**Министерство сельского хозяйства  
И продовольствия республики беларусь**

**ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ**

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

**ГЕНЕТИКА И СЕЛЕКЦИЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

**В двух частях**

**Часть 1**

**ГЕНЕТИКА**

***Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области сельского хозяйства  
в качестве лабораторного практикума для студентов  
учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям  
1-74 02 03 Защита растений и карантин,***

***1-74 02 05 Агрохимия и почвоведение,***

***1-33 01 06 Экология сельского хозяйства***

**Горки**

**БГСХА**

**2015**

УДК 631.523+631.527(076.5)

ББК 28.54+41.3я7

Г34

*Рекомендовано Научно-методическим советом БГСХА  
26.03.2014 (протокол № 7)  
и методической комиссией агроэкологического факультета  
21.03.2014 (протокол № 7)*

Авторы:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Г. И. Витко*;

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Е. В. Равков*;

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *Г. И. Таранухо*;

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *В. А. Двойнишников*

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *В. Н. Буштевич*;

кандидат сельскохозяйственных наук *Е. И. Дубовик*;

доктор сельскохозяйственных наук *И. П. Козловская*

|  |  |
| --- | --- |
| Г34 | **Генетика и селекция сельскохозяйственных культур** : лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1. Генетика / Г. И. Витко [и др.]. – Горки : БГСХА, 2015. – 244 с.  ISBN 978-985-467-543-5.  Кратко изложены основные положения генетики по разделам курса, рассмотрены примеры генетических ситуаций и предложены задачи для решения по темам.  Для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям 1-74 02 03Защита растений и карантин, 1-74 02 05 Агрохимия и почвоведение, 1-33 01 06 Экология сельского хозяйства. |

**УДК 631.523+631.527(076.5)**

**ББК 28.54+41.3я7**

**ISBN 978-985-467-543-5(ч.1)** © УО «Белорусская государственная

сельскохозяйственная академия», 2015

**Предисловие**

В системе высшего сельскохозяйственного образования *генетика* – наука о наследственности и изменчивости организмов и методах управления ими – является одной из важнейших биологических дисциплин и фундаментом современной биологии. Генетика является основой современной селекции – науки о методах создания высокопродуктивных сортов растений и их семеноводства.

В первой части «Генетика» лабораторного практикума «Генетика и селекция сельскохозяйственных культур» кратко изложены основные теоретические положения по каждой теме с учетом отводимых учебных часов согласно учебной рабочей программе и тематическому плану выполнения лабораторных работ. На конкретных культурах разбираются примеры решения задач, методика их решения по каждому разделу генетики, а для закрепления знаний приводятся задачи для самостоятельного решения. Приводимые задачи построены так, чтобы вызвать у студента интерес к самостоятельному решению их, а для решения их он должен обладать определенным уровнем теоретических знаний по определенному разделу генетики и иметь логическое мышление. Для самостоятельной работы, систематического контроля, проведения экспресс-опросов во время занятий приводятся тесты; дается краткий словарь основных терминов и определений.

Практикум предназначен для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям 1-74 02 03 Защита растений и карантин, 1-74 02 05 Агрохимия и почвоведение, 1-33 01 06 Экология сельского хозяйства.

При составлении лабораторного практикума нами были заимствованы рисунки, схемы, задачи из учебных пособий следующих авторов: З. В. Абрамова, О. А. Карлинский, 1979; З. В. Абрамова, 1985; Г. В. Гу-ляев, 1984; В. А. Пухальский, 2007.

**1. Цитологические основы наследственности**

Раздел генетики, посвященный изучению наследственности и изменчивости на клеточном уровне, называется ***цитогенетикой***.

Объектами цитогенетических исследований являются клетка в различные периоды жизнедеятельности и ее органоиды.

***Клетка*** – основа строения и жизнедеятельности растительных и животных организмов.

Основными компонентами клетки являются клеточная оболочка, цитоплазма, ядро, органоиды.

Ядро является обязательным и важнейшим компонентом клетки. Ему принадлежит главная роль в сохранении, передаче и реализации наследственной информации. Ядро окружено ядерной оболочкой, содержит ядерный сок (кариоплазму), ядрышко и хроматин (хроматиновые нити).

Хромосомы являются постоянными компонентами клетки. Они имеют особую организацию, функциональную и морфологическую специфичность, способны к самовоспроизведению и сохранению свойств на протяжении всего органогенеза.

Совокупность хромосом, присущая соматической клетке определенного вида, называется ***кариотипом***. Кариотип характеризуется определенным числом хромосом, размером и формой каждой хромосомы (табл. 1.1).

Таблица 1.1. **Число хромосом у основных видов культурных растений**

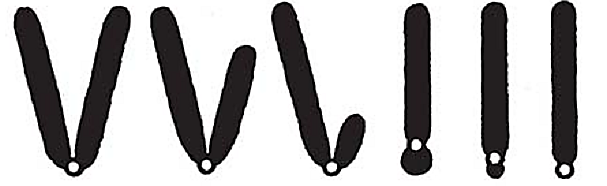
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вид | Число хромосом в клетках | |
| половых | соматических |
| 1 | 2 | 3 |
| **Полевые культуры** | | |
| Пшеница однозернянка | 7 | 14 |
| Пшеница мягкая | 21 | 42 |
| Пшеница твердая | 14 | 28 |
| Рожь посевная | 7 | 14 |
| Овес посевной | 21 | 42 |
| Ячмень многорядный | 7 | 14 |
| Ячмень двурядный | 7 | 14 |
| Кукуруза | 10 | 20 |
| Просо обыкновенное | 18 | 36 |
| Рис посевной | 12 | 24 |
| Гречиха обыкновенная | 8 | 16 |
| Горох посевной | 7 | 14 |
| Бобы кормовые | 6 | 12 |

Окончание табл. 1.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 |
| Фасоль обыкновенная | 11 | 22 |
| Нут культурный | 8 | 16 |
| Вика посевная | 6 | 12 |
| Вика мохнатая | 7 | 14 |
| Подсолнечник культурный | 17 | 34 |
| Соя культурная | 19 | 38 |
| Горчица белая | 12 | 24 |
| Лен обыкновенный | 16 | 32 |
| Сахарная свекла | 9 | 18 |
| Картофель культурный | 24 | 48 |
| Хлопчатник обыкновенный | 26 | 52 |
| Табак настоящий | 24 | 48 |
| Клевер луговой | 7 | 14 |
| Клевер ползучий | 16 | 32 |
| Люпин желтый | 26 | 52 |
| Люпин узколистный | 20 | 40 |
| Люпин белый | 25 | 50 |
| Люцерна посевная | 16 | 32 |
| Тимофеевка луговая | 21 | 42 |
| Овсяница луговая | 7 | 14 |
| **Овощные культуры** | | |
| Томат настоящий | 12 | 24 |
| Перец красный | 12 | 24 |
| Огурец | 7 | 14 |
| Тыква гигантская | 20 | 40 |
| Арбуз столовый | 11 | 22 |
| Турнепс, репа | 10 | 20 |
| Капуста кочанная | 9 | 18 |
| Редька посевная | 9 | 18 |
| Свекла обыкновенная | 9 | 18 |
| Лук репчатый | 8 | 16 |
| **Плодовые культуры** | | |
| Яблоня домашняя | 17 | 34 |
| Груша обыкновенная | 17 | 34 |
| Абрикос обыкновенный | 8 | 16 |
| Вишня обыкновенная | 16 | 32 |
| Слива домашняя | 24 | 48 |
| Персик обыкновенный | 8 | 16 |
| Земляника лесная | 7 | 14 |
| Земляника садовая | 28 | 56 |
| Земляника мускатная | 24 | 42 |
| Малина обыкновенная | 7 | 14 |
| Смородина обыкновенная | 8 | 16 |
| Крыжовник | 8 | 16 |

Наиболее четко морфологические особенности хромосом проявляются в метафазе митоза, поэтому подсчет числа хромосом, определение их размеров, описание и идентификацию проводят в этот период.

Каждая метафазная хромосома состоит из двух хроматид, имеет определенные размеры (диаметр варьирует от 0,2 до 3 мкм, длина − от 0,2 до 50 мкм) и форму, которая зависит от положения первичной перетяжки. В области первичной перетяжки расположен *центромер*, который делит хромосому на два плеча. Если центромер расположен строго посередине и плечи имеют почти одинаковую длину, хромосома называется *метацентрической*, если ближе к одному из концов – *субметацентрической* или *акроцентрической* (рис. 1.1).



*1 2 3 4 5*

Рис. 1.1. Типы хромосом:  
*1* – метацентрическая; *2* – субмета-центрическая; *3−5* – акроцентрическая

Кроме местоположения центромера, морфологическое строение хромосомы определяет *вторичная перетяжка*. Сегмент хромосомы, отделенный вторичной перетяжкой, называется *спутником*, а хромосомы, имеющие его, − *спутничными*. Различают микроспутники, макроспутники, линейные спутники, тандемные спутники.

Подсчет числа хромосом в клетках изучаемого растения позволяет установить:

* его плоидность (гаплоидное, диплоидное, триплоидное и т. д.);
* наличие добавочных хромосом (полисомия);
* отсутствие одной или нескольких хромосом (гетероплоидия).

В кариотипе одной диплоидной соматической клетки (2n) каждая хромосома имеет себе подобную по размеру и морфологии. Такие хромосомы называются ***гомологичными***.

**1.1. Митоз**

Наследственная информация передается в процессе деления клеток. Универсальным способом деления клеток является митоз, в результате которого все вновь образующиеся клетки имеют одинаковый кариотип и генетическую информацию, закодированную в молекулах ДНК.

Митоз, или кариокинез, был впервые открыт И. Д. Чистяковым в 1874 г. В 1882 г. В. Флеминг дал подробное описание митоза и предложил терминологию, связанную с этим процессом.

***Митоз*** – это непрямое деление ядра, которое сопровождается коренной перестройкой всей клетки. Процессы, происходящие при митозе, необратимы.

Период от начала одного деления до другого и совокупность процессов, происходящих при этом в клетке, называется ***митотическим циклом***.

Митотический цикл включает:

* интерфазу (состояние клетки между двумя митозами);
* собственно митоз.

В интерфазе различают три периода:

* пресинтетический (G1);
* синтетический (S);
* постсинтетический (G2).

В *пресинтетический период* в клетке накапливаются богатые энергией вещества (нуклеотиды, аминокислоты, ферменты), необходимые для удвоения генетического материала клетки.

В *синтетический период*в клетке происходит удвоение генетического материала путем репликации (самоудвоения) молекулы ДНК.

Начиная с *постсинтетического периода* в клетке идет спирализация молекул ДНК, синтез белков, ферментов и АТФ, необходимых для нормального течения митоза. Происходит синтез белков, необходимых для построения митотического веретена деления.

В процессе митоза различают четыре последовательно идущие фазы:

* профаза;
* метафаза;
* анафаза;
* телофаза (рис. 1.2).

*Профаза.*

Ядро заметно увеличивается в размерах, и в нем проявляются хромосомы в виде длинных тонких хроматиновых нитей.

Усиливается спирализация хроматиновых нитей. Каждая хромосома состоит из двух хроматид, спирально скрученных и соединенных центромером.

Интенсивно формируется митотический аппарат клетки, состоящий из тянущих и опорных нитей веретена деления.

Происходит фрагментация ядерной оболочки и исчезновение ядрышка.

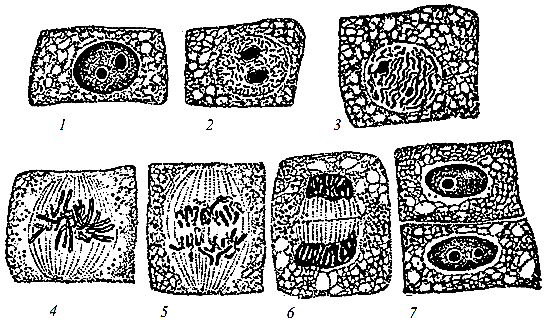


Рис. 1.2. Схема митоза:

*1* – интерфаза; *2* – ранняя профаза; *3* – профаза; *4* – метафаза; *5* – анафаза;  
*6* – телофаза; *7* – цитокинез

*Метафаза.*

Ядерная оболочка полностью фрагментировалась, и хромосомы приближаются к экватору клетки.

Хромосомы располагаются в одной плоскости на экваторе клетки, образуя метафазную пластинку. В метафазе хорошо выявляется форма и строение каждой хромосомы.

Заканчивается формирование митотического аппарата, осуществляется прикрепление тянущих нитей к центромерам.

Происходит одновременное деление центромер всех хромосом данной клетки.

*Анафаза.*

После деления центромер хроматиды отталкиваются одна от другой и расходятся к противоположным полюсам клетки.

В анафазе хроматиды называются *сестринскими хромосомами.*

Движение сестринских хромосом происходит за счет сокращения тянущих и удлинения опорных нитей веретена деления.

Заканчивается анафаза, когда сестринские хромосомы достигают полюсов клетки.

*Телофаза.*

Заканчивается движение сестринских хромосом, они концентрируются на полюсах клетки.

Хромосомы деспирализуются и утрачивают видимую индивидуальность.

Образуется ядро, окруженное оболочкой, восстанавливается ядрышко (ядрышки), закладывается клеточная оболочка.

Происходит разделение всего содержимого исходной материнской клетки и образование двух дочерних клеток – *цитокинез*.

Таким образом, дочерние клетки, возникшие в результате митоза, содержат ту же наследственную информацию, что и исходная материнская клетка. После цитокинеза клетка может вступить в следующий митотический цикл или перейти в состояние дифференциации.

**Биологическое значение митоза.**

1. Способствует сохранению набора хромосом в ряду клеточных поколений.
2. Способствует росту и развитию организма.
3. Способствует омоложению клеток.

**Задания**

**Задание 1.**

1. В какой период интерфазы происходит удвоение генетического материала клетки?
2. В какой фазе митоза заканчивается формирование митотичес-  
   кого аппарата?
3. В какой фазе митоза происходит деление центромер?
4. Перечислите все фазы митоза.
5. Сколько хроматид содержится в анафазе в клетках лука?

**Задание 2.**

1. В какой фазе митоза тянущие нити веретена прикрепляются к центромерам хромосом?
2. Когда начинается формирование митотического веретена?
3. В конце какой фазы фрагментируется ядерная оболочка?
4. Сколько хроматид содержится в анафазе в одной клетке у клевера лугового?
5. Сколько хроматид содержится в метафазе в клетках ячменя?

**Задание 3.**

1. В какой фазе митоза происходит разделение цитоплазмы между дочерними клетками?
2. Какая фаза митоза начинается после деления центромер?
3. Какой период митотического цикла предшествует репликации ДНК?
4. Сколько хромосом содержится в ядре одной клетки у твердой пшеницы?
5. Сколько хромосом содержится в профазе у диплоидной ржи?

**Задание 4.**

1. В какой фазе митоза деспирализуются хромосомы?
2. В какой период митотического цикла происходит репликация молекулы ДНК?
3. В какой фазе наиболее четко выражены морфологические признаки хромосом?
4. Сколько хроматид содержится у сои культурной в одной клетке в анафазе?
5. В начале какой фазы митоза хроматиды начинают расходиться к полюсам клетки?

**Задание 5.**

1. В какой фазе митоза происходит полная реконструкция ядра?
2. В какой фазе митоза происходит деление центромер?
3. Сколько хромосом содержится в метафазе в одной клетке у гречихи обыкновенной?
4. В какой период митотического цикла происходит репликация молекул ДНК?
5. Какой период интерфазы предшествует репликации ДНК?

**Задание 6.**

1. В какой фазе митоза хромосомы уже состоят из двух хроматид?
2. Сколько хроматид содержится в метафазе в клетках ячменя?
3. В какой фазе митоза заканчавается деспирализация хромосом?
4. В какой период митотического цикла происходит репликация молекул ДНК?
5. В какой фазе митоза хроматиды расходятся к полюсам?

**Задание 7.**

1. В какой фазе митоза начинается разделение цитоплазмы и ее органоидов между дочерними клетками?
2. В какой период интерфазы происходит удвоение генетического материала клетки?
3. В начале какой фазы начинается спирализация хроматиновых нитей?
4. В какой фазе митоза хромосомы имеют четко выраженное мор-  
   фологическое строение?
5. В какой фазе митоза начинает формироваться клеточная оболочка?

**Задание 8.**

1. Сколько хромосом содержится в одном ядре в телофазе митоза у гороха посевного?
2. В начале какой фазы митоза хроматиды начинают расходиться к полюсам клетки?
3. В какой фазе митоза тянущие нити веретена прикрепляются к центромерам хромосом?
4. Какой период интерфазы предшествует репликации молекулы ДНК?
5. Сколько хромосом содержится в метафазных клетках картофеля?

**Задание 9.**

1. В конце какой фазы митоза происходит фрагментация ядерной оболочки и исчезновение ядрышка?
2. В какой период митотического цикла происходит репликация ДНК?
3. В какой фазе митоза центромеры хромосом располагаются по экватору клетки?
4. Сколько хроматид содержится в клетках персика в анафазе митоза?
5. В какой фазе митоза начинается деспирализация хромосом?

**Задание 10.**

1. В какой фазе наиболее интенсивно идет процесс спирализации хроматиновых нитей?
2. В начале какого периода интерфазы в ядре клетки уже содержится удвоенная генетическая информация?
3. Сколько хроматид содержится в анафазе митоза в клетках свеклы обыкновенной?
4. Когда заканчивается формирование митотического аппарата?
5. В какой фазе митоза начинает закладываться клеточная оболочка?

**1.2. Мейоз**

***Мейоз*** – особый вид деления клеток, в процессе которого число хромосом редуцируется (уменьшается) в два раза, становится гаплоидным. Диплоидное число хромосом восстанавливается в процессе оплодотворения при слиянии двух гаплоидных половых клеток (гамет) – отцовской и материнской.

Мейоз протекает в два этапа:

1. ***редукционное деление (мейоз I)*** – направлено на уменьшение набора хромосом из диплоидного в гаплоидный – в результате образуется *диада* (две клетки с гаплоидным набором хромосом);
2. ***эквационное деление (мейоз II)*** – направлено на увеличение числа клеток и сохранение гаплоидного набора хромосом – в результате образуется *тетрада* (четыре клетки с гаплоидным набором хромосом).

Каждое деление состоит из ряда последовательных фаз (рис. 1.3, 1.4).

Лептонема

Зигонема

Пахинема

Профаза I

Диплонема

Диакинез

Метафаза I

Мейоз I

Анафаза I

Телофаза I

Мейоз

Интеркинез

Профаза II

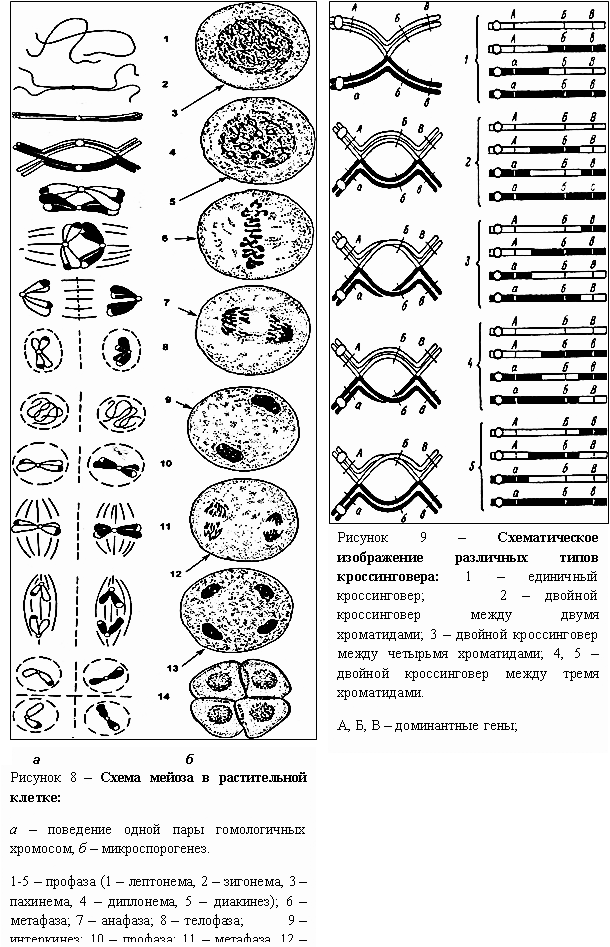
Метафаза II

Мейоз II

Анафаза II

Телофаза II

Рис. 1.3. Схема мейоза



*1*

*2*

*3*

*4*

*5*

*6*

*7*

*8*

*9*

*10*

*11*

*12*

*13*

*14*

Рис. 1.4. Схема мейоза в растительной клетке:  
*1*−*5* – профаза I (*1* – лептонема; *2* – зигонема;  
*3* – пахинема; *4* – диплонема; *5* – диакинез);  
*6* – метафаза I; *7* – анафаза I; *8*  телофаза I;  
*9* – интеркинез; *10* – профаза II; *11* – метафаза II; *12* – анафаза II; *13* − телофаза II;  
*14* – образование тетрады микроспор

11

12

10

9

8

7

Фазы первого деления принято обозначать цифрой I, второго – II. Между первым и вторым делениями клетки находятся в состоянии *интеркинеза*.

***Редукционное деление.***

***Профаза I.*** *Лептонема, или лептотена (стадия тонких нитей).*

Хромосомы имеют вид длинных тонких нитей. Каждая хромосома состоит из двух хроматид, которые тесно прижаты друг к другу.

*Зигонема, или зиготена (стадия соединительных нитей).*

Происходит спирализация хромосом. Хромосомы становятся толстыми и короткими.

Гомологичные хромосомы выстраиваются друг напротив друга и

соединяются попарно. Этот процесс называется *конъюгация*. Конъюгация обычно начинается при соприкосновении концевых и центромерных участков гомологичных хромосом и распространяется по всей их длине.

В результате конъюгации образуются *биваленты* – комплексы из соединенных попарно гомологичных хромосом. Число бивалентов соответствует гаплоидному набору.

В случае повреждения участков конъюгации образуются *униваленты*, что ведет к появлению организмов с различными хромосомными отклонениями.

*Пахинема, или пахитена (стадия толстых нитей).*

Размеры ядра и ядрышка увеличиваются.

В каждом биваленте хромосомы начинают спирализоваться, в результате чего образуются Х-образные фигуры – *хиазмы*, в которых происходит кроссинговер.

***Кроссинговер*** – обмен гомологичными участками у гомологичных хромосом (рис. 1.5).

Каждая из четырех хроматид в биваленте имеет одинаковую вероятность кроссинговера, поэтому он может происходить между двумя, тремя и четырьмя хроматидами. Кроссинговер всегда приводит к рекомбинациям генов в хромосоме, что способствует комбинационной изменчивости.

*Диплонема, или диплотена (стадия двойных нитей).*

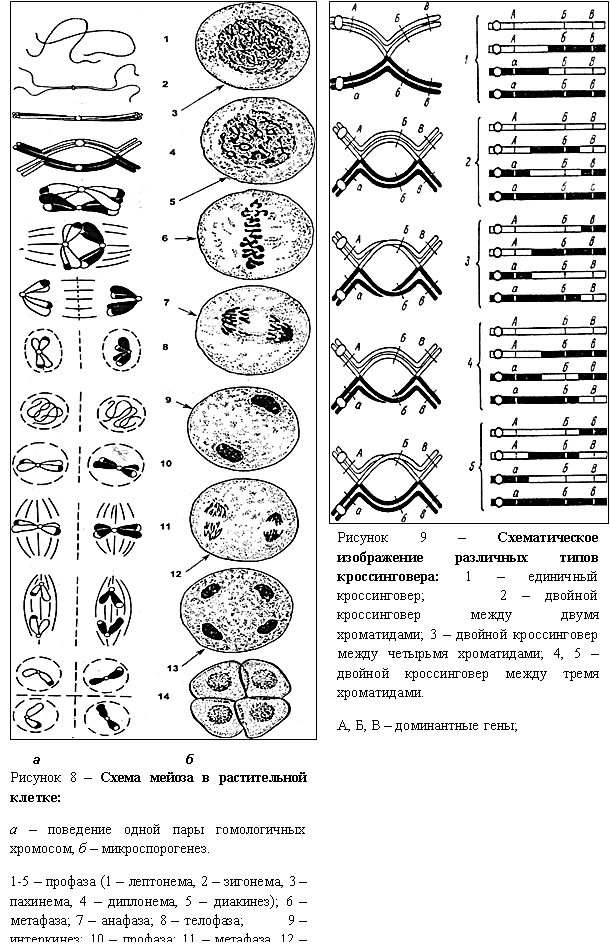
Хромосомы, соединенные в биваленты, резко отталкиваются друг от друга вначале в центромерном участке, а затем по всей длине, оставаясь соединенными в местах кроссинговера.

*Диакинез («движение вдаль»).*

Хромосомы, входящие в состав бивалента, максимально спирализуются и как бы прижимаются к ядерной оболочке. В этот период можно посчитать число нормальных половых хромосом и блуждающих унивалентов.

Образуются нити веретена деления.

В конце этой стадии исчезает ядрышко и ядерная оболочка.



*1*

*2*

*3*

*4*

*5*

Рис. 1.5. Схематическое изображение различных типов кроссинговера: *1* – единичный кроссинговер;  
*2* – двойной кроссинговер между двумя хроматидами;  
*3* – двойной кроссинговер между четырьмя хроматидами; *4−5* – двойной кроссинговер между тремя хроматидами;  
*А*, *Б*, *В* – доминантные гены; *а*, *б*, *в* – рецессивные гены

***Метафаза I.***

Заканчивается формирование веретена деления.

Биваленты располагаются в цитоплазме по экватору клетки.

Тянущие нити веретена деления прикрепляются к центромерам ближайших хромосом и разводят их к полюсам клетки.

***Анафаза I.***

Гомологичные хромосомы расходятся к полюсам клетки. Расхождение каждой пары гомологичных хромосом носит случайный характер, поэтому число возможных сочетаний материнской и отцовской хромосом на каждом полюсе может достигать количества 2n, где n – гаплоидное число хромосом.

***Телофаза I.***

Хромосомы концентрируются на полюсах клетки.

На экваторе происходит цитокинез, образуется диада клеток (однодольные). У других видов (двудольные) клеточная оболочка не образуется и телофаза I переходит к делению мейоза II.

***Эквационное деление*** идет по типу митоза, но без интерфазы. Репликация ДНК не происходит, так как каждая хромосома уже состоит из двух хроматид.

**Биологическое значение мейоза.**

1. Поддерживает постоянный набор хромосом в ряду организменных поколений.
2. Способствует комбинационной изменчивости за счет кроссинговера и расхождению хромосом в анафазе мейоза I.

**Задания**

**Задание 11.**

1. В какой стадии мейоза происходит конъюгация хромосом?
2. В какой фазе мейоза хромосомы располагаются по экватору клетки?
3. Сколько хромосом содержит макроспора клетки овса?
4. Сколько хромосом содержат клетки диады у люпина белого?
5. Сколько разных типов гамет может образоваться у кукурузы в результате случайного независимого сочетания материнских и отцовских хромосом (укажите показатель степени)?

**Задание 12.**

1. Сколько хроматид содержится у ячменя в метафазе I?
2. Когда хромосомы имеют вид длинных тонких нитей и состоят из двух хроматид?
3. В какой фазе образуются биваленты у картофеля?
4. Когда образуются биваленты?
5. Сколько разных типов гамет может образоваться у желтого люпина в результате случайного независимого сочетания материнских и отцовских хромосом (укажите показатель степени)?

**Задание 13.**

1. Сколько бивалентов может образоваться у абрикоса?
2. В какой фазе мейоза происходит конъюгация хромосом?
3. В какой фазе мейоза хромосомы располагаются по экватору клетки?
4. Когда происходит расхождение хромосом к полюсам клетки?
5. Сколько отцовских хромосом будет содержать макроспора огурца, если в анафазе I к данному полюсу отойдут шесть материнских хромосом?

**Задание 14.**

1. Сколько хроматид содержится в одной клетке диады у ржи в анафазе II?
2. Сколько максимально возможных материнских хромосом может содержаться в одной микроспоре у малины обыкновенной?
3. В какой фазе мейоза происходит случайное независимое рас-  
   хождение хромосом к полюсам?
4. Сколько хромосом содержится в клетках тетрады у турнепса?
5. Сколько разных типов гамет может образоваться у риса посевного в результате случайного независимого сочетания материнс-  
   ких и отцовских хромосом (укажите показатель степени)?

