ABCD, ABcD, AbCD, AbcD, aBCD, aBcD, abCD, abcd;
д) четыре типа гамет: ABCD, ABCd, AbCD, AbCd;
е) шестнадцать типов гамет: ABCD, ABCd, ABcD, ABcd, AbCD, AbCd, AbcD, Abcd, aBCD, aBCd, aBcD, aBcd, abCD, abCd, abcd, abcd;
ж) четыре типа гамет: ABCD, ABCd, ABcD, ABcd
8. а) гладкие желтые красные (AaBbCc), гладкие желтые белые (AaBbcc), гладкие зеленые красные (AabbCc), гладкие зеленые белые (Aabbcc), морщинистые желтые красные (aaBbCc), морщинистые желтые белые (aaBbcc), морщинистые зеленые красные (aabbCc), морщинистые зеленые белые (aabbcc);
б) гладкие желтые красные (AaBBCC), гладкие желтые красные (AaBBCC), гладкие желтые красные (AaBbCC), гладкие желтые красные (AaBbCC), морщинистые желтые красные (aaBBCC), морщинистые желтые красные (aaBBCC), морщинистые желтые красные (aaBbCC), морщинистые желтые красные (aaBbCC);
в) гладкие желтые красные (AABBCC), гладкие желтые красные (AABBCC), гладкие желтые красные (AaBBCC), гладкие желтые красные (AaBBCC), гладкие желтые красные (AaBBCC), гладкие желтые красные (AaBBCC), гладкие желтые красные (AaBBCC), гладкие желтые красные (AaBBCC), гладкие желтые красные (AaBBCC);
г) гладкие желтые красные (AaBbCc), гладкие зеленые красные (AabbCc);
д) гладкие зеленые красные (AabbCC), гладкие зеленые красные (AabbCc), морщинистые зеленые красные (aabbCC), морщинистые зеленые красные (aabbCc)
9. а) $2^4 = 16$; б) $81 : 27 : 27 : 27 : 27 : 9 : 9 : 9 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 3 : 1$; в) $3^4 = 81$
10. 9 морщинистых желтых красноцветковых : 3 морщинистых желтых белоцветковых : 3 морщинистых зеленых красноцветковых : 1 морщинистых зеленых белоцветковых
11. Число классов по фенотипу $2^6 = 64$; число классов по генотипу $3^6 = 729$.
12. 9 гладких желтых белоцветковых : 3 гладких зеленых белоцветковых : 3 морщинистых гладких белоцветковых : 1 морщинистых зеленых белоцветковых

Неполное доминирование

1. $\bar{A}\bar{A}$ (красные плоды, 50%), $\bar{A}a$ (розовые плоды, 50%)
2. Родители первого скрещивания ♀ $\bar{A}\bar{A}BB$, ♂ $\bar{A}abb$; потомки от первого скрещивания $\bar{A}\bar{A}Bb$, $\bar{A}aBb$; родители второго скрещивания ♀ $\bar{A}\bar{A}Bb$, ♂ $\bar{A}aBb$; потомки от второго скрещивания $\bar{A}\bar{A}BB$, 2 $\bar{A}aBb$, $\bar{A}aBB$, 2 $\bar{A}\bar{A}Bb$, $\bar{A}abb$, $\bar{A}\bar{A}bb$; закон независимого наследования признаков.
3. $\bar{A}\bar{A}$ (широкие листья), 2 $\bar{A}a$ (листья промежуточной ширины), aa (узкие листья); моногибридное скрещивание; неполное доминирование

4. 1) потомство – кохинуровые и белые норки в соотношении 1:1; 2) 151 гомозиготных белых и черных норок
5. Родители $\bar{A}aBV$; потомство: 4 цыплёнка $\bar{A}aBV$, 2 цыплёнка $aaBV$, 2 цыплёнка $\bar{A}\bar{A}BV$
6. родители $\bar{A}\bar{A}Bb$, $\bar{A}abb$; потомство $\bar{A}\bar{A}Bb$ (длинноухие, чёрные), $\bar{A}\bar{A}bb$ (длинноухие, белые), $\bar{A}aBb$ (короткоухие, чёрные), $\bar{A}abb$ (короткоухие, белые); вероятность 0%
7. 1) 50%; 2) 50%
8. Наблюдается неполное доминирование, $\bar{A}$ – гнедая окраска, $\bar{A}a$ – окраска «паломино», a – альбинос
9. $\bar{A}\bar{A}BV$ (особи с проявлением полного доминирования по обоим признакам), $\bar{A}\bar{A}Bb$ (особи с проявлением полного доминирования по первому признаку и с промежуточным по второму признаку), $\bar{A}aBV$ (особи с проявлением полного доминирования по второму признаку и с промежуточным по первому признаку), $\bar{A}aBb$ (особи с проявлением обоих промежуточных признаков)
10. 25%
11. Имеет место неполное доминирование. Генотипы родителей $\bar{A}\bar{A}$, aa , гибриды первого поколения $\bar{A}a$, при скрещивании растений с пестрыми семенами между собой потомство будет иметь коричневые (25%), пестрые (50%) и белые (25%) семена
12. 1) 2; 2) 168; 3) 168; 4) 2; 5) 24
13. Все потомство единообразное; $\bar{A}aBb$, цветки розовые, нормальной формы
14. 1) 120; 2) 3; 3) 120; 4) 240
15. В F_1 все особи будут пестрыми вследствие неполного доминирования; родители $\bar{A}\bar{A}$, aa , потомство $\bar{A}a$; в F_2 куры будут черными (25%), пестрыми (50%) и белыми (25%).
16. 1) $1/2$ пурпурный, $1/2$ белый; 2) $1/2$ красный, $1/2$ белый; 3) в F_1 на ярком свете растения пурпурные, при пониженном доступе света красные
17. 1) $1/2$ белых, $1/2$ кохинуровых; 2) aa – белые, $\bar{A}a$ – кохинуровые, $\bar{A}\bar{A}$ – черные
18. $\bar{A}\bar{A}$ (черные), aa (белые)
19. 1) 8; 2) 8; 3) 27; 4) 27

Множественные аллели и группы крови

1. а) агути; б) гималайская; в) агути; г) светло-серая; д) агути
2. Можно перелить только после предварительного определения, что он имеет 3-ю, а не 4-ю группу крови
3. $c^h c^a \times c^h c^a$
4. Фенотипов 6; генотипов 21
5. Вероятность рождения следующего ребенка кареглазым и с 1-й группой крови – $3/16$
6. $1 Cc^h$ (серые) : $1 Cc^a$ (серые) : $1 c^h c^a$ (гималайские) : $1 c^a c^a$ (альбиносы)
7. У телят возможны следующие типы трансферинотипов: 1) А и АД; 2) А, АЕ, АД, ДЕ; 3) АД и ДЕ.
8. $Cc^h \times Cc^h$
9. Мужчины с 1-й группой крови
10. 1) $S^1 S^3$; 2) полная несовместимость; 3) $S^1 S^3$, $S^1 S^4$, $S^2 S^3$, $S^2 S^4$
11. $1 c^h c^a$ (гималайские) : $1 c^a c^a$ (альбиносы)
12. $1/2$; $1/3$; $1/4$
13. Генотип у матери может быть: NN, MN; три варианта группы крови в системе ABO: 3-я группа крови ($J^B J^B$ или $J^0 J^0$) или 4-я группа ($J^A J^B$)
14. По решетке Пеннета находим, что переопыление потомств первого скрещивания дает 8 совместимых и 8 несовместимых комбинаций.
1) $S^1 S^2 \times S^1 S^3 \Rightarrow S^1 S^1 : S^1 S^2 : S^1 S^3 : S^2 S^3$.