**Задание 15.**

1. Когда хромосомы, соединенные в биваленты, начинают отталкиваться друг от друга?
2. В какой фазе мейоза хромосомы начинают расходиться к полю-  
   сам клетки?
3. Сколько хромосом содержится в клетке диады у тыквы?
4. Сколько хроматид содержится в одном биваленте у овса?
5. Сколько клеток образуется после деления мейозом?

**Задание 16.**

1. В какой фазе мейоза хромосомы уже состоят из двух хроматид?
2. Когда образуются биваленты?
3. Сколько сестринских хромосом содержится в одной клетке диады в анафазе II у тимофеевки луговой?
4. Сколько хромосом содержится в одной микроспоре у томата?
5. Сколько разных типов гамет может образоваться у томата в результате случайного независимого сочетания материнских и отцовских хромосом (укажите показатель степени)?

**Задание 17.**

1. В какой фазе мейоза происходит кроссинговер?
2. Когда начинается образование хиазм?
3. В какой фазе мейоза хроматиды начинают расходиться к полюсам клетки?
4. Сколько хроматид содержится в метафазе I у гречихи обыкно-  
   венной?
5. Сколько хромосом содержится в каждой клетке диады у овса посевного?

**Задание 18.**

1. В какой фазе мейоза биваленты располагаются по экватору клетки?
2. Сколько хромосом содержится в одном биваленте у пшеницы?
3. Когда начинается образование хиазм?
4. Сколько максимально возможных материнских хромосом может содержаться в микроспоре у земляники садовой?
5. Когда начинается отталкивание хромосом в биваленте?

**Задание 19.**

1. Когда хромосомы состоят из двух хроматид и имеют вид длинных тонких нитей?
2. В какой фазе мейоза хромосомы располагаются по экватору клетки?
3. Какой тип кроссинговера можно назвать «двойной кроссинговер между четырьмя хроматидами»?
4. Сколько хромосом содержит одна макроспора культурного картофеля?
5. Сколько возможных сочетаний материнских и отцовских хромосом может быть в микроспоре при случайном независимом их расхождении у льна обыкновенного (укажите показатель степени)?

**Задание 20.**

1. Когда биваленты располагаются по периферии ядра?
2. В какой фазе мейоза хромосомы начинают расходиться к полю-  
   сам клетки?
3. Сколько максимально возможных отцовских хромосом может содержать макроспора томата?
4. Сколько хромосом содержится в одной микроспоре кукурузы?
5. Сколько сестринских хроматид содержится в одной клетке диады в анафазе II у твердой пшеницы?

**2. Закономерности наследования ПРИЗНАКОВ  
при внутривидовой гибридизации**

Основные закономерности наследования признаков были обоснованы Г. Менделем еще в 1865 г. Он разработал ***метод гибридологического анализа наследования признаков*** у гибридного потомства, полученного при внутривидовом скрещивании*.*

При использовании гибридологического анализа необходимо соблюдать следующие правила.

1. Формы, у которых требуется выяснить характер наследования признаков, обязательно скрещиваются между собой.
2. Скрещиваемые формы должны отличаться контрастными, альтернативными признаками и быть гомозиготными (для этого их предварительно проверяют на константность наследования данного признака).
3. Скрещивание проводят один раз, а гибриды размножаются при самоопылении.
4. Гибридные растения и их потомство в ряду поколений изучается индивидуально по каждой паре признаков.
5. В каждом поколении гибридов проводят количественный и качественный учет растений, имеющих изучаемый признак.
6. Обязателен статистический анализ результатов гибридизации при помощи метода χ2 (хи-квадрат) для определения критерия соответствия фактически полученных данных теоретически ожидаемым.

Следует пользоваться общепринятыми символами и условными обозначениями:

× – скрещивание;

♀ – материнская особь;

♂ – отцовская особь.

Название материнской особи пишут на первом месте, отцовской – на втором.

Р – родительские особи, взятые для скрещивания (от лат. *parentis* – родители).

Потомство, полученное от скрещивания родительских форм, имеющих альтернативные признаки, называют ***гибридами***, а совокупность гибридов одного поколения − ***гибридным потомством*** данной гибридной комбинации.

F – гибридное потомство (от лат. *filii* − дети).

Цифрой, стоящей возле буквы F, обозначают поколение гибридов, например, F1,F2 или F3.

Потомство, полученное от скрещивания родительских форм, называют первым поколением; потомство, полученное от самоопыления или от скрещивания между собой гибридов первого поколения – вторым и т. д.

**2.1. Моногибридное скрещивание**

***Моногибридное скрещивание***– это скрещивание родительских особей, различающихся по одной паре альтернативных признаков. Следовательно, моногибридное скрещивание включает анализ лишь одной аллельной пары признаков.

Организмы, имеющие генотипы АА или аа, ВВ или bb, образуют один тип гамет А или а, В или b. Поэтому при самоопылении или близкородственном разведении они дают константное, т. е. нерасщепляющееся по изучаемым признакам, потомство. Такие организмы называются *гомозиготными*.

Организмы с генотипами Аа или Вb образуют соответственно два типа гамет А и а, В и b и при самоопылении или близкородственном разведении дают расщепляющееся потомство по изучаемым признакам. Их называют *гетерозиготными*, или гибридными по данным признакам.

Анализ гибридного потомства, полученного при моногибридном скрещивании, дает возможность установить закономерности наследования данных признаков.

**Пример.** У гороха желтая окраска семян доминирует над зеленой. Гомозиготный желтосемянный сорт гороха опылили пыльцой сорта, имеющего зеленые семена (рис. 2.1).

В F1 получили 16 растений, от самоопыления которых было получено 144 растения F2.

1. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько разных генотипов может образоваться в F2?
3. Сколько рецессивных гомозигот образуется в F2?
4. Сколько гибридов F2 будут гетерозиготными?
5. Сколько желтосемянных гибридов F2 при самоопылении дадут нерасщепляющееся потомство?

*Решение* задач на моногибридное и другие типы скрещиваний требует строгого соблюдения определенной последовательности и формы записей.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Желтый  АА | × ♂ | | Зеленый  аа |  |
| Гаметы | |  |  | |  |  |
| F1 |  |  | Желтый  Аа | |  |  |
| Гаметы | | ♂ |  | |  |  |
| F2 | ♀ | Желтый    АА | | Желтый    Аа | |  |
|  |  | Желтый    Аа | | Зеленый    аа | |  |

Рис. 2.1. Наследование окраски семян у гороха

*1. Записываем культуру, изучаемый признак и условные обозначения аллелей.*

Горох посевной

Окраска семян.

А – желтые;

а – зеленые.

*2. Выписываем генотипы, фенотипы родительских компонентов и составляем схему скрещивания.*

желтые зеленые

P ♀ АА × ♂ аа

*3. Выписываем гаметы, которые могут образоваться у родительских компонентов.*

G

*4. Получаем первое гибридное поколение (от слияния отцовской и материнской гамет).*

желтые

F1 Аа

Все гибриды первого поколения будут иметь желтую окраску семян, зеленая окраска не проявляется.

Признак, который проявляется в первом поколении гибридов, называется *доминантным*. *Рецессивным* называют признак, который не проявляется у гибридов первого поколения.

***Первый закон Менделя – закон доминирования (единообразия гибридов первого поколения)***: у гибридов первого поколения из каждой пары альтернативных признаков развивается только один, второй находится в скрытом состоянии, не проявляется.

Гибриды первого поколения являются единообразными по изучаемому признаку и образуют один генотип.

*5. Записываем схему самоопыления гибридов первого поколения*.

F1 ♀ Аа × ♂ Аа

*6. Выписываем гаметы, которые могут образоваться у гибридов первого поколения.*

G

*7. Выписываем все возможные генотипы от слияния мужских и женских гамет и определяем фенотипы гибридов F2:*

3 : 1 расщепление по фенотипу

желтые желтые желтые зеленые

F2 АА Аа Аа аа

1 2 1 расщепление по генотипу

доминантные гетерозиготы рецессивные

гомозиготы гомозиготы

***Второй закон Менделя – закон расщепления***: при самоопылении (или сестринском скрещивании) гибридов первого поколения в F2 проявляются признаки обеих родительских особей в определенных числовых соотношениях: ¾ доминантных и ¼ рецессивных (3:1).

Среди ¾ особей второго поколения ¼ даст в F3 нерасщепляющееся потомство, а ¾ дадут расщепление в соотношении 3:1.

Расщепление по генотипу будет идти в соотношении ¼ доминантных гомозигот : 2/4 гетерозигот : ¼ рецессивных гомозигот. Все гетерозиготные особи в последующих поколениях будут расщепляться по фенотипу и по генотипу в тех же соотношениях.

*8. Рассчитываем, сколько растений приходится на 1 часть.*

144 растения, полученные в F2, составляют 4 части;

х растений – 1 часть;

х= = 36.

Таким образом, на 1 часть приходится 36 растений.

*9. На основании составленной схемы скрещивания даем ответы на вопросы задачи.*

1. Растение F1 может образовать два типа гамет − и .
2. В потомстве F2 может образоваться три разных генотипа − АА, Аа, аа.
3. Рецессивных гомозигот (аа) в потомстве F2 будет 1 часть, т. е. 36 растений (1 часть ∙ 36 растений).
4. Гетерозиготных растений (Аа) в потомстве F2 будет 2 части, т. е. 72 растения (2 части ∙ 36 растений).
5. Желтосемянными растениями в потомстве F2 будут доминантные гомозиготы (АА) и гетерозиготы (Аа), но нерасщепляющееся по-томство дают только гомозиготы (АА), т. е. 1 часть, или 36 растений.

***Возвратные скрещивания (беккроссы)*** – скрещивания, при которых гибрид повторно (однократно или многократно) скрещивается с одной из родительских форм (рис. 2.2).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Желтый  Аа | × ♂ | | Желтый  АА |  |
| Гаметы | |  |  | |  |  |
|  | |  |  | |  |  |
| Fв | Желтый    АА | Желтый    АА | | Желтый    Аа | | Желтый    Аа | |

Рис. 2.2. Возвратное скрещивание гибрида F1 с доминантной  
родительской формой

Потомство, полученное от возвратного скрещивания с одной из родительских форм, обозначается Fв.

Возвратные скрещивания применяются для закрепления или усиления необходимого признака или свойства.

Возвратное скрещивание гибрида F1 с родительской формой, имеющей данный признак в рецессивном состоянии, называется *анализирующим скрещиванием* (рис. 2.3).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Желтый  Аа | × ♂ | | Зеленый    аа |  |
| Гаметы | |  |  | |  |  |
|  | |  |  | |  |  |
| Fв | Желтый    Аа | Желтый    Аа | | Зеленый    аа | | Зеленый    аа | |

Рис. 2.3. Анализирующее скрещивание

Потомство, полученное от анализирующего скрещивания, обозначается Fа.

Анализирующие скрещивания применяются для определения неизвестного генотипа или типов гамет.

**Пример.** У ячменя имеется рецессивный ген, который в гомозиготном состоянии вызывает альбинизм, и такие растения гибнут в состоянии всходов. Альтернативный доминантный аллель обусловливает нормальное развитие зеленого растения.

От скрещивания гетерозиготных форм ячменя по данному гену получили 744 плодоносящих растения.

1. Сколько типов гамет может образовать гетерозиготное растение ячменя?
2. Сколько разных генотипов может образоваться при таком скрещивании?
3. Сколько растений погибло в фазе всходов?
4. Сколько плодоносящих растений могут дать нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько растений из 744 могут быть гетерозиготными?

*Решение.*

Ячмень

Окраска растения.

А – зеленая окраска;

а – белая (альбинизм).

F1 – 744 растения.

зеленая зеленая

Р ♀ Аа × ♂ Аа

G

зеленая зеленая зеленая белая

F1 АА, Аа, Аа, аа

3 части

(744 растения)

На 1 часть приходится 248 растений (744 растения F1 : 3 части).

*Ответы.*

1. 2 типа гамет: и .
2. 3 разных генотипа (АА, Аа и аа), у плодоносящих растений –  
   2 генотипа (АА и Аа).
3. 248 растений с генотипом аа (1 часть · 248 растений).
4. 248 растений с генотипом АА (1 часть · 248 растений).
5. 496 растений с генотипом Аа (2 части · 248 растений).

Пример. У редиса форма корнеплода наследуется по типу неполного доминирования и растения имеют три типа корнеплодов: длинный, овальный и круглый.

Скрещивали растения с длинными и круглыми корнеплодами. В F1получили 72 растения (все имели овальный корнеплод), в F2 −260 растений.

1. Сколько типов гамет может образовать растение совальным корнеплодом?
2. Сколько типов гамет может образовать растение, имеющее круглый корнеплод?
3. Сколько растений F2могут иметь овальную форму корнеплода?
4. Сколько разных фенотипов может быть у растений F2?
5. Сколько растений F2 могут иметь круглую форму корнеплода?

*Решение.*

Редис

Форма корнеплода.

А – длинный;

а – круглый;

Аа – овальный.

F1 – 72 растения.

F2 − 260 растений.

длинный круглый

P ♀ АА × ♂ аа

G

овальный

F1 ♀ Аа × ♂ Аа

G

длинный овальный овальный круглый

F2 АА, Аа, Аа, аа

На 1 часть приходится 65 растений (260 растений F2 : 4 части).

*Ответы.*

1. 2 типа гамет: и .
2. 1 тип гамет .
3. 130 растений (2 части ∙ 65 растений).
4. 3 фенотипа (длинный, овальный, круглый).
5. 65 растений (1 часть ∙ 65 растений).

**Задания**

**Задание 21.**

У гороха желтая окраска семян доминирует над зеленой.

Гомозиготное растение с желтыми семенами было опылено пыльцой гомозиготного растения с зелеными семенами. Всего в F1 было получено 10 растений. Растения F1 переопылили между собой и получили в F2 64 растения.

1. Сколько разных фенотипов может быть в F1?
2. Сколько растений F1 имели желтую окраску?
3. Сколько растений в F2 могут иметь желтые семена?
4. Сколько растений в F2 имеют рецессивный признак?
5. Сколько генотипов образуется в F2?

**Задание 22.**

У моркови желтая окраска корнеплода доминирует над красной.

Гомозиготное растение с красным корнеплодом скрестили с гомозиготным растением, имеющим желтый корнеплод. Получили 10 растений F1, от самоопыления которых получили 100 растений F2.

1. Сколько растений F1 могут быть гетерозиготными?
2. Сколько различных типов гамет могут образовать растения F1?
3. Сколько различных генотипов может быть в F2?
4. Сколько доминантных гомозиготных растений будет в F2?
5. Сколько растений F2 будет иметь красную окраску корнеплода?

**Задание 23.**

У пшеницы красная окраска колоса является доминантной по отношению к белой.

Гомозиготное красноколосое растение было опылено пыльцой белоколосого растения. От самоопыления растений F1 было получено  
96 растений F2.

1. Сколько различных типов гамет могут образовать растения F1?
2. Сколько различных фенотипов может образоваться в F2?
3. Сколько растений F2 могут быть белоколосыми?
4. Сколько растений F2 могут быть гетерозиготными?
5. Сколько гомозиготных красноколосых растений может образоваться в F2?

**Задание 24.**

У растений дурмана пурпурная окраска цветков доминирует над белой.

Гетерозиготное растение, имеющее пурпурную окраску цветков, при самоопылении дало 44 потомка.

1. Сколько разных типов гамет может образовать гетерозиготное растение?
2. Сколько разных генотипов среди потомков F2?
3. Сколько разных фенотипов среди потомков F2?
4. Сколько растений, полученных от этого скрещивания, были гетерозиготными?
5. Сколько растений в F2 могут быть с пурпурным венчиком?

**Задание 25.**

У фигурной тыквы белая окраска плода доминирует над желтой окраской.

От скрещивания гомозиготного растения с белыми плодами с растением, имеющим желтые плоды, получили 25 растений. В результате возвратного скрещивания гибридов F1 с родительской формой, имеющей доминантные признаки, получили 1600 растений.

1. Сколько растений F1 имели белые плоды?
2. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
3. Сколько различных фенотипов может образоваться в Fв?
4. Сколько растений Fв могли иметь белую окраску плодов?
5. Сколько растений из 200, полученных от возвратного скрещивания с рецессивной родительской формой, могли иметь желтые плоды?

**Задание 26.**

У ячменя пленчатость зерновки доминирует над голозерностью.

Скрещивали гомозиготные растения пленчатого сорта с голозерным. В F1 выращено 12 растений. От самоопыления растений F1 получили 480 семян F2.

1. Сколько растений F1 могут быть гетерозиготными?
2. Сколько типов гамет может образовать голозерное растение?
3. Сколько разных генотипов в F2?
4. Сколько семян F2 могут быть пленчатыми?
5. Сколько семян F2 могут быть голозерными?

**Задание 27.**

У пшеницы безостость колоса доминирует над остистостью.

Гетерозиготное безостое растение скрестили с остистым. В Fа получено 24 растения.

1. Сколько типов гамет может образовать остистое растение?
2. Сколько типов гамет образует гетерозиготное растение?
3. Сколько в Fа может быть остистых растений?
4. Сколько различных генотипов может быть в Fа?
5. Сколько растений Fа могут быть гетерозиготными?

**Задание 28.**

У гороха гладкая форма семян доминирует над морщинистой.

Гетерозиготные растения с гладкими семенами были опылены пыльцой растений с морщинистыми семенами. В Fа получили 480 семян.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько типов гамет образует отцовское растение?
3. Сколько семян Fа могут быть гетерозиготными?
4. Сколько семян Fа могут дать нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько морщинистых семян может быть получено в Fа?

**Задание 29.**

У томата округлая форма плода доминирует над овальной.

От скрещивания гомозиготного растения с круглыми плодами с растением, имеющим овальные плоды, в F1 получили 30 растений, в  
F2 − 432 растения.

1. Сколько типов гамет может образовать растение с овальными плодами?
2. Сколько растений F1 могут иметь округлые плоды?
3. Сколько разных генотипов в F1?
4. Сколько растений F2, имеющих округлую форму плодов, могут давать нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько растений F2 могут иметь овальную форму плодов?

**Задание 30.**

У овса ген раннеспелости доминирует над геном, определяющим позднеспелость.

От скрещивания двух гетерозиготных раннеспелых сортов в потомстве было получено 256 растений.

1. Сколько различных фенотипов может образоваться в потомстве?
2. Сколько различных генотипов может образоваться в потомстве?
3. Сколько раннеспелых растений может быть в потомстве?
4. Сколько может быть гомозиготных раннеспелых растений?
5. Сколько типов гамет может образовать каждая из родительских форм?

**Задание 31.**

У пшеницы ген карликовости стебля доминирует над геном нормального роста.

Гомозиготное карликовое растение было опылено пыльцой нормального растения. В F1 получили 20 растений, а в F2 – 192 растения.

1. Сколько различных типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько различных фенотипов может быть в F1?
3. Сколько фенотипов будет в F2?
4. Сколько гетерозиготных растений может быть в F2?
5. Сколько растений нормального роста образуется в F2?

**Задание 32.**

У гороха высокий рост стебля доминирует над низким.

Низкорослый сорт гороха скрещен с гомозиготным высокорослым сортом. От самоопыления растений F1 получено 88 растений F2.

1. Сколько различных фенотипов могут иметь растения F1?
2. Сколько различных генотипов могут иметь растения F1?
3. Сколько разных фенотипов будет в F2?
4. Сколько растений F2 будут низкорослыми?
5. Сколько растений F2 могут быть гетерозиготными?

**Задание 33.**

У овса нормальный рост доминирует над гигантским ростом.

Гетерозиготное растение с нормальным ростом было скрещено с гигантским растением. В Fа получено 192 растения нормального роста.

1. Сколько типов гамет образует материнское растение?
2. Сколько различных генотипов могут иметь растения Fа?
3. Сколько растений Fа будут гетерозиготными?
4. При скрещивании гетерозиготного растения с растением нормального роста получено 24 растения. Сколько из них могут быть гетерозиготными?
5. Сколько растений при втором скрещивании могут иметь нормальный рост?

**Задание 34.**

У пшеницы стекловидная консистенция зерна доминирует над мучнистой.

Гетерозиготное растение со стекловидным зерном было опылено пыльцой растения с мучнистой консистенцией. В Fа получено 244 растения.

1. Сколько различных фенотипов может быть в Fа?
2. Сколько типов гамет даст гетерозиготное растение?
3. Сколько гетерозиготных растений может быть в Fа?
4. Сколько разных генотипов образуется в Fа?
5. От скрещивания растения с мучнистым зерном с растением, имеющим стекловидную консистенцию, было получено 188 растений. Сколько из них могут иметь мучнистые зерна?

**Задание 35.**

От скрещивания земляники с красными и белыми ягодами в F1 было получено 12 растений. Все они имели ягоды розового цвета.

В F2 было получено 336 растений с розовыми ягодами и 336 растений с красными и белыми ягодами.

1. Сколько типов гамет может образовать растение с розовыми ягодами?
2. Сколько разных генотипов может быть в F2?
3. Сколько растений F2 могут иметь красную окраску ягод?
4. Сколько растений F2 с красными ягодами могли дать нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько растений F2 с белыми ягодами могли дать нерасщепляющееся потомство?

**Задание 36.**

У фасоли черная окраска семян доминирует над белой.

При самоопылении черносемянного растения получили ¾ растений черносемянных и ¼ белосемянных.

Определите генотип исходного растения.

**Задание 37.**

У плодов томата ген округлой формы доминирует над геном грушевидной окраски.

Каковы генотипы родительских растений, если в потомстве получилось растений с округлыми и грушевидными плодами поровну?

**Задание 38.**

Дурман, имеющий пурпурные цветки, дал при самоопылении 9 потомков с пурпурными и 3 с белыми цветками.

Какие выводы можно сделать о наследовании окраски цветков у растений этого вида? Какая часть потомства F2 не даст расщепления при самоопылении?

**Задание 39.**

При скрещивании растений львиного зева с широкими и узкими листьями между собой во втором поколении появляется, кроме исходных типов, еще часть растений с листьями промежуточной ширины.

В каком соотношении идет расщепление во втором поколении и почему?

**Задание 40.**

У сорта бобов при самоопылении растения, дающего светло-пятнистые семена, в потомстве было получено ½ растений со светло-пятнистыми семенами, ¼ с темно-пятнистыми и ¼ без пятен.

Определите характер наследования окраски семян и генотип родительского растения.

**2.2. Дигибридное скрещивание**

***Дигибридным*** называется скрещивание родительских особей, различающихся по двум парам альтернативных признаков, гены которых локализованы в разных хромосомах.

**Пример.** У гороха две пары признаков (желтые семена – зеленые семена, гладкая поверхность – морщинистая поверхность семян) наследуются независимо.

Гомозиготное растение с желтыми морщинистыми семенами скрестили с гомозиготным растением, имеющим зеленые гладкие семена. В F1 получили 120 растений с желтой окраской семян и гладкой поверхностью, в F2 − 1728 растений.

1. Сколько разных генотипов могло быть у растений F1?
2. Сколько разных типов гамет могут образовать растения F1?
3. Сколько растений F2 могли быть желтосемянными с гладкой поверхностью семян?
4. Сколько растений F2 могли иметь зеленые семена и гладкую поверхность?
5. Сколько разных генотипов может быть у растений F2?

*Решение.*

Горох

Окраска семян;

Характер поверхности семян.

A – желтые семена;

a – зеленые семена;

B – гладкие семена;

b – морщинистые семена.

F1 – 120 растений.

F2 – 1728 растений.

желт. морщ. зел. глад.

P ♀ AAbb × ♂ aaBB

G

желт. глад.

F1 AaBb

При скрещивании двух родительских компонентов все семена будут иметь желтую окраску и гладкую форму, что соответствует первому закону Менделя − закону единообразия гибридов первого поколения (доминирования).

Гибрид F1 гетерозиготен по двум парам аллелей. Он образует четыре типа гамет, так как гены А и В находятся в негомологичных хромосомах, а негомологичные хромосомы в анафазе мейоза I расходятся к полюсам независимо друг от друга.

Для определения числа типов гамет у гибрида F1 существует формула (2.1).

ЧТГ = 2n, (2.1)

где ЧТГ – число типов гамет;

n – число гетерозиготных пар у конкретного генотипа.

F1 ♀ AaBb × ♂ AaBb

G

При дигибридном и полигибридном скрещивании теоретически ожидаемый характер расщепления гибридов F2 удобно определять, пользуясь решеткой Пеннета (рис. 2.4) или фенотипическим радикалом.

***Ф****енотипический радикал –* это та часть генотипа организма, которая определяет его фенотип.

Например, желтая окраска семян будет как у растений с генотипом АА, так и у растений с генотипом Аа. Следовательно, фенотипический радикал можно записать А\_. У растений с генотипами Ааbb и ААbb фенотипический радикал будет А\_bb. Поскольку в фенотипическом радикале за аллелем А могут быть скрыты аллели А и а, то в радикале после А ставят тире (А\_). В то же время фенотипический радикал b говорит о том, что вторым аллелем может быть только рецессивный аллель b. Поэтому в радикал можно вписать этот аллель − bb.

Так, гибрид АаВb дает гаметы: , , , .

Эти гаметы одновременно являются и фенотипическими радикалами гибридов F2: A\_B\_, A\_bb, aaB\_, aabb.

Существуют правила для определения числа фенотипических классов (формула (2.2)), числа генотипических классов (формула (2.3)), общего числа генотипов (формула (2.4)).

ЧФК = 2n, (2.2)

ЧГК = 3n, (2.3)

ОЧГ = 4n, (2.4)

где ЧФК – число фенотипических классов;

ЧГК – число генотипических классов;

ОЧГ – общее число генотипов;

n – число пар признаков, по которым отличаются родители.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Желтый  гладкий  ААВВ | × ♂ | | Зеленый  морщинистый    ааbb | |  | |
| Гаметы | |  | |  | |  | |  | |
| F1 | |  | | Желтый  гладкий    AaBb | |  | |  | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Гаметы | ♂ |  |  |  |
| ♀ | Желтый  гладкий    ААВВ | Желтый  гладкий    AABb | Желтый  гладкий    AaBB | Желтый  гладкий    AaBb |
| F2 | Желтый  гладкий    AABb | Желтый  морщинистый    AAbb | Желтый  гладкий    AaBb | Желтый  морщинистый    Aabb |
|  | Желтый  гладкий    AaBB | Желтый гладкий    AaBb | Зеленый  гладкий  aaBB | Зеленый гладкий    aaBb |
|  | Желтый  гладкий    AaBb | Желтый морщинистый    Aabb | Зеленый  гладкий    aaBb | Зеленый морщинистый    aabb |

Рис. 2.4. Наследование окраски и характера поверхности семян у гороха

Так, при дигибридном скрещивании число фенотипических классов равно 4 (22), число генотипических классов – 9 (32), общее число генотипов – 16 (42).

Воспользовавшись перечисленными правилами, можно составить таблицу расщепления у гибридов F2 по фенотипу и генотипу при дигибридном скрещивании (табл. 2.1).

Таблица 2.1. **Расщепление гибридов F2 при дигибридном скрещивании**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Фенотипический радикал | Фенотипический класс | Генотипический класс | Гаметы | Частота встреча- емости генотипов |
| A\_B\_ | Желтые гладкие | AABB  AABb  AaBB  AaBb |  | 1  2  9  2  4 |
| A\_bb | Желтые морщинистые | AAbb  Aabb |  | 1  3  2 |
| aaB\_ | Зеленые гладкие | aaBB  aaBb |  | 1  3  2 |
| aabb | Зеленые морщинистые | aabb |  | 1 1 |

Расщепление по фенотипу происходит в соотношении 9 (желтые гладкие) : 3 (желтые морщинистые) : 3 (зеленые гладкие) : 1 (зеленые морщинистые), т. е. образуется 4 фенотипических класса.

На 1 часть приходится 108 растений (1728 растений F2 : 16 частей).

Расщепление по генотипу происходит в соотношении 1 (AABB) : 2 (AABb) : 2 (AaBB) : 4 (AaBb) : 1 (AAbb) : 2 (Aabb) : 1 (aaBB) : 2  
(aaBb) : 1 (aabb), т. е. образуется 9 генотипических классов.

***Третий закон Менделя*** для полигибридного скрещивания – ***закон независимого наследования признаков***: различные пары признаков, гены которых находятся в негомологичных хромосомах, наследуются независимо друг от друга, давая все возможные сочетания. При этом образуются новые гаметы, генотипы и фенотипы.