♂	S^1S^1	S^1S^2	S^1S^3	S^2S^3
♀				
S^1S^1	—	—	—	+
S^1S^2	+	+	+	—
S^1S^3	—	—	—	+
S^2S^3	+	+	+	—

2) В результате переопыления потомств возникает 11 совместимых и 5 несовместимых комбинаций.

15. Возможно. Состояние здоровья будет нормальное

16. Второй пары

17. Прорастания пыльцы не произойдет

18. Нет, не может

19. а) $S^1S^2 \times S^1S^3 \rightarrow S^1S^1 : S^1S^2 : S^1S^3 : S^2S^3$;

$S^1S^3 \times S^1S^2 \rightarrow$ комбинация несовместима;

б) $S^1S^2 \times S^2S^3 \rightarrow$ комбинация несовместима;

$S^2S^3 \times S^1S^2 \rightarrow S^1S^2 : S^1S^3 : S^2S^2 : S^2S^3$;

в) $S^1S^3 \times S^2S^3 \rightarrow S^1S^2 : S^1S^3 : S^2S^3 : S^3S^3$.

$S^2S^3 \times S^1S^3 \rightarrow$ в третьей комбинации отношение доминантности аллелей не изменяется при реципрокных скрещиваниях, вследствие чего результаты их одинаковы

20. Вероятность рождения здоровых детей к больным 3 : 1. Группы крови – 1 и 2

Наследование признаков, сцепленных с полом

1. Родители X^AX^a , X^AY ; потомство X^AX^A , X^AX^a , X^AY , X^aY

2. 1) 24; 2) 24; 3) 24; 96

3. 30 самок, 15 самцов

4. Генотип курицы Z^BW , генотип петуха Z^BZ^b

5. По 25% детей с аниридией, оптической атрофией, аниридией и атрофией вместе, и здоровых

6. 50% если отец здоров, 75% если отец болен

7. 12,5%

8. Вероятность появления одного заболевания равна 0, поскольку оба гена расположены в одной хромосоме. Вероятность рождения ребенка с обеими аномалиями равна 25% (это будут мальчики).

9. 9/16

10. 25%

11. В F_1 все самки будут иметь красные глаза, все самцы – белые глаза; в F_2 половина самок и половина самцов будут красноглазыми, половина – белоглазыми.

12. Поскольку признак пестрой окраски всегда появляется только у самцов и никогда у самок, можно предположить, что он локализован в Y-хромосоме.

13. С X-хромосомой сцеплен признак окраски тела (A – желтая, a – белая). Доминантный ген признака нормальной формы крыльев и рецессивный ген – зачаточной формы крыльев локализованы в аутосомах

14. Учитывая, что у птиц мужской пол – гомогаметный, вероятность появления коричневого самца равна 0, поскольку одну из X-хромосом он получит от гетерогаметной матери и будет зеленым

15. Самки красноглазые (половина гомозиготны – X^WX^W , половина гетерозиготны – X^WX^w), половина самцов красноглазые (X^WY), половина белоглазые (X^wY)

16. Признак сцеплен с полом. Гетерогаметный пол у индеек женский. Генотипы родителей: ♀ X^AY , ♂ X^AX^a . Генотипы потомства: ♀ – X^AY , X^aY ; ♂ – X^AX^A , X^AX^a .

17. Ген рубиновых глаз сцеплен с половой хромосомой. Расщепление – самки 3:1, самцы – 3:3:1:1

18. У быка и коров второй группы ген бесшерстности расположен в аутосоме, у коров первой группы – в X-хромосоме
19. 1) полосатые, темнокожие с листовидным гребнем самцы; черные, темнокожие с листовидным гребнем самки; 2) 1/4 – летальны; 1/4 – полосатые, коротконогие, темнокожие; 1/8 – полосатые, длинноногие чернокожие; 1/4 – черные, коротконогие, чернокожие; 1/4 – черные, коротконогие, белокожие; 1/8 – полосатые, длинноногие, белокожие; 1/8 – черные, длинноногие, белокожие; 3) петух дигетерозиготен, курица – пестрая, коротконогая
20. Все кошки в потомстве будут черепаховыми ($X^A X^a$, 100%)
21. Генотипы родителей: ♀ $X^A Y$, ♂ $X^A X^a$ (нормальные по этому гену). Генотипы потомства: ♀ – $X^A Y$ (нормальные по этому гену), $X^a Y$ (гибель эмбрионов); ♂ – $X^A X^A$, $X^A X^a$ – нормальные по этому гену. Вероятность гибели эмбрионов составляет 25%.
22. Родители ♀ $X^B Y^{ss}$, ♂ $X^b X^b ss$; потомство F_1 : $X^B X^b ss$ (самец, зеленый, без хохолка, 50%), $X^b Y^{ss}$ (самка, коричневая, без хохолка, 50%)
23. Признак окраски перьев у кур сцеплен с X-хромосомой. Ген голых ног – с аутосомами. Золотистая окраска перьев и наличие оперения ног – доминантные признаки; серебристая окраска и голые ноги – рецессивные признаки. Гетерогаметный пол – женский. Генотипы родителей: ♀ $X^a Y^{bb}$, ♂ $X^A X^a Bb$. Потомство F_1 : $X^A X^a Bb$, $X^A Y^{Bb}$ (золотистая окраска, оперенные ноги), $X^A X^{ab}$, $X^A Y^{bb}$ (золотистая окраска, голые ноги), $X^a X^a Bb$, $X^a Y^{Bb}$ (серебристая окраска, оперенные ноги), $X^a X^{ab}$, $X^a Y^{bb}$ (серебристая окраска, голые ноги). В F_1 вероятность рождения серебристого петушка с голыми ногами составляет 25% (1/4)
24. Расщепление по полу: 1♀ : 2♂
25. По фенотипу: зеленых 400, желто-зеленых 400, зеленых пятнистых 400, желто-зеленых пятнистых 400; по генотипу: Aa – 400, aa – 400, AB – 400, aB – 400; по полу: 800:800
26. Бесшерстность – рецессивный признак, сцепленный с полом. Родители: ♀ $X^A X^a$, ♂ $X^A Y$. Потомством F_1 : $X^A X^A$, $X^A X^a$ (телочки все нормальны), $X^A Y$, $X^a Y$ (среди бычков 50% будет рождаться нормальными и 50% – бесшерстными). Генотипы: бесшерстные бычки – $X^a Y$; нормальная телочка – $X^A X^a$. Характер наследования шерсти у потомков можно определить с помощью анализирующего скрещивания
27. Различия в реципрокном скрещивании можно объяснить тем, что признак окраски листьев у дрёмы белой сцеплен с полом. Женский пол этого растения гомогаметный (XX), а мужской – гетерогаметный (XY). Зеленая окраска листьев растения – доминантный признак, желто-зеленая окраска – рецессивный. Скрещивание I – родители: $X^A X^a$, $X^a Y$; потомство F_1 : $X^A X^a$, $X^a Y$; потомство F_2 : растения женского пола зеленые и желто-зеленые в соотношении 1:1, растения мужского пола также зеленые и желто-зеленые в соотношении 1:1. Скрещивание II – родители: $X^A X^A$, $X^a Y$; потомство F_1 : $X^A X^a$, $X^a Y$; потомство F_2 : женские особи будут иметь зеленые листья, мужские – половина с зелеными, половина – с желто-зелеными
28. Женские растения в F_2 широколистные, но по генотипу половина из них носители гена узколистности; мужские растения: 50% широколистные, 50% узколистные
29. Гормональная недостаточность будет наследоваться только по отцовской линии, юноша получил свой дефект от отца с Y-хромосомой.
30. 2 части петухов и 1 часть кур.

Сцепленное наследование и кроссинговер

1. 8 типов гамет (2^3): AB C, AB c, ab C, ab c – некрссоверные (80% по 20% каждого типа); Ab C, Ab c, aB C, aB c – крссоверные (20%, по 5% каждого типа).
2. Гаметы: крссоверные AB, ab – 20% всего, по 10% на каждую; некрссоверные Ab, aB – 80% всего, по 40% на каждую.
3. Гены расположены в порядке ВАС.
Фенотипы потомков:

B–A–C–	113	}	некроссоверы
bbaacc	105		
B–aacc	21	}	кроссоверы I
bbA–C–	17		
B–A–cc	70	}	кроссоверы II
bbaaC–	64		
Всего	390		

Частота перекреста B/A = $(17 + 21) / 390 \times 100\% = 9,7\%$

Частота перекреста A/C = $(64 + 70) / 390 \times 100\% = 34,4\%$

Частота перекреста B/C = $(17 + 21 + 64 + 70) / 390 \times 100\% = 44,1\%$

Расстояние между генами B 9,7% A 34,4% C 44,1%

4. 46% St, 46% sT, 4% ST, 4% st
st st st st

5. Гены в хромосоме располагаются линейно. В соответствии с условием задачи они располагаются следующим образом: B–C–D

6. Генотипы родителей: ♀ Ab, ♂ ab
aB ab

Генотипы потомства: AB (12 растений), Ab (39 растений), aB (40 растений), ab (14 растений);
ab ab ab ab

появление 4 фенотипических групп объясняется процессом кроссинговера

7. 25% в обоих случаях (кроссинговер не учитываем, так как не дано расстояние между генами).

8. Генотипы родителей: ♀ aB, ♂ Ab
aB Ab

Генотип потомства F₁: aB, закон сцепленного наследования с наличием кроссинговера
Ab

9. Кроссоверных особей 152 + 149 = 301; от всего числа особей, полученных при скрещивании, это составляет 3,5%. Следовательно, расстояние между генами 3,5 морганиды

10. Кроссоверных особей 3 + 3 = 6%, следовательно, расстояние между генами A и B 6 морганид

11. Признаки наследуются сцеплено. Расстояние между генами 14 морганид

12. Гибриды F₂:

Самцы	Самки
VCY : 35 – дикого типа – кроссоверные	V–C– : 100 – дикого типа
vCY : 71 – с кинокарными глазами – некроссоверные	V–cc : 103 – с рассеченными крыльями.
VcY : 65 – с рассеченными крыльями – некроссоверные	
vcY : 30 – с кинокарными глазами и рассеченными крыльями – кроссоверные	

Получено кроссоверных самцов = $(35 + 30) / 201 \times 100\% = 32\%$.

Следовательно расстояние V–C равно 32 единицам перекреста.

а) в F₂ наблюдается различие по числу фенотипических классов среди самок и самцов. Следовательно, гены сцеплены с полом; б) расстояние между генами на генетической карте равно 32 единицам перекреста; в) Генотипы родителей: ♀ Vc, ♂ vCY
Vc