В основе закона лежит случайное расхождение хромосом в дочерние клетки в анафазе мейоза I. Явление независимого наследования признаков имеет важное значение для селекции, так как в процессе гибридизации можно получать гибриды, наиболее полно сочетающие хозяйственно ценные признаки исходных родительских сортов.

На основании составленной схемы скрещивания даем *ответы* на вопросы задачи.

1. Гибриды F1 образуют 1 генотип AaBb.
2. Гибрид F1 образует 4 типа гамет: , , , .
3. Желтосемянными с гладкой поверхностью семян будут 972 растения (9 частей ∙ 108 растений).
4. Растений с зеленой окраской и гладкой поверхностью семян будет в F2 324 (3 части ∙108 растений).
5. У растений F2 будет 9 разных генотипов.

**Пример.** У ячменя две пары признаков (двурядный − многорядный колос, плотный − рыхлый колос) наследуются независимо.

От скрещивания двурядного рыхлоколосого сорта с многорядным плотноколосым в F1 получили 122 растения (имели двурядный рыхлый колос), в F2 – 1152 растения.

1. Сколько типов гамет могут образовать растения F1?
2. Сколько растений F2 могут иметь такой же тип колоса, как F1?
3. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
4. Сколько разных генотипов может быть в F2?
5. Сколько растений F2 могут иметь многорядный плотный колос?

*Решение.*

Ячмень

Количество рядов;

Плотность колоса.

А – двурядный;

а – многорядный;

B – рыхлый;

b – плотный.

F1 – 122 растения.

F2 – 1152 растения.

дв. рых. мн. плот.

Р ♀ AABB × ♂ aabb

G

дв. рых.

F1 AaBb

F1 ♀ AaBb × ♂ AaBb

G

F2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| A\_B\_ | двурядный рыхлый | 9  16 частей  (1152 растения) |
| A\_bb | двурядный плотный | 3 |
| aaB\_ | многорядный рыхлый | 3 |
| aabb | многорядный плотный | 1 |

На 1 часть приходится 72 растения (1152 растений F2 : 16 частей).

*Ответы.*

1. 4 типа гамет: , , , .
2. 648 растений (9 частей ∙72 растения).
3. 4 фенотипа (двурядный рыхлый; двурядный плотный; многорядный рыхлый; многорядный плотный).
4. 9 генотипов (AABB, AABb, AaBB, AaBb, AAbb, Aabb, aaBB, aaBb, aabb).
5. 72 растения (1 часть ∙ 72 растения).

**Задания**

**Задание 41.**

У гороха желтая окраска семян доминирует над зеленой окраской, а гладкая форма семян − над морщинистой. Признаки наследуются независимо.

Гомозиготное растение с желтыми гладкими семенами было опылено растением с зелеными морщинистыми семенами. В F1 было получено 15 растений, от самоопыления которых в F2 получено 480 семян.

1. Сколько разных фенотипов может быть у растений F1?
2. Сколько растений F1 могут дать расщепляющееся потомство?
3. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
4. Сколько семян F2 могут быть желтыми морщинистыми?
5. Сколько семян F2 могут быть желтыми гладкими?

**Задание 42.**

У гороха пурпурная окраска цветков доминирует над белой, а верхушечное расположение цветков − над пазушным. Оба признака наследуются независимо.

Гетерозиготные растения с пурпурными верхушечными цветками были опылены пыльцой растения с белыми пазушными цветками. В Fа получили 248 семян.

1. Сколько типов гамет могут образовать материнские растения?
2. Сколько типов гамет могут образовать отцовские растения?
3. Сколько в Fа может быть растений с пурпурными и верхушечно расположенными цветками?
4. Сколько семян Fа могут дать нерасщепляющееся потомство по обоим признакам?
5. Сколько растений с пазушными цветками может быть получено в Fа?

**Задание 43.**

У сорта пшеницы ген опушенности колоса доминирует над геном, который обусловливает неопушенный колос, а ген карликовости стебля − над геном нормального роста. Оба признака наследуются независимо.

Гомозиготное растение с опущенным колосом и карликовым стеблем было опылено пыльцой растения с неопушенным колосом и нормальным ростом. В F1 получено 16 растений, от самоопыления которых в F2 было получено 320 растений.

1. Сколько растений F1 могут иметь опушенный колос и карликовый стебель?
2. Сколько типов гамет могут образовать растения F1?
3. Сколько разных фенотипов могут иметь растения F2?
4. Сколько растений F2 могут иметь опушенный колос и карликовый стебель?
5. Сколько растений F2 могут иметь неопушенный колос и нормальный рост?

**Задание 44.**

У дурмана пурпурная окраска цветков доминирует над белой, а колючие семенные коробочки – над гладкими. Признаки наследуются независимо.

От скрещивания гомозиготных родительских форм в F1 получили 55 растений, в F2 − 400.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько растений F1 будут гетерозиготными?
3. Сколько растений F2 могут иметь пурпурную окраску цветков и гладкие коробочки?
4. Сколько растений F2 могут иметь белую окраску?
5. Сколько генотипов образуется в F2?

**Задание 45.**

У ячменя двурядный тип колоса доминирует над многорядным, а устойчивость к головне − над неустойчивостью. Оба признака наследуются независимо.

Проведено скрещивание гомозиготного двурядного устойчивого к головне сорта с многорядным неустойчивым. В F1 выращено 18 растений, от самоопыления которых получено 528 растений F2.

1. Сколько типов гамет могут образовать растения F1?
2. Сколько растений F1 могут быть двурядными?
3. Сколько растений F2 могут иметь многорядный колос и быть устойчивыми к головне?
4. Сколько растений F2 могут иметь двурядный колос и поражаться головней?
5. Сколько растений F2 могли иметь оба признака в рецессивном состоянии?

**Задание 46.**

У арбуза признаки формы плода и его окраски наследуются независимо.

Гомозиготное растение с удлиненными зелеными плодами скрестили с гомозиготным растением, имеющим округлые полосатые плоды. В F1 получили 120 растений (все имели зеленые плоды округлой формы), а в F2 − 960 растений.

1. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько растений F1 будут гетерозиготными?
3. Сколько разных фенотипов могут иметь растения F2?
4. Сколько разных генотипов может образовать растение F2?
5. Сколько растений в F2 могут иметь полосатую окраску и удлиненную форму плодов?

**Задание 47.**

У томатов красная окраска плодов доминирует над желтой, а многокамерные плоды − над двукамерными. Оба признака наследуются независимо.

Гетерозиготные растения с красными многокамерными плодами были скрещены с гомозиготными растениями с желтыми двукамерными плодами. В Fа было получено 28 растений.

1. Сколько растений Fа имели красную окраску плодов?
2. Сколько растений Fа имели красную окраску плодов и были многокамерными?
3. Сколько растений Fа имели желтую окраску плодов?
4. Сколько растений Fа дадут расщепляющееся потомство по одному признаку?
5. Сколько растений Fа дадут расщепляющееся потомство по двум признакам?

**Задание 48.**

У ячменя черная окраска колоса доминирует над желтой, а устойчивость к головне − над неустойчивостью. Оба признака наследуются независимо.

Гетерозиготное растение с черным колосом и устойчивое к головне было опылено пыльцой растения с желтым колосом и неустойчивого к головне. В Fа было выращено 24 растения.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько типов гамет может образовать отцовское растение?
3. Сколько разных фенотипов могут иметь растения Fа?
4. Сколько растений Fа могут дать нерасщепляющееся потомство по обоим признакам?
5. Сколько растений Fа могут иметь черный колос?

**Задание 49.**

У сорта овса раннеспелость доминирует над позднеспелостью, а раскидистая форма метелки − над сжатой. Оба признака наследуются независимо.

Гомозиготное раннеспелое растение со сжатой формой метелки было опылено пыльцой гомозиготного позднеспелого растения с раскидистой метелкой. В F1 было получено 24 растения, от самоопыления которых в F2 получено 544 растения.

1. Сколько разных типов гамет могут образовать исходные отцовские растения?
2. Сколько разных типов гамет могут образовать растения F1?
3. Сколько растений F1 были раннеспелыми?
4. Сколько растений F2 могут быть раннеспелыми и иметь раскидистую форму метелки?
5. Сколько растений F2 могут быть позднеспелыми и иметь сжатую форму метелки?

**Задание 50.**

У сорта пшеницы безостый тип колоса доминирует над остистым, а красная окраска колоса − над белой. Оба признака наследуются независимо.

Гомозиготное растение с безостым белым колосом было опылено пыльцой гомозиготного растения с остистым красным колосом. В F1 получено 18 растений, от самоопыления которых в F2 было получено 240 растений.

1. Сколько различных типов гамет может образовать материнское растение в первом скрещивании?
2. Сколько различных типов гамет могут образовать растения F1?
3. Сколько разных фенотипов могут иметь растения F2?
4. Сколько растений F2 могут иметь безостый белый колос?
5. Сколько растений F2 могут иметь остистый белый колос?

**Задание 51.**

У тыквы белая окраска плодов является доминантной по отношению к желтой, а дисковидная форма плодов − над сферической.

От скрещивания гомозиготного растения, имеющего желтую окраску и дисковидную форму плодов, с гомозиготным растением, имеющим белую окраску и сферическую форму плодов, в F1 получили 122 растения, в F2 – 800 растений.

1. Сколько фенотипов будут иметь растения F1?
2. Сколько растений F1 будут иметь белую окраску и дисковидную форму плода?
3. Сколько разных генотипов может быть в F2?
4. Сколько растений F2 могут иметь белую окраску и сферическую форму плодов?
5. Сколько растений F2 могут иметь желтую окраску и сферическую форму плода?

**Задание 52.**

Скрещивали растения фасоли, имеющие желтые бобы и черные семена, с растением, имеющим зеленые бобы и белые семена. В F1 получили 120 растений (все имели желтые бобы и черные семена), в F2 – 784 растений.

1. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько растений F1 будут гетерозиготными?
3. Сколько растений F2 могут иметь такой же генотип, как и растения F1?
4. Сколько разных генотипов могут образовать растения F2?
5. Сколько растений в F2 могут иметь зеленые бобы и черные семена?

**Задание 53.**

У ячменя яровой тип развития доминирует над озимым, а остистый колос − над безостым. Оба признака наследуются независимо.

Гетерозиготное по обоим признакам растение было скрещено с растением ярового типа развития, имеющим остистый колос. В Fв получено 16 растений.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько типов гамет может образовать отцовское растение?
3. Сколько разных фенотипов может быть у растений Fв?
4. Сколько растений Fв могут иметь яровой тип развития и остистый колос?
5. Сколько растений Fв могут иметь озимый тип развития и остистый колос?

**Задание 54.**

У сорта кукурузы устойчивость к ржавчине и гельминтоспориозу доминирует над неустойчивостью к этим болезням. Оба признака наследуются независимо.

Гетерозиготное растение, устойчивое к ржавчине и гельминтоспориозу, было опылено пыльцой растения, неустойчивого к ржавчине и гельминтоспориозу. В Fа получено 364 растения.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько типов гамет может образовать отцовское растение?
3. Сколько разных генотипов может быть в Fа?
4. Сколько растений Fа могут быть устойчивыми к ржавчине и гельминтоспориозу?
5. Сколько растений Fа могут быть восприимчивыми к ржавчине и гельминтоспориозу?

**Задание 55.**

У земляники два признака (наличие усов и окраска ягод) наследуются независимо.

Скрещивали гомозиготные растения, имеющие усы и белые ягоды, с гомозиготными растениями, не образующими усы и имеющими красные ягоды. В F1 получили 122 растения. Все они образовывали усы и имели розовые ягоды. От скрещивания растений F1 с гомозиготными растениями, имеющими белые ягоды и не образующими усы, получили 680 растений Fа.

1. Сколько типов гамет может образовывать растение F1?
2. Сколько разных фенотипов могут иметь растения Fа?
3. Сколько растений Fа могут иметь розовые ягоды и не образовывать усы?
4. Сколько растений Fа могут иметь белые ягоды и образовывать усы?
5. Сколько разных генотипов могут иметь растения Fа?

**Задание 56.**

При скрещивании гетерозиготных растений тыквы, имеющих белую окраску и сферическую форму плодов, получены семена, из которых, однако, взошло только два растения. Одно из них оказалось с белыми сферическими плодами, а другое − с желтыми удлиненными.

С какими плодами могли бы появиться еще растения тыквы, если бы взошло больше семян?

**Задание 57.**

У львиного зева красная окраска цветков неполно доминирует над белой, а узкие листья − над широкими.

Проведено скрещивание растений с розовыми цветками и листьями промежуточной ширины с растениями, имеющими белые цветки и узкие листья.

Какого потомства и в каком соотношении можно ожидать от этого скрещивания?

**Задание 58.**

У томатов красная окраска плодов доминантна по отношению к желтой, а нормальный рост − по отношению к карликовому. Имеются сорта: желтоплодный с нормальным ростом и красноплодный карликовый.

Как целесообразнее из этих сортов получить новые: красноплодные нормальные и желтоплодные карликовые? Какой сорт получить легче?

**Задание 59.**

Растение флоксов, имеющее белые цветки и плоский венчик, скрещенное с растением, имеющим белые цветки и воронковидный венчик, дало в потомстве 63 растения с белыми цветками и воронковидным венчиком, 58 растений с белыми цветками и плоским венчиком, 18 растений с кремовыми цветками и воронковидным венчиком и 22 растения с кремовыми цветками и плоским венчиком.

Это же растение, скрещенное с растением, имеющим кремовые цветки и плоский венчик, дало 37 растений с белыми цветками и плоским венчиком и 41 растение с кремовыми цветками и плоским венчиком.

Определите генотипы всех трех родительских растений.

**Задание 60.**

При скрещивании гетерозиготных растений земляники с усами и розовыми ягодами в потомстве появляются растения безусые с розовыми ягодами, с усами с красными ягодами и др.

Можно ли вывести из этого материала константную форму земляники с усами и розовыми ягодами?

**2.3. Тригибридное скрещивание**

***Тригибридным*** называется скрещивание родительских особей, различающихся по трем парам альтернативных признаков, гены которых локализованы в разных хромосомах.

**Пример.** У пшеницы признаки окраски колоса, остистости и опушенности наследуются независимо. Красная окраска колоса доминирует над белой, безостость – над остистостью, опушенность колоса – над неопушенностью.

От скрещивания красноколосой остистой опушенной пшеницы с белоколосой безостой неопушенной пшеницей получили 135 растений F1, от самоопыления которых было получено в F2 896 гибридов.

1. Какие гаметы формируют исходные родительские формы?
2. Сколько и каких гамет формируют растения F1?
3. Сколько генотипических классов может быть в F2?
4. Сколько растений в F2 могут иметь три доминантных признака и быть гомозиготными?
5. Сколько растений в F2 могут быть тройными рецессивными гомозиготами?

*Решение.*

Пшеница

Окраска колоса;

Наличие остей;

Наличие опушенности.

A – красный колос;

a – белый колос;

B – безостость;

b – остистость;

С – опушенность;

с – неопушенность.

F1 – 135 растений.

F2 – 896 растений.

кр. ост. оп. бел. безост. неоп.

P ♀ AAbbСС × ♂ aaBBсс

G

кр. безост. оп.

F1 AaBbСс

Согласно формуле (2.1) при тригибридном скрещивании образуется 8 типов гамет.

F1 ♀ AaBbСс × ♂ AaBbСс

G

По формулам (2.2), (2.3) и (2.4) можно определить, что при тригибридном скрещивании образуется 8 фенотипических классов (23), 27 генотипических классов (33) и 64 генотипа (43).

Расщепление по фенотипу и генотипу представлено в табл. 2.2.

Расщепление по фенотипу идет в соотношении 27 (красные безостые опушенные) : 9 (красные безостые неопушенные) : 9 (красные остистые опушенные) : 9 (белые безостые опушенные) : 3 (красные остистые неопушенные) : 3 (белые безостые неопушенные) : 3 (белые остистые опушенные) : 1 (белые остистые неопушенные).

Расщепление по генотипу идет в соотношении 1 (AABBCC) :   
2 (AABBCc) : 2 (AABbCC) : 2 (AaBBCC) : 4 (AABbCc) : 4 (AaBBCc) :  
4 (AaBbCC) : 8 (AaBbCc) : 1 (AABBcc) : 2 (AABbcc) : 2 (AaBBcc) :  
4 (AaBbcc) : 1 (AAbbCC) : 2 (AAbbCc) : 2 (AabbCC) : 4 (AabbCc) :  
1 (aaBBCC) : 2 (aaBBCc) : 2 (aaBbCC) : 4 (aaBbCc) : 1 (AAbbcc) :  
2 (Aabbcc) : 1 (aaBBcc) : 2 (aaBbcc) : 1 (aabbCC) : 2 (aabbCc) : 1 (aabbcc).

На 1 часть приходится 14 растений (896 растений F2 : 64 части).

На основании схемы скрещивания даем *ответы* на вопросы задачи.

1. Родительские формы формируют по 1 типу гамет: и .

Таблица 2.2. **Расщепление гибридов F2 при тригибридном скрещивании**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Фенотипи- ческий радикал | Фенотипический класс | Генотипический класс | Гаметы | Частота встречаемости генотипов |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| A\_B\_C\_ | Красный колос, безостость, опушенность | AABBCC  AABBCc  AABbCC  AaBBCC  AABbCc  AaBBCc  AaBbCC  AaBbCc |  | 1  2  2  2  27  4  4  4  8 |
| A\_B\_cc | Красный колос, безостость, неопушенность | AABBcc  AABbcc  AaBBcc  AaBbcc |  | 1  2  9  2  4 |
| A\_bbC\_ | Красный колос, остистость, опушенность | AAbbCC  AAbbCc  AabbCC  AabbCc |  | 1  2  9  2  4 |
| aaB\_C\_ | Белый колос, безостость, опушенность | aaBBCC  aaBBCc  aaBbCC  aaBbCc |  | 1  2  9  2  4 |
| A\_bbсс | Красный колос, остистость, неопушенность | AAbbcc  Aabbcc |  | 1  3  2 |
| aaB\_cc | Белый колос, безостость, неопушенность | aaBBcc  aaBbcc |  | 1  3  2 |
| aabbC\_ | Белый колос, остистость, опушенность | aabbCC  aabbCc |  | 1  3  2 |

Окончание табл. 2.2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| aabbcc | Белый колос, остистость, неопушенность | aabbcc |  | 1 |

1. Растения F1 формируют 8 типов гамет: , , , ,

, , и .

1. В потомстве F2 образуется 27 генотипических классов.
2. Доминантные признаки (красную окраску, безостость и опушенность колоса) могут иметь 378 растений с формулой генотипа А\_В\_С\_ (27 частей ∙ 14 растений), но гомозиготными будут только 14 растений с генотипом ААВВСС (1 часть ∙ 14 растений).
3. 14 растений (1 часть ∙ 14 растений) могут быть рецессивными гомозиготами и иметь генотип aabbcc.

**Пример.** У фасоли окраска бобов, волокнистость створок бобов и окраска семян наследуются независимо. Доминируют признаки желтой окраски бобов, безволокнистость створок и черная окраска семян над зеленой окраской бобов, волокнистыми створками и белыми семенами.

В скрещивании растений F1, гетерозиготных по всем трем генам, с родительским сортом, имеющим все признаки в рецессивном состоянии, получили 168 растений.

1. Сколько типов гамет могут образовать родительские особи и гибрид F1?
2. Сколько разных фенотипов могут иметь растения Fа?
3. Сколько разных генотипов могут иметь растения Fa?
4. Сколько растений, гетерозиготных по всем трем генам, может быть в Fa?
5. Сколько растений, гомозиготных по всем трем генам, может быть в Fа?

*Решение.*

Фасоль

Окраска бобов;

Волокнистость створок бобов;

Окраска семян.

A – желтые бобы;

a – зеленые бобы;

B – безволокнистость створок;

b – волокнистость створок;

С – черные семена;

с – белые семена.

Fа – 168 растения.

желт. безвол. черн. зел. вол. бел.

P ♀ AABBСС × ♂ aabbсс

G

желт. безвол. черн. зел. вол. бел.

F1 ♀ AaBbСс × ♂ aabbcс

G

Fа

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| AaBbCc | желтые безволокнистые черные | 1 |
| AaBbcc | желтые безволокнистые белые | 1 |
| AabbCc | желтые волокнистые черные | 1 |
| aaBbCc | зеленые безволокнистые черные | 1 |
| Aabbcc | желтые волокнистые белые | 1 |
| aaBbcc | зеленые безволокнистые белые | 1 |
| aabbCc | зеленые волокнистые черные | 1 |
| aabbcc | зеленые волокнистые белые | 1 |

На 1 часть приходится 21 растение (168 растений Fа : 8 частей).

*Ответы.*

1. Родительские особи формируют по одному типу гамет: и

. Растения F1 формируют 8 типов гамет: , , , ,

, , и .

1. 8 фенотипов (желтые безволокнистые черные; желтые безволокнистые белые; желтые волокнистые черные; зеленые безволокнистые черные; желтые волокнистые белые; зеленые безволокнистые белые; зеленые волокнистые черные; зеленые волокнистые белые).
2. 8 генотипов (AaBbCc, AaBbcc, AabbCc, aaBbCc, Aabbcc, aaBbcc, aabbCc, aabbcc).
3. 21 растение (1 часть ∙ 21 растение).
4. 21 растение (1 часть ∙ 21 растение).

**Задания**

**Задание 61.**

У сортов гороха пурпурная окраска цветков доминирует над белой, высокий рост стебля − над низким, а пергаментный слой в створках боба − над беспергаментным.

Гомозиготное растение со всеми доминантными признаками было скрещено с растением, у которого все признаки рецессивные. В F1 было получено 12 растений, от самоопыления которых в F2 получено  
128 растений.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько растений F1 могут быть гетерозиготными?
3. Сколько типов гамет могут образовать растения F1?
4. Сколько разных фенотипов могут иметь растения F2?
5. Сколько растений F2 могут иметь все признаки в рецессивном состоянии?

**Задание 62.**

У ячменя яровой тип развития доминирует над озимым, двурядный тип колоса − над многорядным, а устойчивость к головне − над неустойчивостью. Признаки наследуются независимо.

Гомозиготное яровое растение с двурядным колосом и неустойчивое к головне было скрещено с озимым растением, имеющим многорядный колос и устойчивым к головне. В F1 было получено 18 растений, от самоопыления которых в F2 получено 192 растения.

1. Сколько типов гамет образует исходное материнское растение?
2. Сколько типов гамет образует исходное отцовское растение?
3. Сколько растений F1 могут иметь яровой тип развития, двурядный колос и быть устойчивыми к головне?
4. Сколько генотипов могут иметь растения F2?
5. Сколько растений F2 могут иметь все признаки в рецессивном состоянии?

**Задание 63.**

У овса гигантский рост, позднеспелость, восприимчивость к ржавчине являются рецессивными признаками по отношению к нормальному росту, раннеспелости и устойчивости к ржавчине. Все признаки наследуются независимо.

От скрещивания гигантского, позднеспелого, восприимчивого к ржавчине сорта овса с сортом нормального роста, раннеспелым, устойчивым к ржавчине получили 123 растения F1. От скрещивания растений F1 с родительской формой, имеющей все признаки в доминантном состоянии, получили 472 растения.

1. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько разных генотипов могут иметь растения Fв?
3. Сколько разных фенотипов могут иметь растения Fв?
4. Сколько растений Fв могут иметь все три гена в гомозиготном состоянии?
5. Сколько растений Fв могут иметь такой же генотип, как и растения F1?

**Задание 64.**

У пшеницы ген опушенности колоса доминирует над геном, обусловливающим неопушенный колос, ген безостости колоса − над геном остистости, а ген красной окраски колоса − над геном белой окраски. Признаки наследуются независимо.

Гетерозиготное растение, имеющее все три признака в доминантном состоянии, было скрещено с гомозиготным растением, имеющим все три признака в рецессивном состоянии. В Fа было получено  
16 растений.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько типов гамет может образовать отцовское растение?
3. Сколько разных фенотипов могут иметь растения Fа?
4. Сколько растений Fа могут иметь все признаки в доминантном состоянии?
5. Сколько растений Fа могут иметь все признаки в рецессивном состоянии и быть гомозиготными по этим признакам?

**Задание 65.**

У подсолнечника панцирность семянок доминирует над беспанцирностью, полосатая окраска семянок − над однотонной, желтая окраска пыльцы − над белой. Признаки наследуются независимо.

Гетерозиготное по трем признакам растение было опылено пыльцой растения, у которого семянки беспанцирные однотонные, пыльца белая. В Fа получено 128 растений.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько типов гамет может образовать отцовское растение?
3. Сколько разных фенотипов могут иметь растения Fа?
4. Сколько растений Fа могут иметь такой же генотип, как и отцовское растение?
5. Сколько растений Fа могут иметь все три доминантных признака и давать нерасщепляющееся потомство по этим признакам?

**Задание 66.**

У овса раскидистая форма метелки доминирует над сжатой, раннеспелость − над позднеспелостью, а устойчивость к ржавчине − над неустойчивостью. Признаки наследуются независимо.

Гомозиготное растение со сжатой метелкой, раннеспелое и устойчивое к ржавчине было опылено пыльцой растения, имеющего альтернативные признаки. В F1 было получено 17 растений, от самоопыления которых получено 320 растений F2.

1. Сколько типов гамет может образовать отцовское растение в первом скрещивании?
2. Сколько растений F1 будут иметь все признаки в доминантном состоянии?
3. Сколько разных типов гамет может образовать растение F1?
4. Сколько разных фенотипов будут иметь растения F2?
5. Сколько растений F2 могут иметь сжатую метелку, быть раннеспелыми и устойчивыми к ржавчине и давать нерасщепляющееся потомство?

**Задание 67.**

У сортов гороха верхушечное расположение цветков доминирует над пазушным, высокий рост стебля − над низким, а пергаментный слой в створках боба − над беспергаментным. Признаки наследуются независимо.

Гетерозиготные растения с верхушечными цветками, высоким стеблем и бобами с пергаментным слоем были опылены пыльцой гомозиготных растений, имеющих такие же признаки, как и растения материнского сорта. В Fв получено 72 растения.

1. Сколько типов гамет могут образовать отцовские растения?
2. Сколько разных фенотипов могут иметь растения Fв?
3. Сколько разных генотипов могут иметь растения Fв?
4. Сколько растений Fв могут быть гомозиготными по трем генам и иметь пурпурные цветки, высокий стебель и бобы с пергаментным слоем?
5. Сколько растений могут быть гетерозиготными по трем генам?

**Задание 68.**

У пшеницы ген безостости колоса доминирует над геном, обусловливающим остистый колос, ген красной окраски колоса − над геном белой окраски, ген красной окраски зерна – над геном белой окраски. Признаки наследуются независимо.

Гомозиготное растение с безостым красным колосом и белым зерном было скрещено с гомозиготным растением, имеющим остистый белый колос и красное зерно. В F1 было получено 10 растений, от самоопыления которых были выращены растения F2.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько типов гамет может образовать отцовское растение?
3. Сколько растений F1 будут гетерозиготными по трем признакам?
4. Сколько разных фенотипов могут иметь растения F1?
5. Сколько разных генотипов могут иметь растения F2?

**Задание 69.**

Скрестили между собой две формы фасоли, различающиеся по трем парам альтернативных признаков. Одна форма белоцветковая с зелеными бобами и черными семенами, другая − с фиолетовыми цветками, желтыми бобами и белыми семенами.

Получили 128 растений F1. Все они оказались с фиолетовыми цветками, желтыми бобами и черными семенами. От самоопыления их получили 1296 гибридов F2.

1. Сколько и какие типы гамет могут образовать исходные родительские формы?
2. Сколько и какие типы гамет могут образовать растения F1?
3. Сколько растений F2 могут быть гетерозиготными по всем трем генам?
4. Сколько фенотипических классов может быть в F2?
5. Сколько генотических классов может быть в F2?

**Задание 70.**

От скрещивания ячменя двурядного остистого пленчатого с ячменем многорядным безостым голозерным получили 135 растений F1. Все они оказались двурядными безостыми и пленчатыми. От самоопыления растений F1 было получено в F2 896 гибридов.

1. Сколько фенотипов образуется в F1?
2. Сколько типов гамет формируют исходные родительские формы?
3. Сколько и какие типы гамет формируют растения F1?
4. Сколько генотипических классов может быть в F2?
5. Сколько растений в F2 могут быть тройными доминантными гомозиготами?