13. Родители: ♀ $\frac{Ab}{ab}$, ♂ $\frac{aB}{aB}$; F₁ $\frac{Ab}{aB}$; при скрещивании F₁ с $\frac{ab}{ab}$ получили: сплошная окраска, длинная шерсть – 35 особей, пятнистая окраска, короткая шерсть – 35, сплошная окраска, короткая шерсть – 8, пятнистая окраска, длинная шерсть – 8
14. Сочетание генов в гомологичных хромосомах $\frac{AB}{ab}$; два класса по 157 особей (Aabb, aaBb – кроссоверные), два класса по 23 особи (AaBb, aabb – некрссоверные)
15. F₁: AaBb; F₂: A_B_ – 50,81%, aaB_ – 24,19%, A_bb – 24,19%, aabb – 0,81%
16. Расстояние между генами S (CE) – 33%; организмов с генотипами ССДДее и ссддЕЕ будет по 1,44%
17. Расстояние между генами 44 морганиды; по 245 особей
18. В F₂ 16 фенотипических классов
19. Генотипы родителей: ♀ aabb, ♂ AaBb; генотипы потомства: 1 AaBb (серое тело, нормальные крылья), 1 aabb (черное тело, укороченные крылья)
20. Генотипы родителей: ♀ aabb, ♂ AABb; генотип F₁: AaBb; генотипы F₂: AaBb (7115 особей), aabb (7327), AaBb (289), aaBb (218)
21. Дигетерозигота образует гаметы: $\frac{Cd}{cd}$, $\frac{cD}{CD}$, $\frac{CD}{cd}$ – при отсутствии кроссинговера; $\frac{Cd}{cd}$, $\frac{cD}{CD}$, $\frac{CD}{cd}$ – при наличии кроссинговера; тригетерозигота образует гаметы: $\frac{OpS}{OpS}$, $\frac{oPs}{OpS}$ – при отсутствии кроссинговера; $\frac{OpS}{OpS}$, $\frac{oPs}{OpS}$, $\frac{OpS}{OpS}$, $\frac{oPs}{OpS}$, $\frac{OpS}{OpS}$, $\frac{oPs}{OpS}$ – при наличии кроссинговера
22. Гены розового цвета глаз и окраски шиншилла наследуются сцеплено. Обозначим ген розовой окраски глаз (m), ген дикого цвета гла (M); ген шиншилловой окраски (n), ген дикой окраски тела (N), так как по условию задачи данные признаки рецессивные. Генотипы родителей: ♀ $\frac{mN}{mN}$, ♂ $\frac{Mn}{Mn}$; F₁: $\frac{mN}{Mn}$ – дикого типа; $\frac{mN}{Mn}$, $\frac{Mn}{Mn}$ – некрссоверные гаметы; $\frac{MN}{mn}$ – кроссоверные гаметы.
23. Женщина даст гаметы $\frac{AB}{ab}$ и $\frac{ab}{ab}$, мужчина – $\frac{Ab}{Ab}$ и $\frac{aB}{aB}$. Вероятность передачи женщиной потомству сразу двух аномалий равно 50%, а мужчиной – 0%
24. Гены A и B наследуются сцеплено. Расстояние между генами 7 морганид
25. Расстояние между генами D и L больше, чем между генами B и V на 13 морганид
26. Расстояние между генами S (RCp) составляет 4 морганиды ((2 +1)/76 x 100% = 4% кроссинговера). Дигетерозиготный петух дает четыре типа гамет: $\frac{RCp}{rcp}$, $\frac{rcp}{rcp}$ – некрссоверные гаметы (100% - 4% = 96%, приходится на все некрссоверные гаметы, следовательно по 48% приходится на каждую некрссоверную гамету), $\frac{RCp}{rcp}$, $\frac{rcp}{rcp}$ – кроссоверные гаметы (4% приходится на кроссоверные гаметы, так как их две; следовательно на каждую – по 2%). Дигомозиготная курица образует один сорт гамет – $\frac{rcp}{rcp}$. Потомство F₁: $\frac{RCp}{rcp}$ – розовидный гребень, короткие ноги; $\frac{rcp}{rcp}$ – листовидный гребень, нормальная длина ног; $\frac{RCp}{rcp}$ – розовидный гребень, нормальная длина ног; $\frac{rcp}{rcp}$ – листовидный гребень, короткие ноги.
27. Расстояние между генами vg и b равно 16,2% кроссинговера, что соответствует силам «отталкивания». Следовательно, сила «сцепления» между генами равна 83,8%.
28. $\frac{ce}{ce}$; расстояние между генами CE равно 27 морганидам. $\frac{ce}{ce}$

29. Гены расположены в порядке XYZ. Расстояние между генами в единицах перекреста
 8,4% 14,3%
 X _____ Y _____ Z
 22,7%

30. Генотипы родителей ♀ AABV, ♂ aabb; генотип F₁: AaBv; генотипы F₂: AABV, AaBv, aabb; соотношение фенотипов F₂: 3 (нормальная высота, круглые плоды) : 1 (карликовость, овальные плоды)

Взаимодействие неаллельных генов

Комплементарное взаимодействие генов

1. а) белая; б) белая; в) пурпурная; г) пурпурная; д) белая; е) пурпурная
2. AABV x aabb → AaBb все пурпурные
3. а) 9 пурпурных : 7 белых; б) 3 пурпурных и 1 белых
4. а) 1 пурпурные : 1 белые; б) 9 пурпурные : 7 белые; в) все белые; г) все пурпурные
5. 1 AaBb (пурпурные) : 1 Aabb (белые) : 1 aaBb (белые) : 1 aabb (белые)
6. а) дисковидная; б) дисковидная; в) сферическая; г) сферическая; д) удлиненная; е) сферическая; ж) дисковидная
7. а) 1 AABb (дисковидные) : 1 AaBb (дисковидные); б) 1 AaBb (дисковидные) : 1 Aabb (сферические); в) 1 AaBb (дисковидные) : 1 Aabb (сферические) : 1 aaBb (сферические) : 1 aabb (удлиненные); г) 1 AaBV (дисковидные) : 2 AaBb (дисковидные) : 1 Aabb (сферические); д) 1 AABb (дисковидные) : 1 AaBb (дисковидные)
8. AaBb (дисковидные плоды)
9. 1 AaBb (дисковидные плоды) : 1 Aabb (сферические) : 1 aaBb (сферические) : 1 aabb (удлиненные)
10. а) $2^n = 2^2 = 4$ (AB, Ab, aB, ab); б) $2/16 = 100$ растений; в) 4 (AAbb, 2Aabb, 2aaBV, aaBb); г) 2 (Ab, ab); д) $4/16 = 200$ растений
11. Соотношение 812:640 (9:7) говорит о комплементарном взаимодействии генов
12. Родители aaBV x AAbb; в F₂ расщепление: 9 (коричневые) : 7 (платиновые)
13. а) 4 (1AABV : 2AABb : 2AaBV : 4AaBb); б) $3/16$ (AAbb, aaBV, aabb) = 30 растений; в) $4/16 = 40$ растений; г) 2 (Ab, ab); д) 5 (AAbb, aaBV, 2aBb, aabb)

Эпистатическое взаимодействие генов

1. а) серая; б) белая; в) черная; г) черная; д) черная; е) серая; ж) черная
2. а) 1 серая : 1 серая; б) 1 серая : 1 белая; в) 1 черная : 2 черная : 1 белая; г) 1 черная : 2 черная : 2 черная : 1 черная : 1 серая : 1 белая; д) 1 черная : 1 черная; е) 1 черная : 2 черная : 1 белая
3. aaBb x aaBb
4. Aabb x aabb
5. AaBV x AaBV
6. aaBV x aaBV или aaBV x aaBb
7. AaBb
8. а) желтая; б) белая; в) белая; г) белая; д) желтая; е) зеленая; ж) белая
9. а) 1 желтая : 2 желтая : 1 зеленая; б) 1 белая : 2 белая : 2 белая : 1 белая : 1 желтая : 1 зеленая; в) 1 белая : 2 белая : 1 зеленая; г) 1 белая : 1 белая; д) 1 белая : 1 белая; е) 1 белая : 1 белая : 1 желтая : 1 зеленая
10. wwYy x wwYy
11. Wwyy x wwyy
12. WwYY x wwyy
13. wwYY x wwYY или wwYY x wwYy
14. Задача на рецессивный эпистаз; а) 4 разных генотипа (1AABV : 2AABb : 2AaBV : 4AaBb); б) 40 свинок (по 20 Aabb, aabb); в) $20 (1/4 \times 80)$; г) $20 (1/4 \times 80)$; д) 4 (AB, Ab, aB, ab)

единица).

Значение фактического χ^2 (0,56) оказалось меньше табличного значения χ^2 (3,84) при пороговом уровне вероятности 0,05. Следовательно, фактически полученное расщепление статистически соответствует теоретически ожидаемому 3:1. Соответствие опытных и теоретических частот наблюдается примерно в первом из трех таких скрещиваний.

Схема расчета

Порядок расчета	Черные семена	Белые семена	Всего
Наблюдаемые значения (н)	585	183	768
Ожидаемые значения (о)	$768 \times 3/4 = 576$	$768 \times 1/4 = 192$	768
$(n - o)$	+9	-9	0 (отклонение)
$(n - o)^2$	81	81	
$\frac{(n - o)^2}{o}$	$81/576 = 0,14$	$81/192 = 0,42$	$\chi^2 = 0,56$ (0,14 + 0,42)

2. Очевидно, растение, полученное из черного семени, было гетерозиготным по гену А. В противном случае все потомство от скрещивания его с белосемянным растением было бы представлено черными семенами. Такой тип скрещиваний называется анализирующим:

$Aa \times aa \rightarrow 1Aa : 1aa$, соотношение фенотипов 1 : 1. $\chi^2 = 1,30$.
черные белые

Число степеней свободы = 2 – 1 = 1. Значение фактического χ^2 (1,30) оказалось меньше табличного значения χ^2 (3,84) при пороговом уровне вероятности 0,05. Следовательно, фактически полученное расщепление статистически соответствует теоретически ожидаемому 1:1.

3. Наблюдаемое соотношение фенотипических классов соответствует расщеплению при скрещивании дигибридов $AaBb - 9 : 3 : 3 : 14$. $\chi^2 = 7,01$.

Число степеней свободы = 4 – 1 = 3. Значение фактического χ^2 (7,01) оказалось меньше табличного значения χ^2 (7,81) при пороговом уровне вероятности 0,05. Следовательно, фактически полученное расщепление статистически соответствует теоретически ожидаемому 9:3:3:1.

Схема расчета

Порядок расчета	Желтые гладкие	Желтые морщинистые	Зеленые гладкие	Зеленые морщинистые	Всего
Наблюдаемые значения (н)	264	61	78	29	432
Ожидаемые значения (о)	243 (9/16)	81 (3/16)	81 (3/16)	7 (1/16)	432
$(n - o)$	+21	-20	-3	+2	0
$(n - o)^2$	441	400	9	4	
$\frac{(n - o)^2}{o}$	1,81	4,94	0,11	0,15	$\chi^2 = 7,01$

4. $\chi^2 = 0,34$. Число степеней свободы = 2 – 1 = 1. Значение фактического χ^2 (0,34) оказалось меньше табличного значения χ^2 (3,84) при пороговом уровне вероятности 0,05. В данном случае наблюдается достаточно высокое соответствие опытных и теоретически ожидаемых

(9 : 7) данных.

5. Р: АаВb. В данном случае наблюдается доминантный эпистаз ($A > B$). Фактически наблюдаемое расщепление соответствует формуле 12 : 3 : 1. $\chi^2 = 1,69$. Число степеней свободы = 3 – 1 = 2.

Значение фактического χ^2 (1,69) оказалось меньше табличного значения χ^2 (5,99) при пороговом уровне вероятности 0,05. Следовательно, фактически полученное расщепление статистически соответствует теоретически ожидаемому 12:3:1.

Полиплоидия

1. 1) $2n = 6x = 42$; 2) $2n = 4x = 28$; 3) $2n = 2x = 14$
2. 1) АА, Аа, ААА, а, А, ААа, АААа, 0;
2) Аа, аа, Ааа, а, А, ааа, Аааа, 0;
3) АА, аа, А, Ааа, Ааа, А, ААаа, 0
3. $n = 51$; $x = 17$; $6x = 2n = 102$
4. 1) $3x = 27$; 2) $4x = 36$; 3) $5x = 45$; 4) $6x = 54$
5. $6x = 2n = 48$; $n = 24$

Инбридинг и гетерозис

1. 1) $k = 50(50-1)/2 = 1225$; 2) $k = 36(36-1) = 630$; 3) $k = 15(15-1) = 105$
2. Средний урожай самоопыленных линий равен $14+13+10+15 / 4 = 13$; $F_2 = 53 - (53 - 13) / 4 = 43$ ц с 1 га; урожай снизился на 10 ц с 1 га
3. $1 - (1/2)^4 = 1 - 1/32 = 31/32$ (или 97%)
4. 1) $(1/2)^6 = 1/64$ (или 1,56%); 2) $(1/2)^8 = 1/256$ (или 0,39%)
5. 1) $\Gamma_{\text{гип}} = 91,7\%$; 2) $\Gamma_{\text{ист}} = 76,9\%$; 3) $\Gamma_{\text{конк}} = 15,0\%$; 4) $H = 11,0$ (сверхдоминирование)
6. 1) $\Gamma_{\text{гип}} = 69,5\%$, $\Gamma_{\text{гип}} = 112,4\%$; 2) $\Gamma_{\text{ист}} = 62,6\%$, $\Gamma_{\text{ист}} = 97,1\%$; 3) $\Gamma_{\text{конк}} = 15,0\%$, $\Gamma_{\text{конк}} = 13,9\%$; 4) $H = 16,5$ (сверхдоминирование), $H = 15,3$ (сверхдоминирование)

Генетика популяций

1. 42%
2. $A_1 = 0,57$, $A_2 = 0,43$
3. Частота $A = 0,5$ (50%), частота $a = 0,5$ (50%)
4. АА 0,64, 0,04 аа, 0,32 Аа
5. АА = 0,64; Аа = 0,32; аа = 0,04
6. а) частота $C = 0,8$, $c = 0,2$; б) частота $A = 0,7$, $a = 0,3$; в) частота $M = 0,9$, $m = 0,1$; г) частота $N = 0,6$, $n = 0,4$.
7. Частота гена $A - 0,2$, гена $a - 0,8$
8. АА = 81%; Аа = 18%; аа = 1%
9. 23%
10. 0,81 (81%) АА : 0,18 (18%) Аа : 0,01 (1%) аа
11. Частота АА = 0,64, Аа = 0,32, аа = 0,04
12. 160; 216
13. Частота рецессивного гена 0,4, число гетерозигот 0,48 (48%)
14. Частота гена $a - 0,3$, частота гена $A - 0,7$
15. АА = 0,36; Аа = 0,48; аа = 0,16
16. Частота АА = 81% (0,81), частота Аа = 18% (0,182), частота аа = 1%
17. Да
18. 0,18
19. Частота генов A и $a - 0,5$
20. а) $A = 0,6$, $a = 0,4$; б) $A = 0,8$, $a = 0,2$; в) $A = 0,7$, $a = 0,3$