**Задание 71.**

У овса раскидистая форма метелки доминирует над сжатой, раннеспелость − над позднеспелостью, а устойчивость к ржавчине − над неустойчивостью. Признаки наследуются независимо.

Гетерозиготное по трем признакам растение было опылено пыльцой растения, у которого все три признака находились в гомозиготном доминантном состоянии. В Fв получили 32 растения.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько типов гамет может образовать отцовское растение?
3. Сколько разных фенотипов могут иметь растения Fв?
4. Сколько разных генотипов могут иметь растения Fв?
5. Сколько растений Fв могут иметь раскидистую метелку, обладать раннеспелостью, устойчивостью к ржавчине и в то же время быть гомозиготными?

**Задание 72.**

У подсолнечника панцирность семянок доминирует над беспанцирностью, полосатая окраска семянок − над однотонной, желтая окраска пыльцы − над белой. Признаки наследуются независимо.

Растение, имеющее панцирные полосатые семянки в гетерозиготном состоянии, а желтую окраску пыльцы в гомозиготном состоянии, было опылено пыльцой растения, имеющего все три признака в доминантном гомозиготном состоянии. В Fв получено 72 семянки.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько типов гамет может образовать отцовское растение?
3. Сколько разных генотипов могут иметь растения Fв?
4. Сколько растений Fв могут иметь панцирные полосатые семянки и желтую пыльцу?
5. Сколько разных фенотипов могут иметь растения Fв?

**Задание 73.**

# Горох высокорослый, белоцветковый, желтосемянный был скрещен с короткостебельным, пурпурноцветковым, зеленозерным растением гороха. В F1 получили 120 растений. Все они оказались высокорослыми с пурпурными цветками и желтозерными.

От самоопыления растений F1 получили 704 гибрида в F2.

1. Сколько и каких типов гамет могут формировать исходные родительские формы?
2. Сколько и каких типов гамет могут формировать гибриды F1?
3. Сколько разных фенотипических классов может быть в F2?
4. Какие генотипы могут иметь высокорослые растения с пурпурными цветками и зелеными семенами?
5. Сколько растений в F2 могут быть тройными рецессивными гомозиготами?

**Задание 74.**

У пшеницы ген опушенности колоса доминирует над геном, обусловливающим неопушенный колос, ген безостости колоса − над геном остистости, а ген красной окраски колоса − над геном белой окраски. Признаки наследуются независимо.

Гетерозиготное растение с опушенным безостым колосом красной окраски было опылено пыльцой растения со всеми рецессивными признаками. В Fа получено 24 растения.

1. Сколько типов гамет может образовать материнское растение?
2. Сколько типов гамет может образовать отцовское растение?
3. Сколько разных генотипов могут иметь растения Fа?
4. Сколько растений Fа могут иметь все признаки в рецессивном состоянии?
5. Сколько растений Fа могут иметь все признаки в доминантном состоянии и давать нерасщепляющееся потомство?

**Задание 75.**

У ячменя яровой тип развития доминирует над озимым, двурядный тип колоса − над многорядным, а устойчивость к головне − над неустойчивостью. Признаки наследуются независимо.

Гомозиготное растение, у которого все три признака доминантные, было скрещено с гомозиготным растением, у которого все три признака рецессивные. Растения F1 были скрещены с гомозиготными растениями, имеющими озимый тип развития, многорядный колос и поражаемыми головней. В Fа было получено 72 растения.

1. Сколько разных типов гамет могут образовать растения F1?
2. Сколько разных фенотипов могли иметь растения F1?
3. Сколько разных фенотипов могли иметь растения Fа?
4. Сколько растений Fа могли иметь такой же генотип, как и материнское растение?
5. Сколько растений Fа могли иметь такой же генотип, как и отцовское растение?

**Задание 76.**

У гороха желтая окраска семян А доминирует над зеленой а, гладкая форма В – над морщинистой b, красная окраска цветков С – над белой с.

Определите тип гамет, фенотип растений, имеющих следующие генотипы:

а) ААВВСС; б) АаВВСС; в) ААВВсс; г) ааbbСС; д) АаВbСс.

**Задание 77.**

У пшеницы красная окраска колоса А доминирует над белой а, безостость В – над остистостью b и опушенность колоса С – над неопушенностью с.

Определите фенотип потомства следующих скрещиваний:

а) ААВВСС × ааbbсс; б) АаВbСс × АаВbСс; в) АаВbсс × ААВВСС; г) АаВbСС × ААВbСс.

**Задание 78.**

У душистого горошка пурпурные цветки (А) доминируют над белыми (а), высокий рост (В) − над карликовым (b), зеленая окраска бобов (C) − над желтой (c).

Какую часть потомства составят растения с белыми цветками, высоким ростом и зелеными бобами от скрещивания гетерозиготных по всем признакам растений душистого горошка между собой?

Какую часть потомства будут составлять растения с генотипом AABbcc?

**Задание 79.**

При скрещивании двух растений львиного зева, одно из которых было с узкими листьями, нормальными красными цветками, а другое − с широкими листьями, пилорическими белыми цветками, в потомстве все растения оказались с листьями промежуточной ширины, нормальными розовыми цветками.

Какова вероятность появления во втором поколении растений с узкими листьями и пилорическими розовыми цветками?

**Задание 80.**

У томатов высокий рост доминирует над карликовым, красная окраска плодов − над желтой, круглые плоды − над длинными.

При скрещивании высокорослых растений томата с красными и круглыми плодами с таким же по фенотипу были получены семена, из которых взошло только одно. Растение оказалось карликовым с желтым и длинным плодом.

Возможно ли появление в потомстве других фенотипов, если бы взошли все семена? Если да, то какова вероятность появления каждого из фенотипов?

**2.4. Статистическая обработка данных  
гибридологического анализа**

Закон расщепления у гибридов F2 (3:1, 9:3:3:1 и т. п.) проявляется лишь при определенных условиях:

* при равновероятном образовании гибридом всех типов гамет;
* при равной вероятности всевозможных сочетаний гамет при оплодотворении;
* при равной жизнеспособности зигот всех генотипов;
* при полном проявлении признака независимо от условий развития организма.

При несоблюдении этих условий характер расщепления может изменяться.

Перечисленные выше условия создают элемент случайности в расщеплении, поэтому при его анализе необходимо применять специальные математические методы, которые позволяют решить:

1. является ли отклонение от теоретически ожидаемого расщепления (3:1, 1:1, 9:3:3:1 и т. п.) неслучайным, вызванным закономерным влиянием каких-то факторов, нарушающих расщепление (например, гибель зигот определенного генотипа);
2. отклонение от теоретически ожидаемого расщепления случайно и обусловлено, например, малым объемом анализируемого материала (выборки).

Итак, при изучении наследования признаков ***фактически полученными данными***Q является число растений или семян, полученных в каждом фенотипическом классе.

Они не всегда соответствуют ***теоретически ожидаемым величинам***q, так как законы наследования признаков основываются на теории вероятности и случайном расхождении хромосом в мейозе, случайном образовании различных типов гамет, равновероятном соединении гамет при оплодотворении.

В связи с этим может наблюдаться ***отклонение***числа гибридов, полученных в соответствующем фенотипическом классе, от теоретически ожидаемых результатов расщепления d.

Одной из главных причин случайного отклонения фактически полученных данных от теоретически ожидаемых является относительно небольшое число анализируемых гибридных растений.

Чтобы оценить степень соответствия фактически полученных в опыте данных теоретически ожидаемым, используют ***критерии соответствия χ*2** (хи-квадрат).

Величина χ2 рассчитывается по формуле:

χ2 = ∑, (2.5)

где d – отклонение теоретически ожидаемого числа гибридов от факти-чески полученного в соответствующем фенотипическом классе;

q – теоретически ожидаемое число гибридов в соответствующем фенотипическом классе.

**Пример.** Рассчитать критерий соответствия χ2 для оценки данных, полученных при расщеплении гибридов F2 у гороха от скрещивания растений, имеющих желтую и зеленую окраску семядолей. В F2 было получено два фенотипических класса: 110 семян с желтой окраской семядолей, 44 − с зеленой.

*Решение.*

*1. Записываем культуру, изучаемый признак, условное обозначение аллелей и составляем схему получения гибрида F1.*

Горох

Окраска семян.

А – желтые семена;

а – зеленые семена.

желтые зеленые

Р ♀ АА × ♂ аа

G

желтые

F1 Аа

*2. Составляем схему получения гибридов F2.*

F1 ♀ Аа × ♂ Аа

G

желтые желтые желтые зеленые

F2 АА Аа Аа аа

*3. Определяем расщепление по фенотипу.*

Расщепление соответствует соотношению 3:1 (3 части с желтыми семенами и 1 часть с зелеными семенами).

*4. Данные заносим в табл. 2.3 и вычисляем χ 2.*

Таблица 2.3. **Вычисление критерия χ2 при моногибридном скрещивании  
у гороха**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Фенотипические классы семян | Число семян | | d = Q − q | d2 |  |
| Q | q |
| Желтые | 110 | 115,5 (3 части ∙ 38,5) | 5,5 | 30,25 | 0,26 (30,25 : 115,5) |
| Зеленые | 44 | 38,5 (1 часть ∙ 38,5) | +5,5 | 30,25 | 0,79 (30,25 : 38,5) |
| Сумма | 154 | 154 | 0 |  | 1,05 = χ2 |

*5. Рассчитываем, сколько семян приходится на 1 часть.*

На 1 часть приходится 38,5 семян (154 : 4).

*6. Оцениваем величину χ 2 по таблице Фишера (табл. 2.4), в которой обозначены вероятности Р.*

Таблица 2.4. **Стандартные значения χ2 при разных степенях свободы**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вероят-ность Р | Число степеней свободы | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0,05 | 3,84 | 5,99 | 7,81 | 9,49 | 11,07 | 12,59 | 14,07 | 15,51 | 16,92 | 18,31 |
| 0,01 | 6,63 | 9,21 | 11,34 | 13,28 | 15,09 | 16,91 | 18,48 | 20,09 | 21,67 | 23,31 |

Достоверность величины χ2 с точки зрения вероятности зависит от следующих показателей:

* числа степеней свободы, которая равняется числу классов минус единица (n − 1);
* уровня значимости Р.

У гибридов F2, 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.

Вероятность Р в сельскохозяйственных исследованиях чаще всего принимают равной 0,05 (5 % значимости), т. е. допускают ошибку до 5 %. При необходимости оценивают при вероятности 0,01 (1 %).

При полном соответствии опытных и теоретических данных χ2 равен нулю.

Если вычисленное значение χ2 не превышает табличного значения, находящегося в графе со значимостью 0,05, или имеет меньшее значение, то фактически полученные данные соответствуют теоретически ожидаемым.

Если вычисленное значение χ2 больше табличного значения, соответствующего значимости 0,05, то фактически полученные в опыте данные не соответствуют теоретически ожидаемым. Следовательно, отклонение не случайно, а обусловлено более сложным наследованием признака.

В рассмотренном примере моногибридного скрещивания гороха χ2 равен 1,05. Число степеней свободы при двух фенотипических классах (желтые и зеленые семена) равно 1. Значение фактического χ2 оказалось меньше табличного значения χ2, следовательно, фактически полученное расщепление статистически соответствует теоретически ожидаемому 3:1.

Величина χ2 зависит:

* от величины отклонения;
* числа проанализированных гибридов (семян, растений).

Критерий χ2 дает надежные результаты, если объем выборки больше 50, а теоретически ожидаемые частоты в классах не менее 5.

При малой выборке увеличивается вероятность получения значения χ2 больше табличного, поэтому трудно быть уверенным в достоверности выводов генетического анализа наследования изучаемых признаков, если в F2 мало растений.

**Пример.** От скрещивания красноколосых остистых растений мягкой пшеницы с белоколосыми безостыми растениями получено 15 растений F1. Все гибриды F1 оказались красноколосыми безостыми.

В F2 было получено четыре фенотипических класса: 50 красноколосых безостых растения, 21 − красноколосое остистое, 16 − белоколосых безостых, 7 – белоколосых остистых.

Необходимо доказать, что фактически полученное в опыте расщепление по фенотипу (50:21:16:7) соответствует теоретически ожидаемому (9:3:3:1).

*Решение.*

Пшеница

Окраска колоса;

Наличие остей.

A – красный колос;

a – белый колос;

B – безостость;

b – остистость.

F1 – 15 растения.

F2 – 94 растения.

кр. ост. бел. безост.

Р ♀ AAbb × ♂ aaBB

G

кр. безост.

F1 ♀ AaBb × ♂ AaBb

G

F2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| A\_B\_ | красноколосые безостые | 9  16 частей  (94 растения) |
| A\_bb | красноколосые остистые | 3 |
| aaB\_ | белоколосые безостые | 3 |
| aabb | белоколосые остистые | 1 |

На 1 часть приходится 5,875 растений (94 растения F2 : 16 частей).

В рассмотренном примере дигибридного скрещивания озимой мягкой пшеницы χ2 равен 1,17 (табл. 2.5).

Таблица 2.5. **Вычисление критерия χ2 при дигибридном скрещивании  
мягкой озимой пшеницы**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Фенотипические классы семян | Число растений | | d = Q − q | d2 |  |
| Q | q |
| Красноколосые безостые | 50 | 52,875 (9 частей ∙ 5,875) | 2,875 | 8,27 | 0,16 (8,27 : 52,875) |
| Красноколосые остистые | 21 | 17,625 (3 части ∙ 5,875) | 3,375 | 11,39 | 0,65 (11,39 : 17,625) |
| Белоколосые безостые | 16 | 17,625 (3 части ∙ 5,875) | 1,625 | 2,64 | 0,15 (2,64 : 17,625) |
| Белоколосые остистые | 7 | 5,875 (1 часть ∙ 5,875) | 1,125 | 1,27 | 0,22 (1,27 : 5,875) |
| Сумма | 94 | 94 | 0 |  | 1,17 = χ2 |

Число степеней свободы при четырех фенотипических классах равно 3 (n – 1 = 4 – 1 = 3). Стандартное значение χ2 для трех степеней свободы составляет 7,81.

Значение фактического χ2 (1,17) оказалось меньше табличного значения χ2 (7,81), следовательно, фактически полученное расщепление соответствует теоретически ожидаемому (9:3:3:1).

**Задания**

**Задание 81.**

При скрещивании двух гомозиготных сортов гороха, имеющих желтую и зеленую окраску семян, получили 420 семян F2, в том числе 120 зеленых.

1. Определите величину отклонения, теоретически ожидаемого от фактически полученного в фенотипическом классе зеленых семян.
2. Чему равен показатель d2 для данного класса?
3. Определите значение d в фенотипическом классе желтых семян.
4. Чему равен χ2?
5. Какому уровню значимости наиболее точно соответствует данный показатель значения χ2?

**Задание 82.**

При скрещивании гомозиготного карликового сорта томата с гомозиготным сортом, растения которого имели нормальную высоту, в F2 получили 844 гибрида, в том числе 196 карликовых. Остальные растения имели нормальную высоту.

Предположим, что карликовость у томата наследуется моногенно.

1. Определите величину отклонения d в фенотипическом классе растений, имеющих нормальную высоту.
2. Определите показатель d в классе карликовых растений.
3. Чему равен показатель d2 в классе карликовых растений?
4. Чему равен χ2?
5. Какому уровню значимости (Р) наиболее точно соответствует данный показатель χ2?

**Задание 83.**

У львиного зева в F2 получили 1232 растения, в том числе 290 с белыми цветками, 260 − с красными. Остальные растения имели розовую окраску цветков.

Предположим, что окраска цветков у львиного зева наследуется моногенно при неполном доминировании.

1. Определите величину d в фенотипическом классе растений с розовыми цветками.
2. Чему равен показатель d в классе растений, имеющих белые цветки?
3. Чему равен показатель d2 в классе растений с красными цветками?
4. Чему равен χ2?
5. Какому уровню значимости (Р) наиболее полно соответствует данный показатель χ2?

**Задание 84.**

В F2 у овса получили 688 растений, из них 184 поражались головней, остальные были устойчивыми.

Предположим, что устойчивость к головне у овса наследуется моногенно.

1. Сколько растений овса были устойчивыми к головне?
2. Вычислите показатель d2 в классе растений, устойчивых к головне.
3. Вычислите d2 в классе растений, поражаемых головней.
4. Чему равен χ2?
5. Какому значению вероятности (Р) наиболее полно соответствует данный показатель χ2?

**Задание 85.**

У кормовых бобов в F2 получили 968 семян, в том числе 267 с белой окраской кожуры, остальные − с черной.

Предположим, что данный признак наследуется моногенно.

1. Сколько семян имели черную окраску кожуры?
2. Чему равен показатель d2 данного фенотипического класса?
3. Чему равен показатель d2 в фенотипическом классе семян, имеющих белую окраску кожуры?
4. Чему равен χ2?
5. Какому значению вероятности (Р) наиболее полно соответствует данный показатель χ2?

**Задание 86.**

У пшеницы в F2 получили 240 растений четырех фенотипических классов: 12 растений были остистыми белоколосыми, 52 − безостыми с белым колосом, 43 − остистыми с красным колосом, остальные − безостыми с красным колосом.

Предположим, что эти два признака наследуются независимо.

1. Чему равен показатель d в фенотипическом классе остистых белоколосых растений?
2. Чему равен показатель d2 в фенотипическом классе остистых красноколосых растений?
3. Чему равен показатель d2 в фенотипическом классе безостых красноколосых растений?
4. Чему равен χ2?
5. Какому значению вероятности (Р) наиболее полно соответствует данный показатель χ2?

**Задание 87.**

У томата в F2 получили 512 растений четырех фенотипических классов: 28 растений карликовых с желтыми плодами, 101 − нормальной высоты с желтыми плодами, 90 − карликовых с красными плодами, остальные − нормальные по высоте и с красными плодами.

Предположим, что эти два признака наследуются независимо.

1. Чему равен показатель d в фенотипическом классе карликовых растений с красными плодами?
2. Чему равен показатель d2 в фенотипическом классе растений, имеющих нормальную высоту и красные плоды?
3. Чему равно число степеней свободы (n − 1) в данном примере?
4. Чему равен χ2?
5. Какому значению вероятности (Р) наиболее полно соответствует данный показатель χ2?

**Задание 88.**

У ячменя в F2 получили 128 растений четырех фенотипических классов: 10 растений плотноколосых фуркатных, 22 − плотноколосых остистых, 28 − рыхлоколосых фуркатных, остальные имели рыхлый остистый колос.

Предположим, что данные признаки наследуются независимо.

1. Чему равен показатель d в фенотипическом классе растений с плотным фуркатным колосом?
2. Чему равен показатель d2 в фенотипическом классе рыхлоколосых фуркатных растений?
3. Чему равен χ2?
4. Чему равно число степеней свободы (n − 1)?
5. Какому значению вероятности (Р) наиболее полно соответствует данный показатель χ2?

**Задание 89.**

У фасоли получили 1120 растений четырех фенотипических классов: 64 растения имели зеленые бобы и белые семена, 216 − зеленые бобы и черные семена, 202 − желтые бобы и белые семена, остальные − желтые бобы и черные семена.

Предположим, что данные признаки наследуются независимо.

1. Чему равен показатель d в фенотипическом классе растений с зелеными бобами и черными семенами?
2. Чему равен показатель d в классе растений с желтыми бобами и черными семенами?
3. Чему равен показатель d2 в фенотипическом классе растений с желтыми бобами и белыми семенами?
4. Чему равен χ2?
5. Какому значению вероятности (Р) наиболее полно соответствует данный показатель χ2?

**Задание 90.**

При скрещивании двух сортов декоративных растений львиного зева в F2 получили 960 растений шести фенотипических классов: 174 растения имели типичное строение цветка и красную окраску лепестков венчика, 186 − типичное строение цветка и белую окраску венчика, 54 − пилорическую форму и красную окраску венчика, 110 − пилорическую форму и розовую окраску, 68 − пилорическую форму и белую окраску венчика, остальные − типичную форму цветка и розовую окраску лепестков венчика.

Форма цветка определяется: геном N − типичная, n − пилорическая. Ген R в гомозиготном состоянии определяет красную, в гетерозиготном состоянии − розовую окраску лепестков венчика, rr − белую.

1. Чему равен показатель d в фенотипическом классе растений, имеющих типичную форму цветков и розовую окраску венчика?
2. Чему равен показатель d2  в классе растений, имеющих пилорическую форму цветка и красную окраску венчика?
3. Чему равен χ2?
4. Чему равно число степеней свободы (n − 1) в данном примере?
5. Какому значению вероятности (Р) наиболее полно соответствует данный показатель χ2?

**3. Наследование признаков при неаллельном взаимодействии генов**

Известны два вида взаимодействия генов:

* аллельное;
* неаллельное.

*Аллельное взаимодействие генов* – это взаимодействие генов, находящихся в одной аллельной паре в одной хромосоме (например, генов А и а).

Различают следующие типы аллельного взаимодействия генов:

* полное доминирование;
* неполное доминирование;
* кодоминирование;
* плейотропия.

При *полном доминировании* у гибридов F1 проявляется доминантный признак, рецессивный – как бы исчезает, не проявляется.

При *неполном доминировании* у гибридов F1 наблюдается наследование промежуточных признаков (розовая окраска цветков у ночной красавицы, львиного зева).

При *кодоминировании* у гибридов F1 одновременно проявляются признаки обоих родительских компонентов (наследование групп крови у человека в системе АВО, чалая масть у коров).

*Плейотропия* − явление, при котором один ген детерминирует развитие и фенотипическое проявление нескольких признаков.

Например, у растений гороха ген А контролирует развитие трех признаков: темной окраски кожуры семян, пурпурной окраски цветков и антоцианового пятна у основания прилистников.

У томатов ген ran обусловливает рыхлый куст, тонкие побеги, мелкие листья и цветки, светлую окраску цветков; ген roa – небольшой куст, короткие междоузлия, широкие, морщинистые, закрученные листья серо-зеленой окраски.

У персидской пшеницы доминантный ген черной окраски одновременно вызывает опушение колосковых чешуй.

Весь комплекс признаков, детерминируемых одним геном плейотропного действия, наследуется, как при обычном моногибридном скрещивании. В F2 идет расщепление в отношении 3:1. Например, при скрещивании между собой гороха с пурпурными и белыми цветками все гибриды F1 и ¾ части гибридов F2 будут иметь не только пурпурные цветки, но и темную окраску семенной кожуры, антоциановое пятно у основания прилистников.

*Неаллельное взаимодействие генов* – это взаимодействие генов, находящихся в разных аллельных парах негомологичных хромосом (например, генов А и В).

Взаимодействие неаллельных генов проявляется в следующих основных формах:

* комплементарности (комплементарном взаимодействии генов);
* эпистаза (эпистатическом взаимодействии генов);
* полимерии (полимерном взаимодействии генов).

Каждая из этих форм приводит к характерным изменениям известных числовых отношений при расщеплении в дигибридных скрещиваниях.

**3.1. Комплементарное взаимодействие генов**

***Комплементарное взаимодействие генов*** − это вид взаимодейст-вия неаллельных генов, при котором развитие признака обусловлено совместным действием доминантных генов из разных пар хромосом (А и В), которые могут иметь или не иметь самостоятельное фенотипи-ческое проявление признаков.

При этом расщепление гибридов F2 по фенотипу может происхо-дить в следующих соотношениях:

* 9:7;
* 9:3:4;
* 9:6:1;

− 9:3:3:1, в зависимости от того, имеет ли комплементарный ген собственное фенотипическое проявление.

При комплементарном взаимодействии генов признак развивается в результате взаимодействия двух ферментов, образуемых под контролем двух неаллельных генов.

Примером комплементарности является наследование окраски цветков у душистого горошка. При скрещивании двух форм этого рас-  
тения с белыми цветками у гибридов F1 цветки оказались пурпурными. При самоопылении растений F1 в F2 наблюдалось расщепление растений по окраске цветков в отношении, близком **9:7**. Пурпурные цветки были обнаружены у 9/16 растений, белые  у 7/16. (рис. 3.1).

Такой характер расщепления можно объяснить, предположив, что красная окраска цветков у душистого горошка обусловлена совместным действием в генотипе двух комплементарных доминант-  
ных генов (А и В), каждый из которых в отдельности может воспроиз-  
водить только белую окраску цветков. При отсутствии в генотипе любого из них красящий пигмент не образуется.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Белый    ААbb | × ♂ | | Белый    ааBB |
| F1 |  |  | Пурпурные    АаBb | |  |
| F2 |  | Пурпурные    А\_В\_ | | Белые    aaB\_, A\_bb, aabb | |

Рис. 3.1. Наследование окраски цветков  
у горошка душистого при комплементарном взаимодействии двух пар генов  
(расщепление в отношении 9:7)

Расщепление 9:3:4 наблюдается в том случае, если доминантный ген, обусловливающий признак, проявляет себя по-разному в присутствии доминантного и рецессивного аллелей комплементарного гена (рис. 3.2)*.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Желтая  https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT2LKzuPfEGboJ1aSomE6gDQT_mSXaixUAwlPB3V36bkgrUlauq  ААbb | × ♂ | Белая  https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSyHRljrUDlQb03rMj2KahTL9QJgWSNLoe765SBUHbagRAZVKO2  ааBB |
| F1 |  |  | Зеленая  https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSPkVYL2fa678UVGRHBBHJ5w78HHfcn1vEXvr773sO0okiMMpI3ug  АаBb |  |
| F2 |  | Зеленая  https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSPkVYL2fa678UVGRHBBHJ5w78HHfcn1vEXvr773sO0okiMMpI3ug  А\_В\_ | Желтая  https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT2LKzuPfEGboJ1aSomE6gDQT_mSXaixUAwlPB3V36bkgrUlauq  А\_bb | Белая  https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSyHRljrUDlQb03rMj2KahTL9QJgWSNLoe765SBUHbagRAZVKO2  aaB\_, aabb |

Рис. 3.2. Наследование окраски зерна  
у ржи при комплементарном взаимодействии  
двух пар генов (расщепление в отношении 9:3:4)

Так, у ржи при скрещивании гомозиготных белозерных растений с желтозерными гибриды F1 имеют зеленую окраску зерновок, а в F2 наблюдается расщепление в отношении 9 зеленых : 3 желтых : 4 белых.

В этом случае зеленая окраска зерновок детерминируется сочетанием доминантных аллелей А\_В\_;желтая − одним доминантным аллелем А\_, а белозерные растения имеют генотипы ааВ\_ и ааbb.

Расщепление **9:6:1** наблюдается при наследовании формы плода тыквы. Наличие в генотипе доминантных генов А или В обуслов-  
ливает сферическую форму плодов, а рецессивных − удлиненную. При наличии в генотипе одновременно доминантных генов А и В форма плода будет дисковидной.

При скрещивании чистых линий, имеющих сферическую форму плодов, в первом гибридном поколении F1 все плоды будут иметь дисковидную форму, а в поколении F2 произойдет расщепление по фенотипу: из 16 частей 9 будут иметь дисковидные плоды, 6 − сферические и 1 – удлиненные (рис. 3.3).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Сферическая    ААbb | × ♂ | Сферическая    ааBB |
| F1 |  |  | Дисковидная    АаBb |  |
| F2 |  | Дисковидная    А\_В\_ | Сферическая    А\_bb, ааВ\_ | Удлиненная    aabb |

Рис. 3.3. Наследование формы плода у тыквы  
при комплементарном взаимодействии двух пар генов  
(расщепление в отношении 9:6:1)

Расщепление 9:3:3:1 может быть, если каждый из комплементарных генов имеет собственное фенотипическое проявление.

Например, у перца при скрещивании растений, имеющих коричневую окраску плодов,с сортом, имеющим желтую окраску плодов,гибриды F1 имеют красную окраску плодов. В F2 наблюдается расщепление растений в отношении 9/16 красноплодных, 3/16 коричневоплодных, 3/16 желтоплодных, 1/16 с зелеными плодами (рис. 3.4).

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Коричневая    ААbb | | × ♂ | | Желтая    ааBB | |
| F1 |  |  | | Красная    АаBb | |  | |
| F2 |  | Красная    А\_В\_ | Коричневая    A\_bb | | Желтая    ааВ\_ | | Зеленая    aabb |

Рис. 3.4. Наследование окраски плода у перца  
при комплементарном взаимодействии двух пар генов  
(расщепление в отношении 9:3:3:1)

В ряде признаков при соединении комплементарных генов возни-  
кают признаки, свойственные диким формам (красная окраска цветков у гороха, дисковидная форма плода у тыквы, красная окраска глаз у дрозофилы), т. е. происходит ***реверсия*** – возврат к признакам диких форм.

**Пример.** У ячменя образование хлорофилла, обусловливающего зеленую окраску растений, контролируется комплементарными генами А и В. Если растение имеет генотип A\_bb или aabb, то хлорофилл не образуется и оно бывает белым и погибает в фазе двух листочков. Растение с генотипом ааВ\_ имеет желтую окраску и погибает в фазе кущения.

От скрещивания зеленых гетерозиготных растений между собой получили 513 плодоносящих растений.

1. Сколько гибридов могли бы иметь белую окраску?
2. Сколько гибридов могут иметь желтую окраску?
3. Сколько зеленых растений могут быть гетерозиготными?
4. Сколько растений из 124, полученных от скрещивания гетерозизиготных зеленых растений с зелеными гомозиготными, могут быть зелеными?
5. Сколько из них могут быть гомозиготными?

*Решение.*

Ячмень

Окраска листьев.

A\_B\_ − зеленая;

A\_bb

белая;

aabb

aaB\_ − желтая.

F1 – 513 плодоносящих растений.

зеленая зеленая

Р ♀ AaBb × ♂ AaBb

G

F1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| A\_B\_ | зеленая | 9  9 частей  (513 растений) |
| A\_bb | белая | 3 |
| aaB\_ | желтая | 3 |
| aabb | белая | 1 |

На 1 часть приходится 57 растений (513 гибридов F1 : 9 частей).

*Ответы.*

1. 228 растений (4 части ∙ 57 растений).
2. 171 растение (3 часть ∙ 57 растений).
3. 228 растений с генотипом AaBb (4 части ∙ 57 растений).

зеленые зеленые

P ♀ AаBb × ♂ AABB

G

зеленые зеленые зеленые зеленые

Fв AABB AABb AaBB AaBb

4 части

(124 растения)

На 1 часть приходится 31 растение (124 растения Fв : 4 части).

1. 124 растения.
2. 31 растение с генотипом AABB (1 часть ∙ 31 растение).

**Задания**

**Задание 91.**

Зеленая окраска листьев растений ячменя контролируется наличием доминантных генов А и В. Наличие гена А или рецессивное состояние обоих генов обусловливает белую окраску листьев. Доминантный ген В в сочетании с рецессивными генами аа обеспечивает желтую окраску.

От скрещивания растений с генотипом АаВв между собой было получено 32 потомка.

1. Сколько растений в потомстве имели белую окраску?
2. Сколько белых растений были гомозиготными по обоим генам?
3. Сколько растений имели желтую окраску?
4. Сколько растений имели зеленую окраску?
5. Сколько зеленых растений было дигетерозиготными?

**Задание 92.**

У растений клевера высокое содержание цианида контролируется комплементарными генами А и В, находящимися в доминантном состоянии. Все остальные сочетания генов контролируют низкое содержание или отсутствие цианидов в зеленой массе.

При скрещивании растений F1, имеющих генотип АаВb, с растениями, имеющими генотип ааbb, было получено 200 растений.

1. Сколько различных фенотипов будет при таком скрещивании?
2. Сколько различных генотипов будет при таком скрещивании?
3. Сколько растений в Fа будут содержать цианид?
4. Сколько растений в Fа не будут содержать цианид?
5. Сколько растений в Fа будут двойными гетерозиготами?

**Задание 93.**

У сортов мягкой пшеницы хлороз определяется взаимодействием двух пар комплементарных генов А и В. Во всех остальных случаях растения не подвержены хлорозу.

При скрещивании растений пшеницы, имеющих генотип ААbb и ааВВ, в F1 было получено 48 растений, а в F2 – 192.

1. Сколько хлорозных растений было в F1?
2. Сколько хлорозных растений было в F2?
3. Сколько растений в F2 было непораженных хлорозом?
4. Сколько генотипов в F2 обусловливают хлороз у растений?
5. Сколько фенотипов было в F2?

**Задание 94.**

У кукурузы окраска алейронового слоя в зерновке обусловлена комплементарным взаимодействием генов А и В, которые в доминантном состоянии обусловливают развитие окрашенного алейрона, а в рецессивном – неокрашенного.

При скрещивании линии кукурузы с окрашенным алейроном с линией, имеющей неокрашенный алейрон, в F1 получено 12 растений, а в F2 − 112.

1. Сколько растений F1 имели окрашенный алейрон?
2. Сколько растений F2 имеют неокрашенный алейрон?
3. Сколько гомозиготных растений в F2 имеют неокрашенный алейрон?
4. Сколько разных генотипов образуется в F2?
5. Сколько растений, имеющих окрашенный алейрон, будут двойными гомозиготами?

**Задание 95.**

У баклажанов синяя окраска плодов обусловливается комплементарным взаимодействием двух пар генов А и В. При всех других сочетаниях доминантных и рецессивных аллелей данных генов растения имеют белые плоды.

Скрещивали два гомозиготнвх сорта баклажанов с белыми плодами и в F1 получили 157 растений. Было проведено анализирующее скрещивание с растением, имеющем все гены в доминантном состоянии. Получили 380 растений в Fв.

1. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько различных генотипов будет при таком скрещивании?
3. Сколько различных фенотипов будет в Fв?
4. Сколько растений в Fв могут иметь синие плоды?
5. Сколько растений в Fв дадут нерасщепляющееся потомство?

**Задание 96.**

У фигурной тыквы дисковидная форма плодов обусловливается комплементарным взаимодействием доминантных генов А и В, а удлиненная форма плодов − сочетанием их рецессивных аллелей (ааbb).

При скрещивании гомозиготных растений, имеющих сферическую форму плодов, в F1 было получено 10 растений, а в F2 было получено 240 растений, из них 15 − удлиненной формы плодов.

1. Сколько различных фенотипов было в F1?
2. Сколько различных фенотипов было в F2?
3. Сколько растений, имеющих дисковидную форму плодов в F2, были доминантными гомозиготами?
4. Сколько растений, имеющих дисковидную форму плодов в F2, были гетерозиготами?
5. Сколько растений, имеющих сферическую форму плодов в F2, были гомозиготами?

**Задание 97.**

У шалфея окраска цветков может быть белой, красной и лососево-красной. Она обусловливается комплементарным взаимодействием генов L и P. Красная окраска цветков проявляется, если в генотипе содержатся аллели L\_P\_, лососево-красная – llP\_. Во всех остальных случаях она бывает белой.

От скрещивания гомозиготного красноцветкового растения с белоцветковым, в генотипе которого все аллели были в рецессивном состоянии, в F1 получили 114 растений, а в F2 – 208 растений.

1. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько разных фенотипов могут иметь растения F2?
3. Сколько растений могут иметь лососево-красную окраску цветков?
4. Сколько из них могут дать нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько растений могут иметь белую окраску цветков в F2?

**Задание 98.**

У гороха форма листа наследуется по типу комплементарного взаимодействия генов. Парноперистый лист развивается при наличии в генотипе генов А и Т в доминантном состоянии. Безлисточковый лист с усиком развивается в том случае, если в генотипе содержатся рецессивный аллель а и доминантный аллель Т. Во всех остальных случаях образуются непарноперистые листья.

Скрещивали гомозиготные растения, имеющие парноперистые листья, с растениями, имеющими непарноперистые листья и аллели обоих генов в рецессивном состоянии. В F1 получили 143 растения, в F2 – 352 растения.

1. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько разных генотипов может быть у растений F2?
3. Сколько разных фенотипов могут иметь растения F2?
4. Сколько растений F2 могут иметь безлисточковые листья с усиками и давать при самоопылении нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько растений могут иметь парноперистый тип листа?

**Задание 99.**

У растений клевера высокое содержание цианида контролируется комплементарными генами L и H, находящимися в доминантном состоянии.

При скрещивании растений, имеющих генотип LLhh (низкое содержание цианида), с растениями, имеющими генотип llHH (низкое содержание цианида), в F1 было получено 48 растений. В F2 было получено 576 растений, в том числе 36 растений, не содержащих цианида вообще.

1. Сколько всего растений F2 имело высокое содержание цианида?
2. Сколько растений F2, имеющих высокое содержание цианида, были доминантными гомозиготами?
3. Сколько растений, содержащих цианид в F2, были гетерозиготными?
4. Сколько разных генотипов было в F2?
5. Сколько растений в F2, не содержащих цианид, являются гомозиготными?

**Задание 100.**

У люпина желтого алкалоидность обусловливается комплементарным взаимодействием двух неаллельных генов А и В. Во всех других генотипах формируются безалкалоидные растения.

От скрещивания двух безалкалоидных сортов было получено  
42 алкалоидных гибрида F1. B F2 было получено 480 растений.

1. Сколько разных фенотипов может быть в F1?
2. Какое фенотипическое расщепление может быть в F2?
3. Сколько разных генотипов может быть в F2?
4. Сколько растений в F2 могут быть двойными гомозиготами по рецессивным генам?
5. Сколько растений в F2 могут быть двойными гетерозиготами?

**Задание 101.**

Комплементарное взаимодействие доминантных генов Н и Р у некоторых образцов ячменя из Сирии обусловили пленчатость зерновки.

В результате скрещивания двух образцов голозерного ячменя получили 89 гибридов пленчатого ячменя F1. В F2 было получено 640 растений.

1. Сколько разных генотипов может быть в F1?
2. Какое фенотипическое расщепление может быть в F2?
3. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
4. Сколько растений в F2 могут быть двойными гомозиготами по рецессивным генам?
5. Сколько растений в F2 могут быть двойными гетерозиготами?

**Задание 102.**

У льна окраска венчика наследуется по типу комплементарного взаимодействия генов. Если растение имеет генотип А\_В\_, то развивается голубая окраска венчика, А\_bb – розовая, ааВ\_ и ааbb – белая.

При скрещивании гомозиготных растений с голубым венчиком с гомозиготными растениями с белым венчиком было получено 176 гибридов F1. От самоопыления их было получено 960 растений F2.

1. Сколько растений F1 были гетерозиготными?
2. Какое фенотипическое расщепление может быть в F2?
3. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
4. Сколько растений в F2 могут быть двойными гомозиготами по рецессивным генам?
5. Сколько растений в F2 могут быть двойными гетерозиготами?

**Задание 103.**

У люцерны окраска цветков обусловливается комплементарным взаимодействием неаллельных генов Р и R, которые совместно контролируют зеленую окраску цветков.

От скрещивания гомозиготных растений с пурпурными и желтыми цветками было получено 30 растений F1. От скрещивания растений F1 между собой было получено 176 растений гибридов F2, в том числе  
11 растений с белыми цветками.

1. Сколько разных фенотипов может быть в F1?
2. Какое расщепление по фенотипу может быть в F2?
3. Сколько разных генотипов может быть в F2?
4. Сколько растений в F2 с зелеными цветками могут быть двойными гетерозиготами?
5. Сколько растений в F2 с желтыми цветками могут быть гомозиготными?

**Задание 104.**

Комплементарное взаимодействие доминантных генов R и В у узколистного люпина обусловливает синию окраску цветков. Генотипы R\_bb имеют розовые цветки. Все остальные генотипы контролируют белую окраску цветков.

От скрещивания гомозиготных сортов с белыми и розовыми цветками получили 99 растений F1 с синими цветками. В F2 было получено 480 гибридных растений.

1. Сколько разных фенотипов может быть в F1?
2. Какое расщепление по фенотипу может быть в F2?
3. Сколько растений могут быть в F2 белоцветковыми и давать нерасщепляющееся потомство?
4. Сколько растений в F2 могут быть двойными гетерозиготами?
5. Сколько и каких разных генотипов могут иметь гибридные растения в F2 с синими цветками?

**Задание 105.**

Антоциановую окраску клубней у картофеля обусловливают гены P и R, но они могут проявить свое действие только в присутствии доминантного гена D. Сине-фиолетовую окраску клубней имеют растения с генотипом P\_rrD\_, красно-фиолетовую – P\_R\_D\_, розовую − ppR\_D\_. Во всех остальных случаях растения имеют белую окраску клубней.

Гетерозиготное растение с красно-фиолетовыми клубнями опылили пыльцой гомозиготного белоклубневого растения, имеющего генотип pprrdd. Получили 160 растений Fа.

1. Сколько типов гамет может образовать растение с красно-фиолетовыми клубнями?
2. Сколько растений Fа могут иметь красно-фиолетовую окраску клубней?
3. Сколько разных генотипов могут иметь растения Fа?
4. Сколько растений могут иметь белую окраску клубней?
5. Сколько белоклубневых растений Fа могут дать нерасщепляющееся потомство?

**Задание 106.**

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

При скрещивании тыквы с дисковидными плодами с растением, имеющим удлиненную форму плодов, получили ¼ растений с дисковидными плодами, 2/4 – со сферическими и ½ − с удлиненными.

Определите генотипы родительских форм.

**Задание 107.**

Две линии кукурузы, имеющие семена с неокрашенным алейроном, при скрещивании друг с другом дали в потомстве семена с окрашенным алейроном, а во втором поколении гибридов появились растения, имеющие семена как с окрашенным, так и с неокрашенным алейроном.

Объясните, в каком отношении идет расщепление и почему.

**Задание 108.**

У баклажанов фиолетовая окраска плодов обусловливается комплементарным воздействием двух пар генов А и В. При отсутствии в генотипе одного из них или если оба гена в рецессивном состоянии растения имеют белые плоды.

При скрещивании двух растений с белыми плодами выросли гибриды первого поколения с окрашенными плодами, а в F2 получили 792 растения с фиолетовыми плодами и 616 растений с белыми.

Определите тип взаимодействия генов.

**Задание 109.**

При скрещивании белоплодного растения тыквы с желтоплодным в потомстве получено около половины растений желтоплодных, 3/8 белоплодных и 1/16 − с зелеными плодами.

Определите тип взаимодействия генов и генотипы родителей.

**Задание 110.**

У ночной красавицы известны два неполнодоминантных гена У и R, влияющих на окраску цветка. В результате их взаимодействия получаются следующие окраски цветков: УУRR − алая, УУRr − оранжево-красная, УУrr − желтая, yyRR, yyRr и yyrr − белая, УyRR − маджентовая, УyRr – розовато-маджентовая, Уугг − светло-желтая.

Два растения ночной красавицы с неизвестной окраской цветков при скрещивании дали в потомстве 1/8 часть растений с алой окраской цветков, 1/8 – с оранжево-красной, 1/4 – с маджентовой, 1/4 – с розовато-маджентовой и 1/4 – с белой окраской.

Каковы фенотипы и генотипы родителей?

**3.2. Эпистатическое взаимодействие генов**

***Эпистаз*** − взаимодействие неаллельных генов, при котором дейст-  
вие аллеля из одной пары подавляется действием аллеля из другой пары хромосом.

Гены, подавляющие действие других, не аллельных им генов, называют ***эпистатичными***, а подавляемые − ***гипостатичными***.

Если эпистатичный ген не имеет собственного фенотипического проявления, то он называется ***ингибитором*** и обозначается буквой I. Обычно в рецессивном состоянии данный ген не оказывает ингиби-  
рующего действия на проявление признака.

Эпистатическое взаимодействие неаллельных генов может быть:

* доминантным;
* рецессивным.

При ***доминантном эпистазе*** проявление гипостатичного гена (В, b) подавляется доминантным эпистатичным геном (I > В, b).

При доминантном эпистазе расщепление по фенотипу может происходить в соотношении:

* 12:3:1;
* 13:3.

Если эпистатичный ген имеет собственное фенотипическое прояв-  
ление, то расщепление в F2 будет соответствовать отношению 12:3:1.

Например, у овса окраска чешуй зависит от эпистатичного взаимодействия генов А и В. Ген А обусловливает развитие черной окраски чешуй и является эпистатичным по отношению к гену В, обусловливающему серую окраску чешуй. Рецессивный аллель а обусловливает развитие белых чешуй, аллель b влияния на проявление окраски не оказывает. При скрещивании растения, имеющего черные чешуи (ААВВ), с растением, имеющим белые чешуи (aabb), в F1 все растения будут иметь черные чешуи, а в F2 будет наблюдаться расщепление на три фенотипических класса: растения с черными, серыми и белыми чешуями (рис. 3.5).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Черное    ААВВ | × ♂ | Белое    ааbb |
| F1 |  |  | Черное    АаBb |  |
| F2 |  | Черное    А\_В\_, А\_bb | Серое    ааВ\_ | Белое    aabb |

Рис. 3.5. Наследование окраски чешуй у овса  
при эпистатическом взаимодействии генов  
(расщепление в отношении 12:3:1)

Если гипостатичный аллель имеет тот же фенотипический эффект, что и доминантный эпистатичный ген, то в F2 расщепление гибридов будет в отношении 13:3.

Например, у лука окраска чешуй может быть пурпурной и белой, причем развитие пигмента, обусловливающего пурпурную окраску, может подавляться эпистатичным геном I, обусловливающим белую окраску. В этом случае все растения, имеющие генотипы P\_I\_, PPI\_ иppii, будут иметь чешуи белого цвета. Пурпурная окраска чешуй может быть только у растений с генотипом P\_ii (рис. 3.6).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Белые  https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRePKl8xAx3tb4-jBZCMEGSwP88zp2ROnLaekJSUj_sEt81Gdw  PPii | × ♂ | | Белые  https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRePKl8xAx3tb4-jBZCMEGSwP88zp2ROnLaekJSUj_sEt81Gdw  ppII |
| F1 |  |  | Белые  https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRePKl8xAx3tb4-jBZCMEGSwP88zp2ROnLaekJSUj_sEt81Gdw  PpIi | |  |
| F2 |  | Белые  https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRePKl8xAx3tb4-jBZCMEGSwP88zp2ROnLaekJSUj_sEt81Gdw  P\_I\_, ppI\_, ppii | | Пурпурные  http://www.agronom.info/uploads/public/tovary/2011/01/07/.12944298932113.250-250.jpg  P\_ii | |

Рис. 3.6. Наследование окраски чешуй у лука  
при эпистатическом взаимодействии генов  
(расщепление в отношении 13:3)

***Рецессивный эпистаз*** − это подавление рецессивным аллелем эпистатичного гена аллелей гипостатичного гена (ii > В, b) (рис. 3.7).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Оранжевая    AABB | × ♂ | | Желтая    aabb |  |
| F1 |  |  | Оранжевая    AaBb | |  |  |
| F2 |  | Оранжевая    A\_B\_ | | Желтая    A\_bb, aaB\_, aabb | |  |

Рис. 3.7. Наследование окраски плода у тыквы  
при эпистатическом взаимодействии генов  
(расщепление в отношении 9:7)

При рецессивном эпистазе расщепление по фенотипу может идти в соотношении:

* 9:3:4;
* 9:7.

Наследование таких признаков как окраска цветков у льна, окраска плодов у тыквы обусловлено рецессивным эпистазом (рис. 3.7).

Эпистатическое взаимодействие генов по своему характеру противоположно комплементарному взаимодействию. При эпистазе фермент, образующийся под контролем одного гена, полностью подавляется или нейтрализует действие фермента, контролируемого другим геном.

**Пример.** У тыквы доминантный аллель гена А обусловливает желтую окраску плодов, аллель а − зеленую. Эпистатичный ген В подавляет проявление окраски, и растения имеют белые плоды. Аллель b не влияет на проявление окраски.

Скрещивали растение с белыми плодами и генотипом AABB с растением, имеющим зеленые плоды. В F1 получили 120 растений, в F2 – 1440 растений.

1. Сколько растений F1 могли иметь белую окраску плодов?
2. Сколько разных фенотипических классов могло быть в F2?
3. Сколько растений F2 могли иметь желтые плоды?
4. Сколько растений F2 могли иметь зеленые плоды?
5. Сколько растений F2 могли иметь белые плоды и быть гомозиготными?

*Решение.*

Тыква

Окраска плодов.

А – желтые;

а – зеленые;

В > А, а – белые;

b – не влияет.

F1 – 120 растений.

F2 – 1440 растений.

белая зеленая

P ♀ AABB × ♂ aabb

G

белая

F1 AaBb

F1 ♀ AaBb × ♂ AaBb

G

F2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| A\_B\_ | белая окраска | 9  16 частей  (1440 растений) |
| A\_bb | желтая | 3 |
| aaB\_ | белая | 3 |
| aabb | зеленая | 1 |

На 1 часть приходится 90 растений (1440 растений F2 : 16 частей).

*Ответы.*

1. 120 растений.
2. 3 фенотипических класса: растения с белыми, желтыми, зелеными плодами.
3. 270 растений (3 части ∙ 90 растений).
4. 90 растений (1 часть ∙ 90 растений).
5. 180 растений с генотипами AABB и aaBB (2 части ∙ 90 растений).

**Задания**

**Задание 111.**

У некоторых сортов пшеницы остистость наследуется по типу эпистаза. Ген А определяет развитие остистости, ген а − безостости. Ген В действует как ингибитор остистости, а ген b не влияет на развитие остистости.

При скрещивании растения, имеющего генотип ААВВ, с растением, имеющим генотип ааbb, в F1 было получено 18 растений, а в F2 – 192 растения.

1. Сколько растений F1 были безостыми?
2. Сколько разных фенотипов было в F2?
3. Сколько растений в F2 были остистыми?
4. Сколько растений в F2 были безостыми?
5. Сколько растений F2 были безостыми и гомозиготными по обоим генам?

**Задание 112.**

У хлопчатника доминантный аллель гена В обусловливает коричневую окраску волокна, аллель b – белую. Ген А подавляет проявление коричневой и белой окраски и обусловливает зеленую окраску волокна. Рецессивный аллель а не оказывает влияния на проявление окраски.

Скрещивали между собой растения, имеющие генотипы ааВВ и ААbb. В F1 получили 152 растения, в F2 − 960 растений.

1. Сколько растений F1 могли иметь зеленую окраску волокна?
2. Сколько разных фенотипических классов может быть в F2?
3. Сколько растений F2 могли иметь белую окраску волокна и давать нерасщепляющееся потомство?
4. Сколько растений F2 могли иметь зеленую окраску волокна?
5. Сколько растений F2, имеющих зеленую окраску, могли при самоопылении давать нерасщепляющееся потомство?

**Задание 113.**

У некоторых сортов ячменя яровой тип развития наследуется по типу эпистаза. Ген А обусловливает яровой тип развития растения, ген а − озимый тип. Ген-ингибитор В подавляет развитие яровости, ген b на проявление признака влияния не оказывает.

При скрещивании сортов ячменя, имеющего генотип ААВВ, с сортом, имеющим генотип ааbb, было получено 10 растений F1, от самоопыления которых было получено 112 растений F2.

1. Сколько растений F1 имели озимый тип развития?
2. Сколько разных генотипов в F2 обусловливали озимый тип развития?
3. Сколько разных генотипов в F2 обусловливали яровой тип развития?
4. Сколько растений в F2 развивались по озимому типу?
5. Сколько растений в F2 развивались по яровому типу?

**Задание 114.**

У кукурузы окраска зерновки обусловливается эпистатичным взаимодействием генов. Ген А контролирует проявление пурпурной окраски зерновки, рецессивный аллель а – белой. Эпистатичный ген В подавляет проявление пурпурной окраски, ген b не влияет на проявление окраски.

При скрещивании линий, имеющих генотипы ААВВ и aabb, получили 80 растений F1, от самоопыления которых получили 1280 зерновок F2.

1. Сколько растений F1 могли иметь белую окраску зерновки?
2. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
3. Сколько зерновок F2 могли иметь пурпурную окраску?
4. Сколько зерновок, имеющих белую окраску, могли давать нерасщепляющееся потомство по этому признаку?
5. Сколько зерновок F2 могли иметь белую окраску?

**Задание 115.**

У льна форма лепестков контролируется эпистатичным взаимодействием генов. Ген А обусловливает гофрированную форму лепестков, ген а – гладкую. Эпистатичный ген I подавляет действие гена А, а ген i не оказывает влияния на форму лепестков.

При скрещивании гомозиготных растений, имеющих генотип IIAA, с растениями, имеющими гладкие лепестки и генотип iiaa, получили 196 растений F1, от самоопыления которых получили 640 гибридов F2.

1. Сколько разных фенотипов может быть в F1?
2. Сколько растений F1 могли иметь гладкие лепестки?
3. Сколько разных фенотипов могло быть в F2?
4. Сколько растений в F2 могли иметь гофрированную форму лепестков?
5. Сколько из них в последующих поколениях могли давать нерасщепляющееся потомство?

**Задание 116.**

У лука пурпурная окраска чешуй обусловлена доминантным аллелем гена P, а белая – рецессивным аллелем р. В присутствии гена-ингибитора I пурпурная окраска чешуй не проявляется. Рецессивный аллель i не оказывает влияния на проявление окраски.

При скрещивании гомозиготного растения, имеющего белую окраску чешуй и генотип IIPP, с растением, имеющим генотип iipp, получили 190 растений F1, от самоопыления которых сформировалось  
3200 растений F2.

1. Сколько разных фенотипов могли иметь растения F1?
2. Сколько растений F2 могут иметь в генотипе аллель пурпурной окраски чешуй, не реализованный в фенотипе?
3. Сколько растений F2 могут иметь пурпурную окраску чешуй?
4. Сколько из них могут давать нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько растений, имеющих белую окраску чешуй, могут давать нерасщепляющееся потомство?

**Задание 117.**

У некоторых сортов клещевины основной фон окраски семян может быть коричневым, серым и беловатым. Ген Р обусловливает коричневую окраску семян и является эпистатичным по отношению к гену А, детерминирующему серую окраску семян. Рецессивный аллель а обусловливает беловатую окраску, а аллель р не оказывает влияния на окраску семян.

Скрещивали гомозиготное растение, имеющее коричневую окраску семян и генотип РРАА, с растением, имеющим беловатые семена. В F1 получили 172 растения, в F2 – 1440 растений.

1. Сколько растений F1 могли иметь коричневую окраску семян и дать нерасщепляющееся по данному признаку потомство?
2. Сколько растений F2 могли иметь коричневую окраску семян и дать нерасщепляющееся потомство?
3. Сколько растений F2 могли иметь серые семена?
4. Сколько растений F2 с серыми семенами могли дать нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько растений F2 могли иметь беловатые семена?

**Задание 118.**

Окраска зерна у некоторых сортов овса наследуется по типу эпистаза. Ген А обусловливает черную окраску зерна, а ген В − серую окраску. Ген А эпистатичен по отношению к гену В. Рецессивные аллели этих генов в гомозиготном состоянии обусловливают белую окраску зерна.

При скрещивании растений, имеющих генотип АаВb, с растениями, имеющими генотип ааbb, было получено 36 растений в Fа.

1. Сколько разных фенотипов будет в Fа?
2. Сколько разных генотипов будет в Fа?
3. Сколько растений будут иметь черную окраску зерна?
4. Сколько растений будут иметь серую окраску зерна?
5. Сколько растений будут иметь белую окраску зерна?

**Задание 119.**

У картофеля доминантный аллель гена Ас обусловливает нормальный синтез антоциана, красно-фиолетовую окраску клубней и цветков, рецессивный аллель – белую окраску цветков и клубней. Ген I ингибирует образование антоциана в клубнях, но не препятствует его синтезу в цветках, которые имеют красно-фиолетовую окраску. Аллель i на проявление окраски влияния не оказывает.

Белоклубневое гомозиготное растение картофеля с красно-фиолетовыми цветками скрещивали с растением, у которого были белые цветки, клубни и генотип iiacac. В F1 получили 85 растений, в F2 – 480 растений.

1. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько растений F2 могли иметь белые клубни, красно-фиолетовые цветки и давать нерасщепляющееся потомство?
3. Сколько растений F2 могли иметь белую окраску клубней и цветков?
4. Сколько разных фенотипических классов могло быть в F2?
5. Сколько растений F2 могли иметь красно-фиолетовую окраску клубней и цветков?

**Задание 120.**

Зеленая окраска волокна у мутантной линии хлопчатника определяется доминантными генами Р. Ген I является ингибитором и при наличии его в генотипе окраска не проявляется. Ген р контролирует белую окраску волокна. Ген i не влияет на окраску.

От скрещивания гомозиготной по доминантным генам формы с белой окраской волокна с другой беловолокнистой, с рецессивными генами формой было получено 110 растений F1. В F2 получили 480 растений.

1. Сколько фенотипов может быть в F2?
2. Сколько разных генотипов может быть в F2?
3. Сколько растений F2 с зеленой окраской волокна могут быть гомозиготными?
4. Сколько растений в F2 с белой окраской волокна могут быть двойными гетерозиготами?
5. Сколько нерасщепляющихся линий можно получить при таком скрещивании?