21. 162 птицы
22. Соответствует
23. $Aa = 42\%$
24. Частота аллеля $A = 0,45$, $a = 0,55$
25. Независимо от исходного соотношения частот будет происходить гомоготизация, т.е. увеличение числа гомозигот в популяции
26. Да, поскольку частоты генотипов соответствуют формуле Харди-Вайнберга
27. 0,18
28. а) да, б) $0,5625AA + 0,3750Aa + 0,0625aa$, в) да
29. В F_1 установятся равновесные частоты генотипов и не будут изменяться от поколения к поколению
30. $q^2 = 0,95$, $q = 0,97468$, $p = 0,02532$, $2pq = 0,04936$ (4,936%), $p^2 = 0,00064$ (0,064%); большинство доминантных аллелей находится в гетерозиготном состоянии, поэтому скрещивание $Aa \times aa$ будет происходить гораздо чаще, чем скрещивание $AA \times aa$
31. Частота встречаемости гетерозигот 0,0052775
32. 44%
33. 0,59 (59%)
34. В Казани 31,4%, во Владивостоке 5,3%
35. При самоопылении: 95AA : 2Aa : 479aa. При панмиксии в первом поколении установится равновесие: 2,8% AA : 27,8% Aa : 69,4% aa
36. 23AA : 2Aa : 15aa

Анализ родословных

1. Аутосомно-доминантное наследование. Родители ♀ AA, ♂ aa; F_1 Aa; F_2 ♀ aa, ♂ Aa
2. Наследование аутосомно-рецессивное; родители гетерозиготы; вероятность рождения больных детей 25%
3. 1) все дети будут с нормальным строением рук; 2) наследование аутосомно-доминантное, шестипалых детей 75%
4. Наследование рецессивное, сцепленное с X-хромосомой
5. Наследование аутосомно-рецессивное. Болезнь определяется разными неаллельными парами генов (aa и bb); сыновья дигетерозиготны (AaBb). Все дети от брака пробанда с нормальной женщиной (AABb) будут нормальными.
6. Наследование аутосомно-рецессивное. Условием проявления признака в 3-4 поколениях послужили кровнородственные браки
7. Наследование аутосомно-доминантное; пробанд Aa, дочь пробанда Aa; вероятность появления больных внуков 75%
8. В родословной А наследование рецессивное, сцепленное с X-хромосомой, в родословной Б – аутосомно-доминантное. В браке 1 x 7 возможны два варианта: если генотип женщины $X^A X^a$, то 1/2 сыновей будут с аномалией, 1/2 дочерей носительницами аномалии; если генотип женщины будет $X^A X^A$, все дети будут нормальными. В браке 5 x 6 унаследуется признак матери.
9. Наследование аутосомно-доминантное; вероятность появления у пробанда многопалых детей 50%
10. Наследование аутосомно-рецессивное; все дети будут нести признак; генотип носителей признака aa
11. 1) 0%; 2) 50%
12. В родословных А и Б наследование признака аутосомно-доминантное; женщина, вышедшая замуж за мужчину из родословной Б обладающая признаком – рецессив (aa)
13. Наследование глухоты – рецессивное, сцепленное с X-хромосомой; половина детей в семье пробанда (мальчики и девочки) будут рождаться глухими

14. Характер наследования признака аутосомно-доминантный; Родители (первое поколение) ♀ aa, ♂ Aa, во втором поколении одна сестра гомозигота (aa), остальные дети гетерозиготы (Aa), в третьем поколении дети с признаком гетерозиготы (Aa), без признака гомозиготы (aa)
15. 100%
16. Тип наследования рецессивное, сцепленное с X-хромосомой; генотип мужчин с признаком X^aY , генотип мужчин без признака X^AY , генотип женщин с признаком X^aX^a , генотипы женщин без признака X^AX^A , X^AX^a , генотипы основателей рода ♀ X^AX^a , ♂ X^AY
17. Наследование аутосомно-доминантное, сцепленное с X-хромосомой. «Проскакивание» признака во втором и третьем поколениях произошло потому, что в потомстве гетерозиготные женщины, носительницы доминантных признаков, их не проявляли

Литература

1. Бакай А.В., Кочиш И.И., Скрипниченко Г.Г. Генетика: учебник для вузов. М.: КолосС, 2006. 448 с.
2. Бирюков О.И. Ветеринарная генетика: сборник задач для практических занятий и самостоятельной работы. Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2017. 119 с.
3. Быковская Н.В., Соколов Г.П. Задачи по генетике. Уссурийск: Изд-во ПГСХА, 2009. 225 с.
4. Генетические основы селекции растений. В 4-х тт. Т. 1. Общая генетика растений. Минск: Белорусская наука, 2008. 552 с.
5. Глазер В.М., Ким А.И., Кузьмин И.В., Нефедова Л.Н., Орлова Н.Н., Пасюкова Е.Г., Романова Н.И. Сборник задач и вопросов по общей и молекулярной генетике. Учебное пособие. М.: Университетская книга, 2018. 246 с.
6. Глазер В.М., Ким А.И., Орлова Н.Н., Удина И.Г., Алтухов Ю.П. Задачи по современной генетике: учеб. пособие. М.: КДУ, 2008. 224 с.
7. Гуляев Г.В. Задачник по генетике. М.: Колос, 1980. 78 с.
8. Жимулев И.Ф. Общая и молекулярная генетика. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2003. 479 с.
9. Козлов Ю.Н., Костомахин Н.М. Генетика и селекция сельскохозяйственных животных: учебник. М.: КолосС, 2009. 264 с.
10. Инге-Вечтомов С.Г. Генетика с основами селекции: Учебник для студентов биологических специальностей университетов. М., 2010. 591 с.
11. Клаг У.С., Каммингс М.Р., Спенсер Ш.А. и др. Основы генетики. Москва: Техносфера, 2021. 982 с.
12. Колясникова Н.Л. Генетика растений: методические указания для самостоятельной работы обучающихся. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2022. 30 с.
13. Максимов А.Г., Федюк В.В., Иванова Н.В., Максимов Н.А. Генетика животных: сборник задач. Персиановский: Донской ГАУ, 2021. 142 с.
14. Мкртчян Г.В. Курс лекций по генетике сельскохозяйственных животных. М.: Московская гос. академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, 2022. 120 с.
15. Морозик М.С., Морозик П.М. Сборник задач по генетике: учебно-методическое пособие. Минск: МГЭУ им. А.Д.Сахарова, 2012. 80 с.
16. Писарчик Г.А., Писарчик А.В. Сборник задач по генетике. Минск: Аверсэв, 2012. 240 с.
17. Свириденко С.И., Назарова Е.Н. Генетика и селекция собак: учебное пособие для вузов. СПб.: Лань, 2023. 140 с.
18. Соколовская Б.Х. 120 задач по генетике (с решениями): Для школьников, лицеистов и гимназистов. М.: Центр РСПИ, 1991. 88 с.
19. Четвертакова Е.В., Еремина И.Ю. Терминологический словарь по генетике. Красноярск: Красноярский гос. Ун-т, 2015. 39 с.