**Задание 121.**

У тыквы доминантный аллель гена А обусловливает желтую окраску плодов, аллель а – зеленую. Эпистатичный ген В подавляет проявление окраски, и растения имеют белые плоды. Аллель b не влияет на проявление окраски.

Скрещивали растение с белыми плодами и генотипом ААВВ, с растением, имеющим зеленые плоды. В F1 получили 50 растений, в F2 – 496 растений.

1. Сколько растений F1 могли иметь белую окраску плодов?
2. Сколько разных фенотипических классов могло быть в F2?
3. Сколько растений F2 могли иметь желтые плоды?
4. Сколько растений F2 могли иметь зеленые плоды?
5. Сколько гомозиготных растений F2 могли иметь белые плоды?

**Задание 122.**

У некоторых сортов фасоли окраска бобов может быть черной при наличии гена Д. Ген Н определяет желтую окраску бобов. Ген Д подавляет фенотипическое проявление гена Н. Двойные рецессивы обусловливают зеленую окраску бобов.

От скрещивания гомозиготных сортов фасоли с черной окраской бобов с образцами, имеющими желтую окраску бобов, было получено 60 растений F1. В F2 было получено 160 растений.

1. Сколько типов гамет могут образовать растения F1?
2. Сколько растений в F2 могут иметь желтую окраску бобов и быть гомозиготными?
3. Сколько растений с черной окраской бобов могут быть двойными гетерозиготами?
4. Сколько растений в F2 могут иметь зеленую окраску бобов?
5. Сколько растений с черной окраской бобов в F2 дадут нерасщепляющееся потомство?

**Задание 123.**

У льна голубая окраска цветков обусловливается доминантным геном А. Доминантный ген В контролирует розовую окраску цветков. Ген А подавляет действие гена В. Рецессивные гены определяют белую окраску цветков.

От скрещивания гомозиготных растений с голубой и розовой ок-  
раской цветковв F1 было получено 90 растений, а в F2 − 480 растений.

1. Сколько разных генотипов может быть в F2?
2. Сколько растений в F2 с голубой окраской цветков могут быть двойными гетерозиготами?
3. Сколько растений в F2 с розовой окраской цветков могут быть гомозиготными?
4. Сколько растений в F2 могут быть белоцветковыми?
5. Сколько фенотипических классов образуется в F2?

**Задание 124.**

У гороха пурпурная окраска цветков контролируется доминантным геном Lf. Ген-ингибитор I подавляет проявление окраски цветков. Ген i не влияет на окраску цветков. Ген lf обусловливает белую окраску цветков.

От скрещивания гомозиготных белоцветковых растений с генотипами IILfLf и iilflf было получено 110 гибридных растений F1. От самоопыления растений F1 получили 1440 растений гибридов F2.

1. Сколько типов гамет могут формировать растения F1?
2. Сколько фенотипических классов может быть в F2?
3. Сколько генотипов может быть в F2?
4. Сколько растений в F2 с пурпурной окраской могут быть гомозиготными?
5. Сколько растений в F2 с белыми цветками могут быть двойными гетерозиготами?

**Задание 125.**

У картофеля ген N определяет красно-фиолетовую окраску цветков. Ген С контролирует сине-фиолетовую окраску. Ген N подавляет фенотипическое проявление гена С. Рецессивные гомозиготы оказываются белоцветковыми.

От скрещивания гомозиготных красноцветковых растений с гомозиготными растениями, имеющими сине-фиолетовые цветки, было получено 39 растений в F1, а в F2 − 192 растения.

1. Какой фенотип проявится у растений F1?
2. Сколько генотипов может быть в F2?
3. Сколько растений с красно-фиолетовыми цветками могут быть двойными гетерозиготами?
4. Сколько растений в F2 могут быть белоцветковыми?
5. Сколько растений в F2 с сине-фиолетовыми цветками могут быть гомозиготами?

**Задание 126.**

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

При скрещивании двух растений, выросших из серых семян, получили серые и белые зерновки в соотношении 3:1.

Определите генотипы родителей.

**Задание 127.**

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

При скрещивании белоплодных и желтоплодных растений получены гибриды с желтыми, белыми и зелеными плодами в соотношении 1:2:1.

Определите генотипы родителей.

**Задание 128.**

У маргариток центр цветка обычно окрашен в пурпурный цвет. Имеются также формы с желтым центром цветка. При скрещивании их с растениями, имеющими пурпурный центр цветка, у гибридов первого поколения центр цветка был пурпурный. Во втором поколении происходило расщепление в соотношении 48 (пурпурных) к 12 (желтых).

Дайте генетическое объяснение этому результату.

**Задание 129.**

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

При самоопылении растения, выросшего из черного семени, получены растения с черными, серыми и белыми зернами в соотношении 12:3:1. Определите генотип исходного растения.

**Задание 130.**

У хлопчатника ген В обусловливает коричневую окраску волокна, ген b – белую. Ген I подавляет проявление коричневой и белой окраски и контролирует развитие зеленой окраски. Ген i не оказывает влияния на проявление окраски.

От скрещивания растений хлопчатника с зеленой и коричневой окраской волокна 50 % гибридов имели зеленую окраску волокна, 37,5 % − коричневую и 12,5 % − белую. Определите генотипы родительских форм.

**3.3. Полимерное взаимодействие генов**

***Полимерным взаимодействием генов (полимерией)*** называется однозначное влияние двух, трех или более неаллельных генов на развитие одного и того же признака.

Такие гены называются полимерными, или множественными, и обозначаются одинаковыми буквами с соответствующим индексом – А1А1А2А2А3А3 или а1а1а2а2а3а3.

При полимерии два или несколько ферментов, образующихся под контролем неаллельных генов, действуют на развитие одного и того же признака, усиливая его проявление.

Полимерия была открыта и изучена Нильсоном-Эле в 1908 г. Это явление распространено очень широко. Полимерные гены контролируют практически все хозяйственно ценные свойства и признаки у культурных растений и животных. Например, у растений они контролируют высоту, продолжительность вегетационного периода, массу 1000 плодов и семян, масличность и содержание белка в семянках подсолнечника, длину волокна у льна, содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы и т. д.

Полимерные гены могут иметь:

* кумулятивный (суммирующий) эффект;
* некумулятивный эффект.

При ***некумулятивной полимерии*** развитие признака обусловли-  
вается наличием в генотипе любого числа соответствующих доми-  
нантных аллелей полимерных генов. При этом достаточно одного доминантного аллеля полимерных генов для фенотипического прояв-  
ления признака. В этом случае расщепление гибридов F2 будет соответствовать 15:1, 63:1 и т. д. в зависимости от числа пар полимерных генов.

Примером некумулятивной полимерии может служить наследование формы плода у растений пастушьей сумки (рис. 3.8).

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Треугольная    А1А1А2А2 | | × ♂ | | Овальная    а1а1а2а2 | |
| F1 |  |  | Треугольная    А1а1А2а2 | | | |  |
| F2 |  | Треугольная    А1\_1\_2\_2 | | | Овальная    a1a1a2a2 | | |

Рис. 3.8. Наследование формы плода  
у пастушьей сумки при полимерном взаимодействии двух пар генов

**Пример.** У пастушьей сумки известны растения двух разновидностей, четко различающихся по форме плодов. Одна разновидность (генотип а1а1а2а2) характеризуется овальной формой плодов, другая (в генотипе имеется хотя бы один доминантный аллель из двух пар полимерных некумулятивных генов) − треугольной формой плодов.

Скрещивали между собой растения с плодами треугольной формы (данные гены в доминантном состоянии) и овальной. В F1 получили 122 растения, в F2 – 640 растений.

1. Сколько растений F1 могли иметь плоды треугольной формы?
2. Сколько разных фенотипов могли иметь растения F2?
3. Сколько разных генотипов могли иметь растения F2?
4. Сколько растений F2 могли иметь плоды овальной формы?
5. Сколько растений F2 могли иметь плоды треугольной формы и давать нерасщепляющееся потомство в последующих поколениях?

*Решение.*

Пастушья сумка

Форма плодов.

А – треугольная;

а – овальная.

F1 – 122 растения.

F2 – 640 растений.

*1. Составляем схему скрещивания исходных родительских компонентов и получаем гибрид F1.*

треугольная овальная

Р ♀ А1А1А2А2 × ♂ а1а1а2а2

G

треугольная

F1 ♀ A1a1A2a2

*2. Составляем схему получения гибридов F2.*

F1 ♀ A1a1A2a2 × ♂ A1a1A2a2

G

*3. Выписываем гаметы и получаем возможные генотипы F2: при слиянии гамет, несущих по два доминантных гена, получаем генотип с четырьмя доминантными генами – 4А, при слиянии гамет, несущих по два рецессивных гена, получаем генотип с четырьмя рецессивными генами – 4а. Также возможны промежуточные генотипы 3А + 1а, 2А +  
+ 2а, 1А + 3а.*

Расщепление гибридов F2 по генотипу и фенотипу с описанием генотипических классов и частотой встречаемости гамет в решетке Пеннета приведено в табл. 3.1.

Таблица 3.1. **Расщепление гибридов F2 при некумулятивном взаимодействии двух пар полимерных генов**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Количество доминантных генов | Фенотипический класс | Генотипический класс | Гаметы | Частота встречаемости генотипов |
| 4А | Треугольные | А1А1А2А2 |  | 1 |
| 3А + 1а | Треугольные | А1А1А2а2  А1а1А2А2 |  | 2  4  2 |
| 2А + 2а | Треугольные | А1А1а2а2  а1а1А2А2  A1a1A2a2 |  | 1  15  6  1  4 |
| 1А + 3а | Треугольные | А1а1а2а2  а1а1А2а2 |  | 2  4  2 |
| 4а | Овальные | а1а1а2а2 |  | 1 |

Сокращенную схему расщепления гибридов в F2 можно показать следующим образом:

F2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 4А | треугольная | 1 |
| 3А + 1а | треугольная | 4 |
| 2А + 2а | треугольная | 6 |
| 1А + 3а | треугольная | 4 |
| 4а | овальная форма | 1 |

На 1 часть приходится 40 растений (640 растений F2 : 16 частей).

*Ответы.*

1. 122 растения F1 будут иметь треугольную форму плодов.
2. 2 фенотипа: треугольные и овальные плоды.
3. 9 генотипов: А1А1А2А2, А1А1А2а2, А1а1А2А2, А1А1а2а2, а1а1А2А2, A1a1A2a2, А1а1а2а2, А1а1а2а2, а1а1а2а2.
4. 40 растений F2 будут иметь плоды овальной формы (а1а1а2а2).
5. 120 растений F2 будут иметь плоды треугольной формы и давать нерасщепляющееся потомство (А1А1А2А2, А1А1а2а2, а1а1А2А2).

***Кумулятивной (суммирующей) полимерией*** называется такое взаимодействие полимерных генов, при котором степень проявления признака зависит от числа доминантных аллелей соответствующих генов, содержащихся в генотипе данной особи. Чем больше доминантных генов в генотипе, тем сильнее выражен тот или иной признак.

В случае кумулятивной полимерии у гибридов F2 наблюдается непрерывный ряд изменчивости признака. Расщепление F2 по фенотипу происходит в соотношении 1:4:6:4:1 при взаимодействии двух пар полимерных генов, 1:6:15:20:15:6:1 – при взаимодействии трех пар полимерных генов.

При кумулятивной полимерии наблюдается ***трансгрессия*** − выщепление в F2 потомков с более сильным или более слабым выражением признака, чем у каждой из родительских форм и гибридов F1, и дающих в дальнейшем нерасщепляющееся потомство.

Появление растений с более ценным выражением признака называется *положительной*, с менее ценным – *отрицательной трансгрессией*.

Сущность явления трансгрессии состоит в том, что при скрещивании организмов, отличающихся друг от друга по количественному выражению определенного признака, в гибридных потомствах появляются устойчивые (константные) формы с более сильным выражением соответствующего признака, чем это было у обеих родительских форм. Так, например, при скрещивании растений пшеницы, имеющих среднюю и выше средней плотность колоса, в F2 может быть выщепление растений с более плотным и с более рыхлым колосом, чем это было у исходных родительских сортов.

Примером наследования признаков, обусловленных кумулятив-  
ными полимерными генами, может служить наследование длины початка у кукурузы (рис. 3.9), окраски зерновки у пшеницы (рис. 3.10).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | 14 см    А1А1 а2а2 | × ♂ | 14 см    а1а1 А2А2 |  |
| F1 |  |  | 14 см    А1а1А2а2 |  |  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| F2 | 20 см    4А | 17 см    3А + а | 14 см    2А + 2а | 11 см    1А + 3а | 8 см    4а |

Рис. 3.9. Наследование длины початка у кукурузы,  
обусловленное взаимодействием двух пар кумулятивных генов  
(расщепление в соотношении 1:4:6:4:1)

**Пример.** У пшеницы темно-красная окраска зерновки обусловлена двумя парами доминантных полимерных генов А1А1А2А2, а белая – двумя парами рецессивных аллелей этих генов.

Если в генотипе присутствуют три доминантных гена А1А1А2а2 или А1а1А2А2, то окраска зерновки будет красная, два – А1А1а2а2, а1а1А2А2 или А1а1А2а2 – светло-красная, один – А1а1а2а2 или а1а1А2а2 – бледно-красная.

Скрещивали два гомозиготных сорта пшеницы со светло-красной окраской зерна и получили 80 растений F1, которые от самоопыления дали 960 гибридов F2.

1. Сколько разных генотипов может быть получено в F2?
2. Сколько растений могут иметь светло-красную окраску зерновки?
3. Сколько растений могут иметь белую окраску зерновки и давать нерасщепляющееся потомство?
4. Сколько фенотипов может быть в F2?
5. Сколько в F2 может быть трансгрессивных растений, имеющих более темную окраску зерновок, чем у гибридов F1?

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р | ♀ | Темно-красная  http://medbiol.ru/medbiol/genetic_sk/images/ris100.gif  А1А1А2А2 | × ♂ | Белая  http://medbiol.ru/medbiol/genetic_sk/images/ris100.gif  а1а1а2а2 |  |
| F1 |  | Светло-красная  http://medbiol.ru/medbiol/genetic_sk/images/ris100.gif  А1а1А2а2 | | |  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| F2 | Темно-красная  http://medbiol.ru/medbiol/genetic_sk/images/ris100.gif  4А | Красная  http://medbiol.ru/medbiol/genetic_sk/images/ris100.gif  3А + а | Светло-краснаяhttp://medbiol.ru/medbiol/genetic_sk/images/ris100.gif  2А + 2а | Бледно-красная  http://medbiol.ru/medbiol/genetic_sk/images/ris100.gif  1А + 3а | Белая  http://medbiol.ru/medbiol/genetic_sk/images/ris100.gif  4а |

Рис. 3.10. Наследование окраски зерновки у пшеницы,  
обусловленное взаимодействием двух пар кумулятивных генов  
(расщепление в соотношении 1:4:6:4:1)

*Решение.*

Пшеница

Окраска зерна.

4А – темно-красная;

3А – красная;

2А – светло-красная;

1А – бледно-красная;

4а − белая.

F1 – 80 растений.

F2 – 960 растений.

светло-красная светло-красная

Р ♀ А1А1а2а2 × ♂ а1а1А2А2

G

светло-красная

F1 ♀ A1a1A2a2 × ♂ A1a1A2a2

G

F2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 4А | темно-красная | 1 |
| 3А + 1а | красная | 4 |
| 2А + 2а | светло-красная | 6 |
| 1А + 3а | бледно-красная | 4 |
| 4 а | белая | 1 |

На 1 часть приходится 60 растений (960 растений F2 :16 частей).

*Ответы.*

1. 9 разных генотипов: А1А1А2А2, А1А1А2а2, А1а1А2А2, А1а1А2а2, А1А1а2а2, А1а1а2а2, а1а1А2А2, а1а1А2а2, а1а1а2а2.
2. 240 растений (4 части ∙ 60 растений).
3. 60 растений (1 часть ∙ 60 растений).
4. 5 фенотипов: темно-красная, красная, светло-красная, бледно-красная и белая окраска зерна.
5. Нерасщепляющихся растений с более темной окраской (генотип А1А1А2А2) может быть 60 штук (1 часть ∙ 60 растений).

**Пример.** У некоторых сортов пшеницы короткостебельность растений обусловлена тремя парами рецессивных полимерных генов карликовости. Предположим, что каждый из них имеет одинаковое количественное значение в определении длины соломины и все они имеют кумулятивный эффект. При наличии трех рецессивных пар генов карликовости (генотип l1l1l2l2l3l3) растения имеют высоту 18 см, а при наличии этих генов в доминантном состоянии высота растений равна  
120 см.

Скрещивали гомозиготные растения, имеющие минимальную и максимальную высоту. В F1 получили 24 растения, которые от самоопыления дали 64 растения F2.

1. Какова может быть высота растений F1?
2. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
3. Какую высоту могут иметь растения с генотипом L1L1L2l2l3l3?
4. Сколько растений могут иметь высоту меньше 60 см?
5. Сколько из них могут дать нерасщепляющееся потомство в F3 при самоопылении?

*Решение.*

Пшеница

Длина стебля.

6L – 120 см → 1L – 20 см высоты;

6l – 18 см → 1l – 3 см высоты.

F1 – 24 растения.

F2 – 64 растения.

18 cм 120 cм

Р ♀ l1l1l2l2l3l3 × ♂ L1L1L2L2L3L3

G

69 см

F1 ♀ L1l1L2l2L3l3 × ♂ L1l1L2l2L3l3

G

Расщепление гибридов F2 по генотипу и фенотипу с описанием генотипических классов и частотой встречаемости гамет в решетке Пеннета приведено в табл. 3.2.

Таблица 3.2. **Расщепление гибридов F2 при кумулятивном взаимодействии трех пар полимерных генов**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Количество доминантных генов | Фенотипический класс | Генотипический класс | Гаметы | Частота встречаемости генотипов |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6L | 120 см | L1L1L2L2L3L3 |  | 1 |
| 5L + 1l | 103 см | L1L1L2L2L3l3  L1L1L2l2L3L3  L1l1L2L2L3L3 |  | 2  6  2  2 |
| 4L + 2l | 86 см | L1L1L2L2l3l3  L1L1l2l2L3L3  l1l1L2L2L3L3  L1L1L2l2L3l3  L1l1L2L2L3l3  L1l1L2l2L3L3 |  | 1  1  1  15  4  4  4 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 3L + 3l | 69 см | L1L1L2l2l3l3  L1L1l2l2L3l3  L1l1L2L2l3l3  l1l1L2L2L3l3  L1l1l2l2L3L3  l1l1L2l2L3L3  L1l1L2l2L3l3 |  | 2  2  2  20  2  2  2  8 |
| 2L + 4l  97 | 52 см | L1L1l2l2l3l3  l1l1L2L2l3l3  l1l1l2l2L3L3  L1l1L2l2l3l3  L1l1l2l2L3l3  l1l1L2l2L3l3 |  | 1  1  1  15  4  4  4 |

Окончание табл. 3.2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1L + 5l | 35 см | L1l1l2l2l3l3  l1l1L2l2l3l3  l1l1l2l2L3l3 |  | 2  6  2  2 |
| 6l | 18 см | l1l1l2l2l3l3 |  | 1 |

Сокращенную схему расщепления гибридов в F2 можно показать следующим образом:

F2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 6А | 120 см | 1 |
| 5А + а | 103 см | 6 |
| 4А + 2а | 86 см | 15 |
| 3А + 3а | 69 см | 20 |
| 2А + 4 а | 52 см | 15 |
| 1А + 5а | 35 см | 6 |
| 6а | 18 см | 1 |

На 1 часть приходится 1 растение (64 растения F2 : 64 части).

*Ответы.*

1. Растения F1 будут иметь высоту 69 см.
2. В F2 может быть 7 фенотипов: 120 см, 103, 86, 69, 52, 35, 18 см.
3. Высоту 69 см имеют растения с генотипом L1L1L2l2l3l3.
4. 22 растения имеют высоту менее 60 см: (15 + 6 + 1 части) ×  
   × 1 растение.
5. Нерасщепляющееся потомство могут давать 4 растения с генотипами L1L1l2l2l3l3, l1l1L2L2l3l3, l1l1l2l2L3L3, l1l1l2l2l3l3.

**Задания**

**Задание 131.**

У гексаплоидной пшеницы яровой и озимый образ жизни обусловливается двумя парами полимерных генов Vrn1 и Vrn2 без кумулятивного действия. Яровой образ жизни контролируется доминантными генами, озимый – рецессивными генами.

От скрещивания гомозиготного сорта озимой пшеницы с гомозиготным сортом яровой пшеницы было получено 120 растений F1 при весеннем посеве. Гибриды F2 выращивали при посеве весной в количестве 960 растений.

1. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
2. Сколько разных генотипов может быть в F2?
3. Сколько растений в F2 могут быть яровыми?
4. Сколько растений с яровым образом жизни дадут в последующем нерасщепляющееся потомство?
5. Сколько растений в F2 могут быть озимыми?

**Задание 132.**

У самоопыленных линий кукурузы длина початков определяется двумя парами полимерных генов L1 и L2 с кумулятивным эффектом. Установлено, что один доминантный ген L обусловливает длину початка 6 см, рецессивный ген − 3 см.

От скрещивания двух гомозиготных линий, одна из которой имеет все доминантные гены, другая – все рецессивные, было получено  
112 гибридов F1. От скрещивания этих растений было получено  
1040 гибридов F2.

1. Сколько типов гамет могут образовать растения F1?
2. Какое расщепление по фенотипу может быть в F2?
3. Сколько растений в F2 могут быть гомозиготами по доминантным генам?
4. Сколько растений будут иметь наименьший размер початков?
5. Какой генотип контролирует наибольший размер початков?

**Задание 133.**

Плотность колоса у твердой пшеницы определяется двумя парами полимерных генов D1 и D2, действующих кумулятивно. Известно, что плотность колоса определяется количеством колосков на 10 см длины колосового стержня. Установлено, что один доминантный ген D обусловливает формирование 6 колосков, рецессивный ген d − 4 колосков.

Растения гомозиготного по доминантным генам сорта были скрещены с сортом, гомозиготным по рецессивным генам. В F1 было получено 110 гибридных растений. От самоопыления растений F1 было получено 1760 гибридов F2.

1. Сколько типов гамет могли формировать растения F1?
2. Какое фенотипическое расщепление может быть в F2?
3. Какое количество колосков могли сформировать самые плотные колосья растений F2?
4. Какое количество колосков могли сформировать рыхлые колосья растений в F2?
5. Сколько разных генотипов было в F2?

**Задание 134.**

У кукурузы длина початка обусловлена двумя парами полимерных генов, каждый из которых имеет однозначное действие. Предположим, что каждый доминантный ген обусловливает длину початка 5 см, а рецессивный ген – 2 см.

Скрещивали две гомозиготные линии кукурузы, одна из которых имела длину початка 8 см, а другая – 20 см. В F1 получили 55 растений, а в анализирующем скрещивании − 896 растений.

1. Какую длину початка могли иметь растения F1?
2. Какую длину початка могут иметь растения, в генотипе которых содержится два доминантных гена?
3. Сколько таких растений может быть в Fа?
4. Какую длину початка могут иметь растения с одним доминантным геном?
5. Сколько разных фенотипов может быть в Fа?

**Задание 135.**

В результате исследования нескольких тысяч растений одного сортообразца ржи была обнаружена сильная изменчивость по опушенности стебля (от 60 волосков на 1 см2 до полного отсутствия опушения). Предположим, что эта изменчивость обусловлена тремя парами полимерных генов с кумулятивным действием. В доминантном состоянии каждый из них детерминирует развитие 10 волосков на 1 см2 стебля.

При скрещивании гомозиготных растений, имеющих опушенность стебля 40 волосков на 1 см2 и генотипы А1А1А2А2а3а3 × а1а1А2А2А3А3, получили в F1 47 растений, в F2 – 144 растения.

1. Какова может быть опушенность стебля у растений F1?
2. Сколько разных генотипов может быть в F2?
3. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
4. Сколько растений F2 могут быть трансгрессивными по данному признаку и иметь большую опушенность, чем родительские формы?
5. Какую наименьшую опушенность стебля могут иметь растения F2?

**Задание 136.**

У мягкой пшеницы плотность колоса определяется по числу колосков на 10 см длины колосового стержня. Различают следующие типы плотности колоса: рыхлый – меньше 17 колосков, средней плотности – 17–20, выше средней – 20−23, плотный – 23−26, очень плотный (булавовидный) – больше 26. Предположим, что плотность колоса детерминируется двумя парами полимерных неаллельных генов, оказывающих кумулятивное действие: чем меньше содержится в генотипе доминантных генов, тем плотнее будет колос.

При скрещивании двух сортов пшеницы, имеющих колос выше средней плотности и генотипы А1А1а2а2 × а1а1А2А2, в F1 получили  
82 растения, в F2 – 256 растений.

1. Какую максимально возможную плотность колоса могут иметь растения F1?
2. Сколько разных фенотипов могут иметь растения F2?
3. Сколько разных генотипов могут иметь растения F2?
4. Сколько растений F2 могут быть трансгрессивными и иметь более плотный колос, чем каждая из родительских форм?
5. Сколько в F2 может быть трансгрессивных растений, имеющих более рыхлый колос, чем каждая из родительских форм?

**Задание 137.**

У самоопыленных линий зернового сорго имеются высокорослые и карликовые формы. У первых высота растений обусловливается доминантными полимерными генами L1, L2 и L3, которые в гомозиготном состоянии имеют высоту 240 см. У карликовых линий высота растений составляет 120 см и обусловливается рецессивными полимерными генами l1, l2 и l3.

Гомозиготные с доминантными генами высокорослые растения были скрещены с гомозиготными карликовыми формами, получено  
160 растений F1. Установлено, что полимерные гены действуют кумулятивно. От скрещивания гибридов F1 с карликовыми растениями было получено в Fа 320 растений.

1. Сколько типов гамет могли сформировать растения F1?
2. Сколько фенотипических классов может быть в Fа?
3. Сколько разных генотипов может быть в Fа?
4. Сколько растений в Fа могли быть гомозиготами по всем рецессивным генам?
5. Сколько растений в Fа могли быть гетерозиготными?

**Задание 138.**

У кукурузы число рядов зерен в початке наследуется очень сложно. Предположим, что оно определяется четырьмя парами полимерных генов, имеющих кумулятивный эффект. Если в генотипе содержится четыре пары рецессивных генов с1с1с2с2с3с3с4с4, то число рядов в початке равно 8, а если четыре пары доминантных генов – 24.

Опыляли линию кукурузы, имеющую генотип С1С1С2С2с3с3с4с4, пыльцой линии, имеющей генотип С1С1с2с2С3С3с4с4. Получили 75 растений F1, которые от самоопыления дали 2560 растений F2.

1. Сколько рядов зерен в початке может быть у гибридов F1?
2. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
3. Сколько трансгрессивных растений F2 могли иметь меньше рядов зерен в початке, чем каждая из родительских форм?
4. Сколько растений F2 могли иметь больше рядов зерен в початке, чем каждая из родительских форм?
5. Сколько растений F2 могли иметь большее число зерен в початке, чем гибрид F1, и давать нерасщепляющееся потомство?

**Задание 139.**

У зернового сорго высота стебля обусловлена взаимодействием четырех пар полимерных генов, каждый из которых влияет на длину междоузлия. Допустим, что это действие обусловлено в равной мере каждым из четырех генов, причем их действие носит количественный и кумулятивный характер.

Высота растений при наличии всех четырех пар рецессивных генов карликовости равна 40 см, при наличии всех четырех пар доминантных генов – 240 см.

1. Какая высота стебля может быть у растений, имеющих генотип D1D1D2D2d3d3d4d4?
2. Какая высота стебля может быть у растений, имеющих генотип d1d1 D2d2D3D3D4D4?
3. Какова может быть высота гибридов F1, полученных от скрещивания растений с генотипами d1d1d2d2d3d3d4d4 и D1D1D2D2D3D3D4D4?
4. Материнское растение, имеющее генотип D1D1D2D2D3D3d4d4, опыляли пыльцой отцовского растения, имеющего генотип d1d1d2d2d3d3D4D4. Какова может быть высота растений в F1?
5. Какова могла быть высота отцовского растения?

**Задание 140.**

Плотность колоса ячменя зависит от длины каждого членика колосового стержня: чем он короче, тем плотнее колос. Длина членика колосового стержня контролируется полимерными генами, облада-  
ющими кумулятивным действием. У линии, имеющей все гены в рецессивном состоянии (a1a1a2a2a3a3a4a4), колос очень плотный. Длина одного членика колосового стержня 1,16 мм. У другой линии с генотипом A1A1A2A2A3A3A4A4 колос рыхлый, членики колосового стержня относительно длинные − 3,36 мм. Доминантный аллель А1 увеличивают длину стержня по сравнению с рецессивным на 0,08 мм, А2 − на 0,14 мм, А3  на 0,42 мм, А4 − на 0,46 мм.

1. Определите возможную длину членика колосового стержня у растений с генотипом A1A1А2А2A3A3а4a4.

2. Определите возможную длину членика колосового стержня у растений с генотипом A1A1a2a2A3A3A4a4.

3. Определите возможную длину членика колосового стержня у растений, имеющих генопит A1A1А2А2А3а3А4a4.

4. Определите длину членика колосового стержня у гибрида, имеющего генотип а1а1а2а2А3А3А4А4.

5. При скрещивании сортов с генотипами А1А1А2А2а3а3а4а4 и a1a1a2a2A3A3A4A4 получили 256 растений. Сколько из них могут быть трансгрессивными с минимальным размером члеников колосового стержня?

**4.** **Хромосомная теория наследственности**

В 1900 г. почти одновременно и независимо друг от друга тремя учеными – Г. Де-Фризом, К. Корренсом и Э. Чермаком  законы Г. Менделя были вторично открыты и должным образом оценены.

Впервые идею связи между хромосомами и генами выдвинул в 1903 г. американский ученый У. Сэттон. Он предположил, что:

1. диплоидные наборы хромосом состоят из двух сходных гаплоидных наборов;
2. в процессе мейоза каждая гамета получает только одну хромосому из каждой гомологичной пары;
3. гены являются частью хромосом, причем каждая гомологичная хромосома несет по одному гену;
4. поскольку число признаков у любого организма во много раз больше числа его хромосом, поэтому каждая хромосома должна содержать множество генов.

В 1905 г. Э. Вильсон сформулировал основные положения хромосомной теории определения пола.

Дальнейшее развитие классической генетики связано со школой американского биолога Т. Моргана.

В 1919–1925 гг. была создана и утверждена хромосомная теория наследственности (ХТН). Ее авторами являются Т. Морган, А. Стертевант, К. Бриджес и Г. Меллер.

*Основные положения ХТН.*

1. Основными материальными носителями наследственности являются хромосомы с локализованными в них генами.
2. Гены наследственно дискретны, относительно стабильны, но при этом могут мутировать.
3. Гены расположены в хромосомах линейно в особых участках (локусах) на определенном расстоянии друг от друга.
4. Гены, расположенные в одной хромосоме, образуют группу сцепления и наследуются вместе.
5. Число групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом и является постоянным для каждого вида.
6. Сцепление генов может нарушаться в результате кроссинговера − обмена гомологичными участками гомологичных хромосом.
7. Расстояние между генами пропорционально проценту кроссинговера между ними.

**4.1. Наследование пола и сцепленных с полом признаков**

Пол, как и любой другой признак организма, наследственно детерминирован. Важная роль в генетической детерминации пола принадлежит хромосомному аппарату.

Хромосомы, по которым различаются особи мужского и женского полов, принято называть *половыми*, или *гетеросомами*. Те половые хромосомы, которые у одного из полов являются парными, назвали  
***Х-хромосомами*** (иногда Z). Непарная половая хромосома, имеющаяся только у особей одного пола и отсутствующая у другого, названа  
***У-хромосомой*** (иногда W).

По хромосомной теории наследственности пол организма определяется в момент оплодотворения.

Различают четыре основных типа хромосомного определения пола (табл. 4.1).

Таблица 4.1. **Типы определения пола**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип определения пола | Организмы | Половые хромосомы | | Гетерогаметный пол |
| ♀ | ♂ |
| ХУ | Человек, млекопитающие, двукрылые насекомые, некоторые виды рыб, растения | XX | ХУ | Мужской |
| ХУ | Птицы, бабочки | ХУ (ZW) | XX (ZZ) | Женский |
| ХО | Кузнечики, клопы | XX | ХО | Мужской |
| ХО | Моли | ХО | XX | Женский |

Пол, имеющий две гомологичные половые хромосомы, называется

***гомогаметным***. Он образует один тип гамет по данным хромосомам.

Пол, содержащий в кариотипе разные половые хромосомы Х и У, называют ***гетерогаметным***. Он образует два типа гамет по половым  
  
хромосомам и .

Благодаря тому, что один пол гетерогаметный, а другой – гомогаметный, в поколениях обеспечивается равное соотношение полов.

Признаки, определяемые генами, локализованными в половых хромосомах, называются ***признаками, сцепленными с полом***.

Гены, локализованные в половых хромосомах, принято обозначать символом половой хромосомы с индексом, обозначающим ген. Так, у дрозофилы доминантный аллель ХW детерминирует красную (нормальную) окраску глаз, рецессивный аллель Xw – белую.

При локализации гена, определяющего тот или иной признак, в половой хромосоме фенотипическое проявление действия этого гена будет находиться в зависимости от пола особи. Признак обязательно проявится у мужской (при гетерогаметности мужского пола) и у женской (при гетерогаметности женского пола) особи независимо от того, какой ген (доминантный или рецессивный) из данной пары унаследует эта особь, так как, в отличие от Х-хромосомы, У-хромосома у большого числа видов не несет активных генов.

Такое состояние, когда ген проявляет свое действие, будучи в гаплоидном наборе, называется *гемизиготным*.

При решении генетических ситуаций у человека или составлении генеалогического древа используют специальную систему обозначений (рис. 4.1)

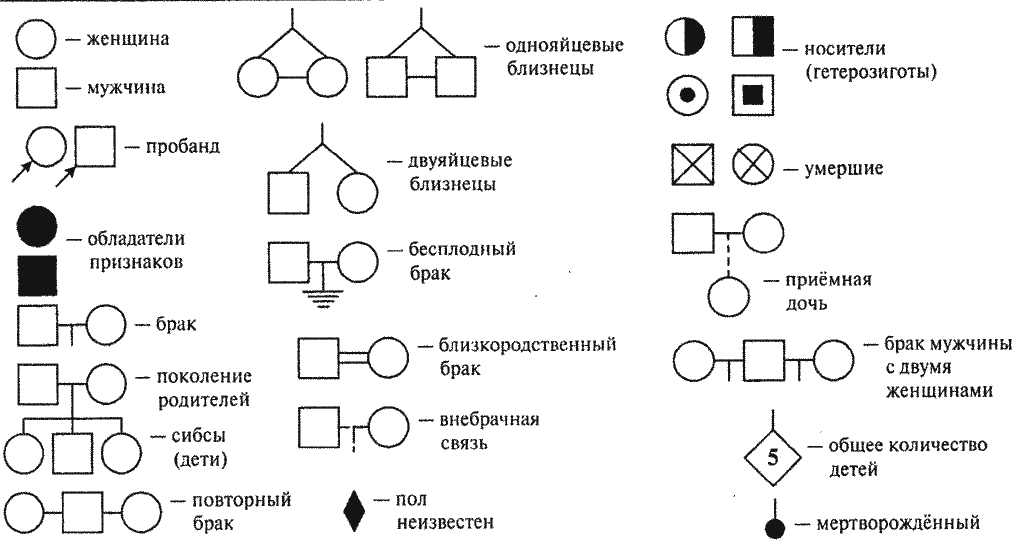


Рис. 4.1. Система обозначений при решении генетических ситуаций  
у человека

В отличие от признаков, гены которых локализованы в аутосомах, признаки, сцепленные с полом, наследуются по-другому. В этом случае прямое и обратное скрещивания дают разные результаты.

**Пример.** У двудомного цветкового растения меландриум гены, определяющие ширину листьев, сцеплены с Х-хромосомой. Ген S обусловливает широкие листья, рецессивный ген s − узкие листья.

Гомозиготное широколистное растение было опылено пыльцой узколистного растения. Получили 90 растений F1.

1. Сколько из них было женских?
2. Сколько мужских растений имело широкие листья?
3. Сколько женских растений имело широкие листья?
4. От скрещивания между собой растений F1 получили 1280 гибридов F2. Сколько из них имело широкие листья?
5. Сколько мужских растений было узколистными?

*Решение.*

Меландриум

Ширина листьев.

S – широкие листья;

Х

s – узкие листья.

F1 – 90 растений.

широкие узкие

Р ♀ ХSXs × ♂ XsУ

G

F1 ♀ XSXs – широкие листья;

♂ XSY – широкие листья.

На 1 часть приходится 45 растений (90 растений F1 : 2 части).

*Ответы.*

1. 45 растений (1 часть ∙ 45 растений).
2. 45 растений (1 часть ∙ 45 растений).
3. 45 растений (1 часть ∙ 45 растений).

широкие широкие

F1 ♀ XSXs × ♂ XSY

G

F2 ♀ XSXS – широкие листья;

♀ XSXs – широкие листья;

♂ XSY – широкие листья;

♂ XsY – узкие листья.

На 1 часть приходится 320 растений (1280 растений : 4 части).

1. 960 растений (3 части ∙ 320 растений).
2. 320 растений (1 часть ∙ 320 растений).

**Пример.** У небольшой рыбки (*Aplocheilus*) пол наследуется по тому же типу, что и у дрозофилы. Пара аллелей R и r, обусловливающих окраску тела, локализованы в обеих половых хромосомах, как Х, так и У. Красный цвет является доминантным, белый − рецессивным.

От спаривания белой самки с красным гемизиготным самцом получили в F1 18 потомков, а в F2 – 44, из них 24 самки.

1. Сколько рыбок F1 имели красную окраску?
2. Сколько разных генотипов было в F2?
3. Сколько рыбок F2 имели красную окраску?
4. Сколько рыбок-самок F2 имели красную окраску?
5. Сколько рыбок имели белую окраску?

*Решение.*

Рыбка

Окраска тела.

Х, У

R – красная окраска;

r – белая окраска.

F1 – 18 рыбок.

F2 – 44 рыбки, в том числе 24 самки.

белая красная

Р ♀ ХrXr × ♂ XRУR

G

красная красная

F1 ♀XRXr × ♂ XrYR

G

F2 ♀ XRXr – красная окраска;

24 самки  
(по 12 рыбок на 1 часть)

♀ XrXr – белая;

♂ XRYR – красная;

44 – 24 = 20 самцов  
(по 10 рыбок на 1 часть)

♂ XrYR – красная.

*Ответы.*

1. 18 рыбок F1 имели красную окраску тела.
2. В F2 было 4 разных генотипа.
3. 32 рыбки F2 имели красную окраску тела (1 часть самок + 2 части самцов).
4. 12 самок имели красную окраску (1 часть самок).
5. 12 рыбок имели белую окраску (1 часть самок).

**Пример.** У кур рецессивный аллель гена k наследуется сцепленно с полом. Если в зиготе не содержится доминантный аллель гена К, то цыплята погибают до вылупления из яйца.

Самец, гетерозиготный по данному гену, был скрещен с нормальными самками. Из яиц вылупились 72 цыпленка.

1. Сколько разных генотипов может быть в результате такого скрещивания?
2. Сколько цыплят может погибнуть до вылупления из яиц?
3. Сколько среди погибших может быть курочек?
4. Сколько живых петушков может быть при таком скрещивании?
5. Сколько живых курочек может быть при таком скрещивании?

*Решение.*

Куры

Развитие эмбриона.

К – нормальное развитие;

Х

k – гибель до вылупления из яиц.

F1 – 72 цыпленка.

нормальное нормальное

Р ♀ ХKY × ♂ XKXk

G

F1 ♂ XKXK – нормальное развитие;

3 части

♂ XKXk – нормальные;

♀ XKY – нормальные;

♀ XkY – погибают до вылупления из яиц.

На 1 часть приходится 24 вылупившихся цыпленка (72 : 3).

*Ответы.*

1. 3 генотипа (цыплята с генотипом ♀ XkY погибают).
2. 24 цыпленка могут погибнуть до вылупления из яиц (1 часть ×  
   × 24 цыпленка).
3. 24 курочки могут погибнуть до вылупления из яиц (1 часть ×  
   × 24 цыпленка).
4. 48 живых петушков (2 части ∙ 24 цыпленка).
5. 24 живые курочки (1 часть ∙ 24 цыпленка).

**Пример.** Рецессивный ген h, обусловливающий гемофилию человека, локализован в половой Х-хромосоме. Ген Н контролирует нормальное состояние крови.

Фенотипически здоровая женщина, отец которой был болен гемофилией, вышла замуж за здорового юношу. У них было 8 детей.

1. Напишите схему родословной этой семьи. Какие могут быть женские и мужские гаметы при данном примере?
2. Какие могут быть генотипы у девочек?
3. Какие могут быть генотипы у мальчиков?
4. Одна из девочек этой семьи, которая имеет генотип ХНХН, вышла замуж за юношу-гемофилика. У них родился сын. Напишите схему родословной этой семьи.
5. Определите генотип сына, родившегося в последней семье.

*Решение.*

Человек

Свертываемость крови.

H – нормальная свертываемость;

h – несвертываемость (гемофилия).

норм. норм.

XНY

XhY

XНY

норм. норм. норм. гемофилия

На 1 генотип может приходиться по 2 ребенка (8 детей : 4 возможных генотипа).

*Ответы.*

1. Родословная этой семьи приведена выше. Женские гаметы   
     
   и , мужские гаметы и .
2. ХНХН и ХНХh.
3. ХНY и ХhY.

4. норм. гемофилия

XhY

XНY

норм. норм.

5. ХНY.

Задания

**Задание 141.**

У дрозофилы рецессивный ген s, обусловливающий укороченное тело, локализован в Х-хромосоме. Доминантный ген S обусловливает нормальные размеры тела.

Гетерозиготная самка, имеющая нормальные размеры тела, скрещена с самцом, также имеющим нормальные размеры тела. Получили 48 мух.

1. Сколько типов гамет может образовать самка?
2. Сколько типов гамет может образовать самец?
3. Сколько самок, полученных при этом скрещивании, имеет нормальные размеры тела?
4. Сколько из них являются гомозиготными?
5. Сколько самцов имеют укороченное тело?

**Задание 142.**

У двудомного цветкового растения меландриум наследование пола происходит по такому же типу, как и у дрозофилы. Рецессивный ген, обусловливающий развитие узких листьев, локализован в Х-хромо-  
соме. Доминируют широкие листья.

Гетерозиготное широколистное растение скрестили с узколистным и получили 220 гибридов.

1. Сколько растений имело широкие листья?
2. Сколько женских растений имело широкие листья?
3. Сколько мужских растений имело узкие листья?
4. Гетерозиготное растение опылили пыльцой широколистного растения и получили 20 гибридов. Сколько из них имело узкие листья?
5. Сколько мужских растений имело широкие листья?

**Задание 143.**

Одна пара генов В и b, определяющих окраску шерсти у кошек, наследуется сцепленно с полом. Ген В обусловливает рыжую окраску, ген b − черную, а гетерозиготы Вb определяют пеструю окраску.

Черного кота спаривали с пестрой кошкой. Получили 12 котят, из них 6 кошек.

1. Сколько котят имело рыжую масть?
2. Сколько кошек было рыжей масти?
3. Сколько кошек было пестрыми?
4. Сколько котят было черными?
5. Сколько котов имело черную масть?

**Задание 144.**

Окраска крыльев у бабочек обусловливается локализованным в  
Х-хромосоме геном D. Доминантный аллель гена D обусловливает развитие яркой окраски крыльев, а рецессивный аллель d – тусклой окраски.

Скрещивали бабочек с яркой окраской крыльев с гомозиготными самцами с тусклыми крыльями. Получили 20 потомков F1, а от скрещивания гибридов F1 между собой − 120 потомков F2.

1. Сколько гибридов F1 могли иметь яркую окраску крыльев?
2. Сколько самцов F1 могли иметь яркую окраску крыльев?
3. Сколько самок в F2 могли быть с тусклой окраской крыльев?
4. Сколько самцов F2 могли быть с яркой окраской крыльев?
5. В другой комбинации скрещивали самок, имевших тусклую окраску крыльев с гомозиготными самцами с яркой окраской. В F2 получили 48 гибридов. Сколько самцов в F2 могли иметь яркую окраску крыльев?

Задание 145.

У аквариумных рыбок *Aplocheilus* доминантный ген R, определяющий красную окраску тела, ген r, контролирующий белую окраску тела, локализованы в обеих половых хромосомах, как Х, так и У. Тип определения пола у этой породы рыбы такой же, как и у мухи дрозофилы.

От скрещивания красной самки с белым гомозиготным самцом получили в F1 12 потомков, а в F2 − 38, из них 20 − самки.

1. Сколько рыбок F1 имели красную окраску тела?
2. Сколько разных генотипов было в F2?
3. Сколько рыбок F2 имели белую окраску?
4. Сколько самок имели красную окраску и были гомозиготными?
5. Сколько самцов в F2 имели красную окраску тела?

**Задание 146.**

У кур полосатое оперение определяется доминантным геном В и наследуется сцепленно с полом. При скрещивании полосатых кур (XвY) с петухом (Хb Хb), имеющим рецессивный ген черной окраски b в F1 получили 18 цыплят, от скрещивания которых между собой в F2 получили 56 цыплят.

1. Сколько цыплят в F1 были петушками?
2. Сколько петушков в F1 имели черную окраску?
3. Сколько курочек F2 имели черную окраску?
4. Сколько петушков F2 имели полосатую окраску?
5. Сколько петушков F2 были гомозиготами по этому признаку?

**Задание 147.**

У кур рецессивный аллель гена k наследуется сцепленно с полом. Если в зиготе не содержится доминантный аллель гена К, то цыплята погибают до вылупления из яйца. Самец, гетерозиготный по данному гену, был скрещен с нормальными самками. Из яиц вылупилось 72 цыпленка.

1. Сколько разных генотипов может быть при таком скрещивания?
2. Сколько цыплят может погибнуть до вылупления из яиц?
3. Сколько среди погибших может быть курочек?
4. Сколько живых петушков может быть при таком скрещивании?
5. Сколько живых курочек может быть при таком скрещивании?

**Задание 148.**

Рецессивный ген h, обусловливающий гемофилию человека, локализован в половой Х-хромосоме. Ген Н контролирует нормальное состояние крови.

Фенотипически здоровая женщина, отец которой был болен гемофилией, вышла замуж за здорового юношу. У них было 4 детей.

1. Какие могут быть женские и мужские гаметы в данном примере?
2. Какие могут быть генотипы у девочек?
3. Какие могут быть генотипы у мальчиков?
4. Одна из девочек этой семьи, которая имеет генотип ХНХН, вышла замуж за юношу-гемофилика. У них родилась дочь.
5. Определите ее генотип и покажите в общей схеме родословной.

**Задание 149.**

Рецессивный ген d, обусловливающий цветовую слепоту у человека, локализован в половой Х-хромосоме. Ген D контролирует нормальное зрение.

Фенотипически здоровая женщина, отец которой страдал дальтонизмом, вышла замуж за юношу-дальтоника. У них было 8 детей.

1. Какие могут быть женские и мужские гаметы в данном примере?
2. Какие могут быть генотипы у девочек?
3. Какие могут быть генотипы у мальчиков?
4. Одна из девочек этой семьи, которая имеет генотип ХDХd, вышла замуж за юношу (XDY). У них родился сын.
5. Требуется определить его генотип и показать в общей схеме родословной.

**Задание 150.**

У дрозофилы гомогаметным является женский пол, а гетерогаметным – мужской. У-хромосома у нее генетически инертна.

Доминантный ген красной окраски глаз W и рецессивный ген белой окраски w находятся в Х-хромосоме.

1. Определите, какие типы гамет образуются у гетерозиготной красноглазой самки; красноглазого самца; белоглазого самца.
2. Гетерозиготная красноглазая самка скрещена с красноглазым самцом. Какой цвет глаз будет у гибридов в первом поколении?
3. Гомозиготная красноглазая самка скрещена с белоглазым самцом. Какую окраску глаз будут иметь гибриды первого и второго поколений?
4. Белоглазая самка скрещена с красноглазым самцом. Какой цвет глаз будет у самцов в первом поколении?
5. Белоглазая самка скрещена с красноглазым самцом. Какой цвет глаз будет у самок во втором поколении?

4.2. Наследование признаков при полном сцеплении генов

Закон независимого комбинирования признаков осуществляется при условии, если гены, определяющие эти признаки, находятся в негомологичных хромосомах. В силу этого у каждого вида организмов число пар признаков, наследующихся независимо, ограничено числом пар хромосом.

В то же время число генов, определяющих различные признаки, очень велико по сравнению с количеством гомологичных пар хромосом. Поэтому следует предположить, что в каждой паре хромосом расположен не один ген, а множество.

Так, в соматических клетках дрозофилы (*Drosophila melanogaster*) содержится четыре пары хромосом (2n = 8), а число генов, детерминирующих свойства и признаки этих насекомых, более 1100, в том числе в первой хромосоме локализовано более 400 генов, в четвертой хромосоме – 42.

Гены, находящиеся в одной хромосоме, называются ***сцепленными***, и в соответствии с поведением хромосом в мейозе должны наследоваться вместе, образуя ***группу сцепления***.

Впервые явление сцепленного наследования было открыто английскими генетиками В. Бетсоном и Р. Пеннетом (1906 г.) при изучении наследования окраски цветков (пурпурная – белая) и формы пыльцевых зерен (овальная – округлая) у душистого горошка.

Теоретическое обоснование и дальнейшее развитие это явление получило в работах Т. Моргана и его сотрудников К. Бриджеса и  
А. Стертеванта, которые в 1910 г. создали хромосомную теорию наследственности. Объектом их исследований была дрозофила.

Сцепленное наследование составляет сущность ***закона сцепления Моргана***: при полном сцеплении гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются совместно и независимо от генов, локализованных в других хромосомах и образующих другие группы сцепления.

Для установления характера наследования изучаемых признаков (независимое или сцепленное) используют анализирующее скрещивание гибридов F1 с особью, имеющей изучаемые признаки в рецессивном состоянии (рис. 4.2).

При локализации генов в разных хромосомах число фенотипических классов в Fа равняется числу изучаемых альтернативных признаков – 4 при дигибридном скрещивании, 8 при тригибридном и т. д.

При локализации генов в одной хромосоме у дигетерозиготной особи AaBb гаметообразование протекает обычным путем, но независимого распределения генов в гаметах не наблюдается, так как независимо в половых клетках распределяются не гены, а хромосомы. Поэтому при сцепленном наследовании в Fа образуется только два фенотипических класса в соотношении 1:1.

Все гены, находящиеся в одной хромосоме и наследующиеся сцепленно, составляют *группу сцепления*. Следовательно, число групп сцепления у каждого вида равно гаплоидному набору хромосом, так как гомологичные хромосомы содержат идентичные наборы генов.

Большое внимание уделяют условным обозначениям соответствующих генов. Ген обозначают буквенными символами, первая буква которого соответствует названию данного признака. К ней обычно добавляют одну-две буквы (иногда индекс), чтобы символы могли отличаться от уже используемых у данного вида. Например, у дрозофилы доминантный ген Bar – узкие глаза – обозначают буквой В, ген Beadexoid – узкие длинные крылья – обозначают Bxd, ген Bag − вздутые крылья – Bg и т. д.

Тип наследования

Независимое

Гены локализованы  
в разных хромосомах

А В

Генотип F1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

а b

Гаметы F1

4 типа

А В

25 %

25 %

25 %

25 %

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

а b

А b

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

а b

Потомство Fа

a В

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

а b

a b

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

а b

Сцепленное

Гены локализованы  
в одной хромосоме

А В

|  |
| --- |
|  |

а b

2 типа

А В

50 %

50 %

|  |
| --- |
|  |

а b

a b

|  |
| --- |
|  |

а b

Рис. 4.2. Схема образования гамет и генотипов при независимом и сцепленном  
наследовании

Пример. У томатов гены, контролирующие высоту растений и форму плодов, локализованы в одной аутосоме и наследуются сцепленно.

Скрещивали гомозиготное растение с доминантными генами высокорослости (Н) и шаровидной формы плодов (Р) с растениями, имеющими карликовый рост (h) и грушевидную форму плодов (р). В F1 получили 118 растений, F2 − 1124 растения.

1. Сколько высокорослых растений с шаровидными плодами может быть в F1?
2. Сколько типов гамет могут образовывать растения F1?
3. Сколько разных генотипов получено в F2?
4. Сколько растений F2 могли иметь карликовый рост и грушевидные плоды?
5. Сколько групп сцепления может иметь томат?

*Решение.*

Томат

Высота растений;

Форма плодов.

H – высокорослость;

h – карликовость;

Р – шаровидные плоды;

р – грушевидные плоды.

F1 – 118 растений.

F2 – 1124 растения.

выс. шар. карл. груш.

P ♀ H P × ♂ h p

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

H P h p

G

выс. шар.

F1 ♀ Н Р × ♂ H P

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

h p h p

G

F2

H P высокорослые, шаровидные плоды;

1

2

1

|  |
| --- |
|  |

H P

h p высокорослые, шаровидные плоды;

3

|  |
| --- |
|  |

H p

H P высокорослые, шаровидные плоды;

|  |
| --- |
|  |

h p

1

h p карликовые, грушевидные плоды.

|  |
| --- |
|  |

h p

На 1 часть приходится 281 растение (1124 растения : 4 части).

Расщепление по фенотипу идет в соотношении 3:1.

Расщепление по генотипу идет в соотношении 1:2:1.

*Ответы.*

1. Все 118 растений F1 будут высокорослыми с шаровидными плодами.
2. Растения F1 могут образовать два типа гамет.
3. В гибриде F2 получено три разных генотипа.
4. 281 растение F2 будет иметь карликовый рост и грушевидные плоды (1 часть ∙ 281 растение).
5. Томат будет иметь 12 групп сцепления (2n = 24).

Задания

**Задание 151.**

У растений горошка душистого гены, детерминирующие окраску цветков и наличие усиков на листьях, локализованы в одной хромосоме и наследуются сцепленно.

При скрещивании гомозиготных растений, имеющих ярко-красную окраску цветков и усики на листьях (генотип RRTT), с растением, имеющим бледно-розовые цветки и без усиков на листьях (генотип rrtt), в F1 получили 56 гибридов. Их скрестили с растениями, у которых оба признака находились в рецессивном состоянии, и получили  
180 растений Fa.

1. Сколько типов гамет могут образовать растения F1?
2. Сколько разных генотипов может быть в Fa?
3. Сколько разных фенотипов может быть в Fa?
4. Сколько растений Fa могли иметь бледно-розовую окраску цветков и листья без усиков?
5. Сколько растений Fa могли иметь ярко-красную окраску цветков и листья с усиками?

**Задание 152.**

У томата гены, определяющие высоту растений и форму плодов, наследуются сцепленно и локализованы в одной хромосоме.

Скрещивали гомозиготное растение с доминантными генами высокорослости (Н) и шаровидной формы плодов (Р) с растениями, имеющими карликовый рост (аллель h) и грушевидную форму плодов (р).  
В F1 получили 96 растений, в F2 – 960 растений.

1. Сколько высокорослых растений с шаровидными плодами может быть в F1?
2. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
3. Сколько разных генотипов может быть в F2?
4. Сколько растений F2 могли иметь карликовый рост и грушевидные плоды?
5. Сколько групп сцепления может иметь томат?

**Задание 153.**

У кукурузы гены, обусловливающие фертильность пыльцы и матовую поверхность листьев, локализованы в одной хромосоме. Нормальная фертильность (F) является доминантной по отношению к пониженной (f), а матовая поверхность листа (G) доминантна по отношению к глянцевой (g).

При скрещивании гомозиготного растения, имеющего пониженную фертильность и матовую поверхность листьев, с растением, имеющим нормальную фертильность и глянцевую поверхность листьев, получили 80 гибридов F1, от переопыления которых получили 1280 растений F2.

1. Сколько разных типов гамет могут образовать растения F1?
2. Сколько растений F2  могут иметь оба доминантных признака?
3. Сколько разных генотипов может быть в F2?
4. Сколько растений F2 могут иметь пониженную фертильность и матовые листья?
5. Сколько растений F2 могут иметь гены в гомозиготном состоянии?