Приложение А

Генетический код (соответствие между кодонами и-РНК и аминокислотами)

Первый нуклеотид	Второй нуклеотид								Третий нуклеотид
	У		Ц		А		Г		
У	УУУ	Фен	УЦУ	Сер	УАУ	Тир	УГУ	Цис	У
	УУЦ	Фен	УЦЦ	Сер	УАЦ	Тир	УГЦ	Цис	Ц
	УУА	Лей	УЦА	Сер	УАА	Терм.	УГА	Терм.	А
	УУГ	Лей	УЦГ	Сер	УАГ	Терм.	УГГ	Три	Г
Ц	ЦУУ	Лей	ЦЦУ	Про	ЦАУ	Гис	ЦГУ	Арг	У
	ЦУЦ	Лей	ЦЦЦ	Про	ЦАЦ	Гис	ЦГЦ	Арг	Ц
	ЦУА	Лей	ЦЦА	Про	ЦАА	Глн	ЦГА	Арг	А
	ЦУГ	Лей	ЦЦГ	Про	ЦАГ	Глн	ЦГГ	Арг	Г
А	АУУ	Иле	АЦУ	Тре	ААУ	Асн	АГУ	Сер	У
	АУЦ	Иле	АЦЦ	Тре	ААЦ	Асн	АГЦ	Сер	Ц
	АУА	Иле	АЦА	Тре	ААА	Лиз	АГА	Арг	А
	АУГ	Мет	АЦГ	Тре	ААГ	Лиз	АГГ	Арг	Г
Г	ГУУ	Вал	ГЦУ	Ала	ГАУ	Асп	ГГУ	Гли	У
	ГУЦ	Вал	ГЦЦ	Ала	ГАЦ	Асп	ГГЦ	Гли	Ц
	ГУА	Вал	ГЦА	Ала	ГАА	Глу	ГГА	Гли	А
	ГУГ	Вал	ГЦГ	Ала	ГАГ	Глу	ГГГ	Гли	Г

Нуклеотиды: У – урацил, Ц – Цитозин, А – аденин, Г – гуанин.

Аминокислоты: Ала – аланин, Арг – аргинин, Асп – аспарагиновая кислота, Асн – аспарагин, Вал – Валин, Гис – гистидин, Гли – глицин, Глн – глутамин, Глу – глутаминовая кислота, Иле – изолейцин, Лей – лейцин, Лиз – лизин, Мет – метионин, Про – пролин, Сер – серин, Тир – тирозин, Тре – треонин, Три – триптофан, Фен – фенилаланин, Цис – цистеин; Терм. – терминация цепи (окончание синтеза).

Правило чтения генетического кода: при рассмотрении триплета, по вертикали берется 1-й нуклеотид, вверху по горизонтали 2-й, в конце таблицы по вертикали – 3-й нуклеотид. На пересечении трех нуклеотидов находим аминокислоту, которая закодирована данным триплетом.

Приложение Б

Формула расчета числа различных генотипов при заданном числе аллелей

Число различных генотипов в серии из n аллелей вычисляют по формуле: $1/2 n (n+1)$, где n – число аллелей. Число гомозигот и гетерозигот по данной серии аллелей в популяции представлено в таблице.

Число аллелей	Число генотипов	Число гомозигот	Число гетерозигот
1	1	1	0
2	3	2	1
3	6	3	3
4	10	4	6
n	$1/2 n (n+1)$	n	$1/2 n (n-1)$

Приложение В

Общая формула расщепления при полигибридных скрещиваниях (независимо наследуемых пар признаков)

Число независимо наследуемых пар признаков	Число типов гамет у гибридов F ₂	Число комбинаций гамет в F ₂	Число гомозиготных фенотипов в F ₂	Число гетерозиготных фенотипов в F ₂	Число разных фенотипов в F ₂ при полном доминировании	Число разных генотипов в F ₂	Соотношение фенотипов в F ₂ при полном доминировании	Соотношение генотипов в F ₂
1	2	4	2	2	2	3	$(3+1)^1 = 3+1$	$(1+2+1)^1$
2	4	16	4	12	4	9	$(3+1)^2 = 9+3+3+1$	$(1+2+1)^2 = 1+2+1+2+4+2+1+2+1$
3	8	64	8	56	8	27	$(3+1)^3 = 27+9+9+9+3+3+3+1$	$(1+2+1)^3$
n	2 ⁿ	4 ⁿ	2 ⁿ	4 ⁿ – 2 ⁿ	2 ⁿ	3 ⁿ	$(3 + 1)^n$	$(1 + 2 + 1)^n$

Примечание: при неполном доминировании соотношение фенотипических классов совпадает с соотношением генотипических классов, то есть выражается формулой: $(1 + 2 + 1)^n$

Приложение Г

Генетическая и серологическая характеристика групп крови системы АВО

Фенотипы	Генотипы	Антигены в клетках	Антитела в сыворотке
Группа 0(I)	I^0I^0	–	Анти – А и Анти – В
Группа А(II)	I^AI^A и I^AI^0	А	Анти – В
Группа В(III)	I^BI^B и I^BI^0	В	Анти – А
Группа АВ(IV)	I^AI^B	А и В	Оба типа отсутствуют

Приложение Д

Группы крови человека в системе АВ0 в разных семьях

Родители		Дети			
№		0(I)	A(II)	B(III)	AB(IV)
1	0 x 0	все	—	—	—
2 ^x	A x 0 ($I^A I^0$)	1/2	1/2	—	—
3 ^x	A x 0 ($I^A I^A$)	—	все	—	—
4 ^x	A x A ($I^A I^0$ x $I^A I^0$)	1/4	3/4	—	—
5 ^x	A x A ($I^A I^A$ x $I^A I^A$)	—	все	—	—
6 ^x	B x 0 ($I^B I^0$)	1/2	—	1/2	—
7 ^x	B x 0 ($I^B I^B$)	—	—	все	—
8 ^x	B x B ($I^B I^0$ x $I^B I^0$)	1/4	—	3/4	—
9 ^x	B x B ($I^B I^B$ x $I^B I^B$)	—	—	все	—
10	AB x AB	—	1/4	1/4	1/2
11	AB x 0	—	1/2	1/2	—
12 ^x	AB x A ($I^A I^A$)	—	1/2	1/2	—
13 ^x	AB x A ($I^A I^0$)	—	1/2	1/4	1/4

Примечание: ^x – в некоторых семьях; (...) – вероятные генотипы

Приложение Е

Диплоидное число хромосом (2ⁿ) различных растений и животных

Растение	Число хромосом	Животное	Число хромосом
Абрикос	16	Аскарида лошадиная	2, 4
Арбуз	22	Белянка капустная	30
Береза бородавчатая	28, 42	Гидра пресноводная	32
Брюква	38	Голубь	80
Горох посевной	14	Жаба	22
Груша	34	Индейка	82
Дуб обыкновенный	24	Кабан	40
Земляника лесная	14	Коза домашняя	60
Земляника садовая	56	Кошка домашняя	38
Ива	38, 76	Кролик	44
Капуста огородная	18	Крупный рогатый скот	60
Картофель	48	Крыса серая	42
Клевер луговой	14	Кузнечик	18
Клубника	42	Курица домашняя	78
Крыжовник	16	Лисица	38
Кукуруза	20	Лошадь	66
Ландыш	36, 38	Лягушка	26
Лук	16	Муха домашняя	12
Малина обыкновенная	14, 28	Мушка плодовая	8
Морковь огородная	18	Мышь домовая	40
Овес	42	Окунь	28
Огурец	14	Осел	66
Перец	48	Пчела	16, 32
Персик	16	Сазан	104
Подсолнечник	34	Свинка морская	64
Редис	18	Свинья домашняя	40
Редька	18	Собака домашняя	78
Рис	24	Таракан	48
Робиния ложноакациевая	20	Хомячок золотистый	44
Свекла	18	Хомячок серый	22
Слива	48	Человек	46
Смородина красная	16	Червь дождевой	36
Сосна	24	Шимпанзе	48
Томат	24	Ящерица прыткая	38
Тополь черный	38, 57		
Традесканция	24		
Тыква	40		
Фасоль	22		
Флокс	14		
Хрен	28, 32		
Черешня	16		
Яблоня	34, 51		
Ясень обыкновенный	46		
Ячмень	14		

Приложение Ж

Уровни перекрестной совместимости в популяции при гаметофитной системе самонесовместимости

Тип скрещивания	Генотип		Пыльцевые зерна		Генотип потомства
	♀	♂	функциональные	нефункциональные	
Оба растения с одним и тем же генотипом (самоопыление)	S^1S^2	S^1S^2	нет	все	нет
Растения различаются по одному аллелю: прорастает половина пыльцы	S^1S^2 SS^3	S^1S^3 S^1S^2	S^3 S^2	S^1 S^1	S^1S^3 ; S^2S^3 S^1S^2 ; S^2S^3
Растения различаются по обоим аллелям: прорастает вся пыльца	S^1S^2 S^3S^4	S^3S^4 S^1S^2	S^3 ; S^4 S^1 ; S^2	нет нет	S^1S^3 ; S^1S^4 S^2S^3 ; S^2S^4 S^1S^3 ; S^2S^3 S^1S^4 ; S^2S^4

Приложение 3

Возможные расщепления в F₂ и F_a при независимом наследовании двух признаков с разным генетическим контролем*

Тип скрещивания	Расщепление в F ₂		Ожидаемое соотношение по двум признакам
	по одному признаку	по другому признаку	
F ₂	3:1	9:3:3:1	27:9:9:9:3:3:3:1
		9:3:4	27:9:12:9:3:4
		9:6:1	27:9:18:6:3:1
		9:7	27:9:21:7
		12:3:1	36:12:9::3:3:1
		13:3	39:13:9:3
		15:1	45:15:3:1
	1:2:1	9:3:3:1	9:18:9:3:6:3:3:6:3:1:2:1
		9:3:4	9:18:9:3:6:3:4:8:4
		9:6:1	9:18:9:6:12:6:1:2:1
		9:7	9:18:9:7:14:7
		12:3:1	12:24:12:3:6:3:1:2:1
		13:3	13:26:13:3:6:3
		15:1	1:30:15:1:2:1
F _a	1:1	1:1:1:1	1:1:1:1:1:1:1:1
		1:1:2	1:1:1:1:2:2
		3:1	1:1:3:3

* Генетический контроль: комплементарность, эпистаз, полимерия

Приложение И

Значения χ^2 при различных степенях свободы (по Фишеру, с сокращением)

Число степеней свободы (n)	ВЕРОЯТНОСТЬ (P)									
	0,99	0,95	0,90	0,75	0,50	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01
1	0,00	0,00	0,02	0,10	0,45	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63
2	0,02	0,10	0,21	0,58	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21
3	0,11	0,35	0,58	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	9,35	11,34
4	0,30	0,71	1,06	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	11,14	13,28
5	0,55	1,15	1,61	2,67	4,35	6,63	9,24	11,07	12,83	15,09

Репш Наталья Викторовна
Коляда Александр Степанович

Решение задач по общей генетике: Практикум

В авторской редакции

Подписано в печать 27.06. 2024 г.
Формат 60х84 / 8. Усл. печ. л. 18,25.
Тираж 100 экз. Заказ 97.

Отпечатано в типографии «Полиграф-сервис» г. Уссурийск
692500, г. Уссурийск, ул. Калинина, 41

ФГБОУ ВО Приморский ГАТУ
Адрес: 692510, г. Уссурийск, пр-т Блюхера, 44

Репш Наталья Викторовна

Кандидат биологических наук, доцент.

Выпускница Уссурийского государственного педагогического института. Педагогический стаж 21 год. Преподавала дисциплины биологического и экологического профиля в УГПИ, Школе педагогики Дальневосточного федерального университета, Приморском государственном аграрно-технологическом университете.

Автор более 150 научных и методических трудов в области зоологии, экологии и методики преподавания биологии, в том числе с грифами Учебно-методического объединения по специальностям педагогического образования, Учебно-методического объединения Российской Академии Естествознания, Дальневосточного регионального учебно-методического центра.

Коляда Александр Степанович

Кандидат биологических наук, доцент.

Выпускник Уссурийского государственного педагогического института. Педагогический стаж 27 лет. Преподавал дисциплины биологического и экологического профиля в УГПИ, Школе педагогики Дальневосточного федерального университета, Приморском государственном аграрно-технологическом университете.

Удостоен грамоты Министерства образования России.

Автор около 200 научных и методических трудов в области морфологии и экологии растений.