**Задание 154.**

У примулы китайской длина пестика и окраска рыльца пестика определяется генами, локализованными в одной хромосоме. Короткий пестик (L) является доминантным по отношению к длинному (l), а зеленая окраска рыльца (Rs) доминантна по отношению к красной (rs).

Гомозиготное растение, имеющее короткий пестик и красное рыльце, скрестили с растением, имеющим длинный пестик и зеленое рыльце. В F1 получили 120 растений, в F2 – 480 растений.

1. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько растений в F1 могли иметь короткий пестик и зеленое рыльце?
3. Сколько разных генотипов могло быть в F2?
4. Сколько растений в F2 могли иметь оба признака в доминантном состоянии?
5. Сколько растений в F2 могли иметь короткий пестик и красное рыльце?

**Задание 155.**

У пшеницы в хромосоме 2D локализованы гены карликовости D и безлигульности tg.

Скрещивали карликовые безлигульные растения с высокорослыми растениями, имеющими лигулы. Все растения были карликовыми и имели лигулы. Их скрестили с высокорослыми растениями, не имеющими лигул. В Fа получили 120 растений.

1. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
2. Cколько различных фенотипов может быть в Fa?
3. Сколько растений Fa были карликовыми и безлигульными?
4. Сколько растений Fa имели лигулы и нормальную высоту?
5. Сколько групп сцепления может быть у мягкой пшеницы?

**Задание 156.**

У гороха гены, контролирующие форму стебля, опушение растений и окраску цветков, локализованы в одной хромосоме. Стелющаяся форма стебля (Р) доминирует над прямостоячей (р), опушенность растения (N) – над отсутствием опушения (n), а пурпурная окраска цветков (А) – над белой (а).

Скрещивали гомозиготное растение со стелющимся опушенным стеблем и белыми цветками с гомозиготным растением, имеющим прямостоячий неопушенный стебель и красные цветки. В F1 получили  
82 растения, в F2 – 320 растений.

1. Сколько разных типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько разных генотипов может быть в F2?
3. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
4. Сколько растений F2 могли быть со стелющимся опушенным стеблем и белыми цветками?
5. Сколько групп сцепления может быть у гороха?

**Задание 157.**

У томата округлая форма плода (О) доминантна по отношению к плоской (о), одиночные цветки (S) доминантны по отношению к цветкам, собранным в соцветие (s) и признак опушения плода (р) рецессивен по отношению к неопушенному (Р). Все три гена находятся по второй хромосоме.

Скрещивали растения с неопушенными округлыми плодами и единичными цветками с растениями, имеющими опушенные плоские плоды и цветки, собранные в соцветия. В F1 получили 99 растений, от самоопыления завязалось 400 семян. Все они были всхожими.

1. Сколько разных типов гамет может образовать растений F1?
2. Сколько растений F1 могут иметь все три признака в доминантном состоянии?
3. Сколько разных генотипов может быть в F2?
4. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
5. Сколько растений F2 могут иметь все три признака в рецессивном состоянии?

**Задание 158.**

У ячменя в I хромосоме локализованы гены n (голозерность) и gs (отсутствие воскового налета). Доминируют гены пленчатости N и Gs (наличие воскового налета).

Скрещивали пленчатые растения без воскового налета и голозерные с восковым налетом. В F1 получили 88 растений, в F2 – 960 растений.

1. Сколько гибридов F1 были пленчатыми и имели восковой налет?
2. Сколько типов гамет может образовать растение F1?
3. Сколько разных фенотипов может быть в F2?
4. Сколько разных генотипов может быть в F2?
5. Сколько групп сцепления может быть у ячменя?

**Задание 159.**

У кукурузы зеленая окраска всходов (V) является доминантной по отношению к золотистой (v), а отсутствие лигул (Lg) доминантно по отношению к наличию лигул (lg). Оба гена находятся в одной хромосоме.

Скрещивали безлигульное растение с золотистой окраской всходов с растением, имеющим лигулы и зеленую окраску всходов. В F1 получили 110 гибридов, а от скрещивания их с гомозиготной формой по обоим рецессивным признакам в Fа − 400 растений.

1. Сколько групп сцепления может быть у кукурузы?
2. Сколько разных типов гамет может образовать растение F1?
3. Сколько растений Fa могли быть безлигулыми и иметь золотистую окраску всходов?
4. Сколько разных генотипов может быть в Fа?
5. Сколько растений Fa могли иметь лигулы и зеленую окраску всходов?

**Задание 160.**

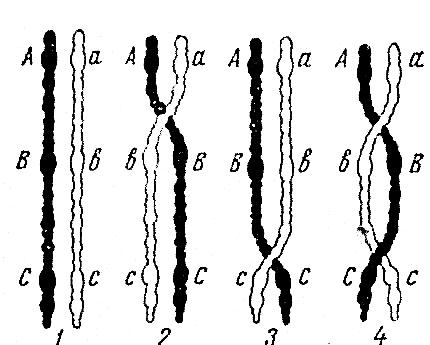
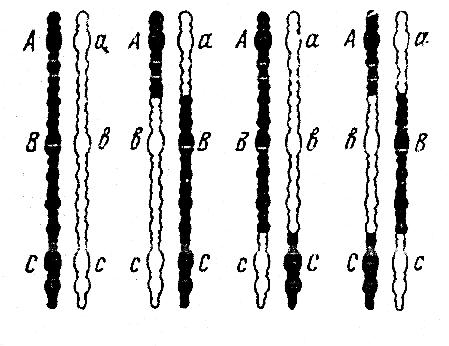
У дрозофилы ген ct, определяющий наличие вырезки на крыльях, и ген cv, определяющий отсутствие поперечной жилки на крыле, локализованы в одной хромосоме. Ген Ct (нормальные крылья) доминантен по отношению к гену сt (крылья с вырезкой), а ген Cv (наличие поперечной жилки на крыле) доминантен по отношению к гену cv (отсутствие поперечной жилки на крыле).

Скрещивали гомозиготных мух, имеющих вырезные крылья и поперечную жилку на крыле, с мухами, имеющими нормальные крылья без поперечной жилки. В F1 получили 52 гибрида. Их скрестили с муами, у которых оба признака в рецессивном состоянии. В Fa получили 160 мух.

1. Сколько мух F1 имели оба признака в доминантном состоянии?
2. Сколько разных генотипов имели мухи Fa?
3. Сколько разных фенотипов имели мухи Fa?
4. Сколько мух в Fa имели нормальные крылья?
5. Сколько мух в Fa имели вырезные крылья и поперечную жилку?

4.3. Неполное сцепление генов. Кроссинговер

Сцепление генов не бывает абсолютным, так как хромосомы обладают способностью к ***рекомбинации*** − взаимному обмену идентичными участками − в результате кроссинговера, происходящего в профазе I мейоза (рис. 4.3).

*1 2 3 4*

Рис. 4.3. Схема двойного перекреста хромосом и находящихся в них генов:

*1* − отсутствие кроссинговера; *2* − кроссинговер между генами А и В;   
3 **−** кроссинговер между генами В и С; 4 − двойной кроссинговер  
между генами А и В, В и С

В результате кроссинговера изменяется состав доминантных и рецессивных аллелей генов в группах сцепления. Гомологичные хромосомы, в которых произошел кроссинговер, называют ***рекомбинантными***, или ***кроссоверными***, а гибриды – ***рекомбинантами***, или ***кроссоверами***. Гаметы, содержащие хромосомы, претерпевшие кроссинговер, также называются *кроссоверными*.

При сцепленном наследовании сила сцепления может быть разной. При полном сцеплении в потомстве гибрида появляются организмы только с родительскими сочетаниями признаков, а рекомбинанты отсутствуют. При неполном сцеплении всегда наблюдается в той или иной мере преобладание форм с родительскими сочетаниями признаков.

***Величина кроссинговера***, отражающая силу сцепления между генами, измеряется отношением числа рекомбинантов к общему числу особей и выражается в процентах.

По проценту кроссинговера условно определяют расстояние между генами в данной группе сцепления: чем больше будет кроссоверных особей в Fа, тем дальше будут расположены анализируемые гены в хромосоме. Так, у дрозофилы частота кроссинговера между геном b, детерминирующим черную окраску тела, и vg, детерминирующим развитие рудиментарных (недоразвитых) крыльев, равна 17 %, между геном b и геном ch, обусловливающим ярко-красную окраску глаз, − 9 %, а между ch и vg – 8 %.

После тщательного изучения данного явления Т. Морган сформулировал ***закон линейного расположения генов в хромосоме***: гены расположены в хромосомах линейно, а частота кроссинговера отражает относительное расстояние между ними.

Закон линейного расположения генов в хромосоме позволил составить генетические карты хромосом. ***Генетической картой хромосом*** называется схематическое изображение относительного положения генов, находящихся в одной группе сцепления.

В настоящее время составлены генетические карты хромосом дрозофилы (рис. 4.4), кукурузы, томата (рис. 4.5), ячменя, гороха, львиного зева, нейроспоры и некоторых других видов организмов.

При составлении генетических карт в первую очередь определяют группы сцепления (I, II, III и т. д.). Затем в каждой группе сцепления последовательно записывают местоположение гена, указывая его расстояние от точки хромосомы, условно принятой за нулевую.

Для определения местоположения гена в группе сцепления проводят систему скрещиваний специально подобранных родительских особей с альтернативными признаками, гены которых находятся в одной группе сцепления.

Гибриды F1 скрещивают с линией-анализатором, имеющей гены в рецессивном состоянии, что позволяет выявить в Fа рекомбинанты (кроссоверные гибридные особи). Чем больше в гибридной популяции Fа кроссоверных особей, тем больше расстояние между изучаемыми генами.

Пример. У кукурузы признаки блестящих листьев (ген gl) и надрезанной формы (st) листьев являются рецессивными по отношению к матовым (Gl) и нормальной формы листьям (St) и наследуются сцепленно.

От скрещивания линии кукурузы с блестящими надрезанными листьями с растениями, имеющими матовые нормальной формы листья, получили 116 растений F1. От скрещивания растений F1 с линией-анализатором получено 726 гибридов, из которых 92 были кроссоверными между генами gl и st.

1. Сколько растений F1 имели матовые нормальной формы листья?
2. Сколько растений Fа имели матовые надрезанные листья?
3. Сколько разных фенотипов было в Fа?
4. Сколько разных генотипов было в Fа?
5. Какое расстояние будет между генами gl и st?

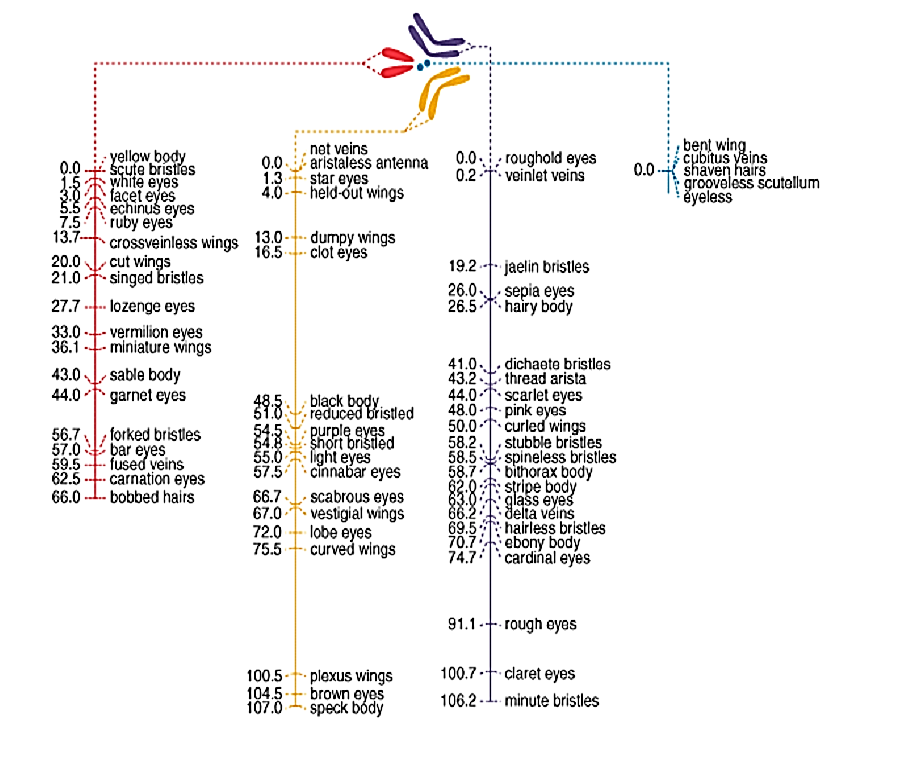


Рис. 4.4. Генетические карты хромосом дрозофилы

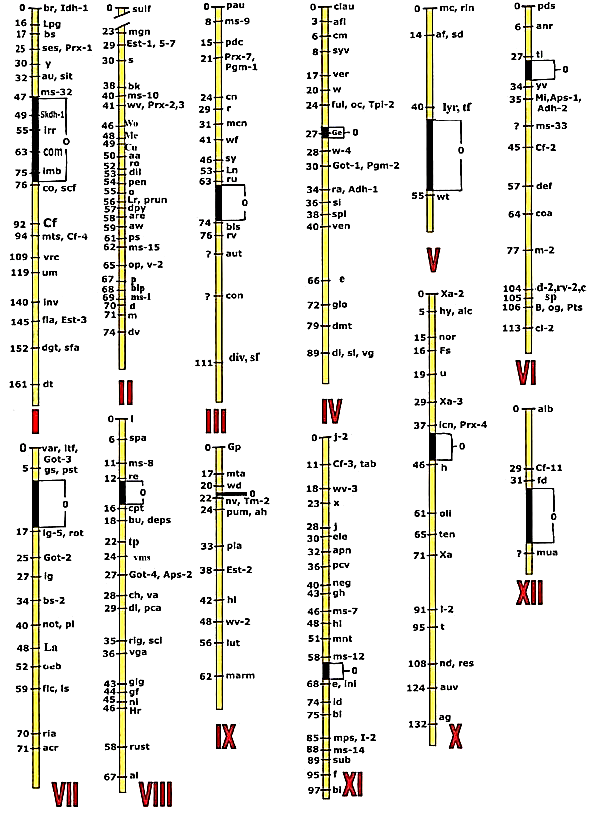


Рис. 4.5. Генетические карты хромосом томата:

I−XII – обозначения хромосом. Числа означают расстояние между генами  
в процентах кроссинговера

*Решение.*

*1. Записываем объект исследования, изучаемые признаки и обозначения аллелей.*

Кукуруза

Характер поверхности листьев;

Форма листьев.

Gl – матовые листья;

gl – блестящие листья;

St – нормальные листья;

st – надрезанные листья.

F1 – 116 растений.

Fа – 726 растений, в том числе 92 кроссоверных между генами gl и st.

*2. Составляем схему скрещивания исходных родительских компонентов и получаем гибрид F1.*

блест. надр. мат. норм.

Р ♀ gl st × ♂ Gl St

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

gl st Gl St

G

мат. норм.

F1 gl st

|  |
| --- |
|  |

Gl St

*3. Выписываем гаметы, которые образует гибрид F1. Их может быть 4 типа: 2 типа гамет образуются без кроссинговера и 2 типа – с участием кроссинговера.*

*4. Записываем схему скрещивания гибрида F1 с линией-анализатором. Выписываем гамету, которую может образовать линия-анализатор.*

F1 ♀ gl st × ♂ gl st

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Gl St gl st

G

некроссоверные  
гаметы

кроссоверные гаметы

*5. Получаем потомство от анализирующего скрещивания и рассчитываем число растений, приходящихся на каждый класс некроссоверных и кроссоверных особей.*

Fа

***Некроссоверные особи  
2 части***

726 – 92 = 634 растения

(по 317 растений на 1 часть)

100 − 12,6 = 87,4 %  
(по 43,7 % на 1 часть)

gl st блестящие надрезанные листья;

|  |
| --- |
|  |

gl st

Gl St матовые нормальные листья;

|  |
| --- |
|  |

gl st

Gl st матовые надрезанные листья;

***Кроссоверные особи:  
2 части***

92 растения  
(по 46 растений на 1 часть)

12,6 % (по 6,3 % на 1 часть)

|  |
| --- |
|  |

gl st

gl St блестящие нормальные листья.

|  |
| --- |
|  |

gl st

*6. Находим расстояние между генами.*

Расстояние между генами равно: · 100 % = 12,6 %.

12,6

gl st

*Ответы.*

1. 116 растений F1 имели матовые нормальной формы листья.
2. 46 растений Fа имели матовые надрезанные листья.
3. 4 разных фенотипа было в Fа.
4. 4 разных генотипа было в Fа.
5. Расстояние между генами составило 12,6 % (морганид).

**Пример.** У кукурузы в IX хромосоме локализованы гены c, sh, bp, детерминирующие окраску алейрона, форму зерновок и окраску перикарпа.

Скрещивали гомозиготную линию, имеющую доминантные признаки (неокрашенный алейрон, гладкую форму, светлый перикарп), с линией, у которой все признаки были в рецессивном состоянии (окрашенный алейрон, морщинистая форма, коричневая окраска перикарпа). Гибриды F1 скрещивали с линией-анализатором и получили  
400 растений Fа, из которых 6 имели зерновки с окрашенным алейроном, гладкой формы и со светлым перикарпом, а 30 – зерновки с неокрашенным алейроном, гладкой формы и с коричневым перикарпом.

1. Сколько растений имели зерновки с неокрашенным алейроном, морщинистой формы и с коричневым перикарпом (%)?
2. Сколько растений могли иметь зерновки с окрашенным алейроном, морщинистой формы и с коричневым перикарпом (%)?
3. Чему равно расстояние в морганидах между генами c и sh?
4. Чему равно расстояние в морганидах между генами sh и bp?
5. Чему равно расстояние в морганидах между генами c и bp?

*Решение.*

Кукуруза

Окраска алейронового слоя;

Характер поверхности алейрона;

Окраска перикарпа.

С – неокрашенный алейрон;

с – окрашенный алейрон;

Sh – гладкий алейрон;

sh – морщинистый алейрон;

Bp – светлый перикарп;

bp – коричневый перикарп.

Fа – 400 растений, в том числе:

12 (6 + 6) кроссоверных между генами c и sh;

60 (30 + 30) кроссоверных между генами sh и bp.

неокр. глад. светл. окр. морщ. корич.

Р ♀ С Sh Bp × ♂ c sh bp

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

C Sh Bp c sh bp

G

неокр. глад. светл.

F1 ♀ C Sh Bp × ♂ c sh bp

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

c sh bp c sh bp

G

некроссоверные гаметы

кроссоверные  
между генами  
c и sh

кроссоверные  
между генами  
sh и bp

Fа

***Некроссоверные особи:  
2 части***

400 – 12 – 60 = 328 растения

(по 164 растения на 1 часть)

100 – 3 – 15 = 82 %  
(по 41 % на 1 часть)

C Sh Bp неокр. гл. св.;

|  |
| --- |
|  |

c sh bp

c sh bp окр. морщ. корич.;

|  |
| --- |
|  |

c sh bp

c Sh Bp окр. гл. св.;

***Кроссоверные особи между*** ***c и sh:  
2 части***

12 растений (по 6 растений на 1 часть)

3 % (по 1,5 % на 1 часть)

|  |
| --- |
|  |

c sh bp

C sh bp неокр. морщ. корич.;

|  |
| --- |
|  |

c sh bp

***Кроссоверные особи между*** ***sh и bp:  
2 части***

60 растений (по 30 растений на 1 часть)

15 % (по 7,5 % на 1 часть)

C Sh bp неокр. гл. корич.;

|  |
| --- |
|  |

c sh bp

c sh Bp окр. морщ. св.

|  |
| --- |
|  |

c sh bp

Расстояние между генами c и sh равно: · 100 % = 3 % (морганиды).

Расстояние между генами sh и bp равно: · 100 % = 15 % (морганид).

3,0 15,0

c sh bp

18,0

Расстояние между генами c и bp равно: 3 + 15 = 18 % (морганид).

*Ответы.*

1. 1,5 % растений Fа имели зерновки с неокрашенным алейроном, морщинистой формы и с коричневым перикарпом.
2. 41 % растений Fа могли иметь зерновки с окрашенным алейроном, морщинистой формы и с коричневым перикарпом.
3. Расстояние между генами c и sh составляет 3 морганиды.
4. Расстояние между генами sh и bp составляет 15 %.
5. Расстояние между генами c и bp составляет 18 морганид.

Задания

**Задание 161.**

У кукурузы признаки блестящих (ген gl) и надрезанных (st) листьев являются рецессивными по отношению к матовым (Gl) и нормальной формы листьям (St) и наследуются сцепленно.

От скрещивания линии кукурузы с блестящими листьями надрезанной формы и линии, имеющей матовые нормальной формы листья, получили 96 растений F1. От скрещивания растений F1 с линией-анализатором получили 640 гибридов, из которых 126 были кроссоверными между генами gl и st.

1. Сколько растений F1 имели матовые нормальной формы листья?
2. Сколько растений Fa имели матовые надрезанные листья?
3. Сколько разных фенотипов было в Fa?
4. Сколько разных генотипов было в Fa?
5. Определите расстояние между генами gl и st (в процентах кроссинговера).

**Задание 162.**

У дрозофилы во II хромосоме локализованы гены, обусловливающие длину крыльев и ног. Доминантный ген Dp обусловливает развитие нормальных крыльев, аллель dp – коротких крыльев, доминантный ген D − нормальную длину ног, d − короткие ноги.

Скрещивали мух, имеющих короткие крылья и нормальные ноги, с мухами, имеющими нормальные крылья и короткие ноги. В F1 получили 150 мух. От скрещивания их с мухами, имеющими оба признака в рецессивном состоянии, получили 720 мух, из которых 40 имели оба доминантных признака.

1. Сколько мух Fa могли иметь оба рецессивных признака?
2. Сколько мух Fa могли иметь нормальные ноги и короткие крылья?
3. Сколько мух могли быть некроссоверными (%)?
4. Сколько мух Fa могли иметь оба признака в рецессивном состоянии (%)?
5. Определите расстояние между генами dp и d (в процентах кроссинговера).

**Задание 163.**

У сорго признаки голозерности (ген а) и белой окраски зерна (b) являются рецессивными по отношению к признакам пленчатости (А) и коричневой окраски зерна (В) и наследуются сцепленно.

От скрещивания голозерной линии сорго с белым зерном с пленчатой линией, имеющей коричневую окраску зерна, было получено 16 растений F1. От скрещивания растений с линией-анализатором было получено 126 растений, из них 34 были кроссоверными, а 92 − некроссоверными между генами а и b.

1. Сколько растений F1 были пленчатыми и имели коричневую окраску зерна?
2. Сколько растений Fa были пленчатыми и имели белое зерно?
3. Сколько разных фенотипов было в Fa?
4. Сколько разных генотипов было в Fa?
5. Определите расстояние между генами а и b (в процентах кроссинговера).

**Задание 164.**

У суданки признаки высокой кустистости (S) и низкой облиственности (К) являются доминантными по отношению к признакам низкой кустистости (s) и высокой облиственности (k) и наследуются сцепленно.

Растение суданки, гомозиготное по сцепленным генам S и K, скрещено с линией, гомозиготной по генам s и k. В F1 было получено 10 потомков, от скрещивания их с линией-анализатором было получено 120 потомков, из них 48 кроссоверных.

1. Сколько растений F1 имели оба доминантных гена?
2. Сколько растений Fа были гомозитными по обоим признакам?
3. Сколько растений Fа имели высокую облиственность и высокую кустистость?
4. Какой процент растений Fа имели низкую облиственность и низкую кустистость?
5. Определите расстояние между генами S и K (в процентах кроссинговера).

**Задание 165.**

У кукурузы признаки желтых проростков, детерминируемых геном gl, и блестящих листьев, детерминируемых геном st, наследуются сцепленно и являются рецессивными по отношению к признакам зеленых проростков и матовых листьев.

От скрещивания гомозиготных растений кукурузы, имеющих желтые проростки и блестящие листья, с растениями, имеющими зеленые проростки и матовые листья, получили 124 гибрида F1. От скрещивания растений F1 с линией-анализатором получили 726 растений Fa, в том числе 310 с доминантными признаками, 286 − рецессивными признаками, 130 − кроссоверных по данным генам.

1. Какой процент некроссоверных растений был среди гибридов Fa?
2. Сколько фенотипических классов было получено в Fa?
3. Сколько разных генотипов было в Fa?
4. Какой процент растений имели в Fa желтые проростки и матовые листья?
5. Определите расстояние между генами gl и st (в процентах крос-  
   синговера).

**Задание 166.**

У дрозофилы во II хромосоме локализованы гены формы крыла и наличия пятна у основания крыла. Ген А контролирует прямые крылья, рецессивный ген а − аркообразные крылья, ген В − отсутствие пятна у основания крыла, рецессивный ген b − наличие пятна у основания крыла.

При скрещивании гомозиготных мух с аркообразными крыльями без пятна у основания с гомозиготными мухами, имеющими прямые крылья и пятно у основания крыла, получили 124 мухи. От скрещивания их с мухами, имеющими оба признака в рецессивном состоянии, получили 1000 мух, из которых 40 были с обоими признаками в рецессивном состоянии.

1. Сколько генотипов образуется в этом скрещивании?
2. Какой процент мух Fа имели оба доминантных признака?
3. Какой процент мух Fа имели оба рецессивных признака?
4. Сколько мух Fа имели те же признаки, что и исходные родительские особи?
5. Определите расстояние между генами а и b (в процентах кроссинговера).

Задание 167.

У суданки в IV хромосоме локализованы гены, обусловливающие озерненность метелки и крупность пыльцы. Озерненная метелка – это доминантный признак (А), слабоозерненная метелка − рецессивный признак (а). Мелкая пыльца − это рецессивный признак (b), крупная пыльца − доминантный признак (В).

От скрещивания линии с озерненной метелкой и крупной пыльцой с линией, имеющей оба признака в рецессивном состоянии, было получено 80 растений F1, от скрещивания которых с линией-анализатором было получено всего 390 растений, из них 45 растений, имеющих озерненную метелку и мелкую пыльцу.

1. Сколько разных генотипов может образоваться в потомстве Fа?
2. Сколько растений Fа имели слабоозерненную метелку и крупную пыльцу?
3. Сколько растений Fа имели оба признака в доминантном состоянии?
4. Сколько растений Fа имели оба признака в рецессивном состоянии (%)?
5. Определите расстояние между генами а и b (в процентах кроссинговера).

**Задание 168.**

У кукурузы в III хромосоме локализованы аллели, определяющие характер листовой пластинки: рецессивный ген cr – скрученные листья, доминантный ген Cr – нормальные листья и аллели, определяющие высоту растения, доминантный ген D, обусловливающий нормальную высоту, и ген d – карликовость.

От скрещивания растений нормальной высоты и с нормальной листовой пластинкой с растением, имеющим скрученные листья и карликовый рост, получили в F1 12 гибридов, а от скрещивания их с линией-анализатором − 800 растений, из которых 36 были карликовыми с нормальными листьями.

1. Сколько растений Fa имели оба признака в доминантном состоянии?
2. Какой процент растений Fa имели оба признака в рецессивном состоянии?
3. Сколько процентов растений Fa были карликовыми с нормальными листьями?
4. Сколько процентов растений Fa были нормальной высоты со скрученными листьями?
5. Определите расстояние между генами cr и d (в процентах кроссинговера)?

**Задание 169.**

У твердой пшеницы гены H (опушенность колоса) и В (черная окраска колоса) являются доминантными по отношению к генам h (неопушенность колоса) и b (белый колос) и наследуются сцепленно. Расстояние между ними в единицах кроссинговера равно 10 %.

Скрещивали гомозиготное растение пшеницы с генотипом ННВВ с линией, имеющей генотип hhbb. В F1 получено 70 растений, а в Fа − 200 потомков.

1. Сколько потомков Fа имели оба признака в доминантном состоянии?
2. Сколько потомков Fа имели оба признака в рецессивном состоянии?
3. Сколько растений Fа имели опушенный белый колос?
4. Какой процент растений Fа имели неопушенный черный колос?
5. Сколько кроссоверных особей было в Fа?

**Задание 170.**

У суданки в IV хромосоме локализованы гены, обусловливающие окраску растений и окраску проростков. Ген А контролирует зеленую окраску растений (доминантный признак), ген а − антоциановую окраску растений (рецессивный признак), ген b − желтую окраску всходов (рецессивный признак), В − зеленую окраску всходов (доминантный признак). Расстояние между генами составляет 10 % кроссинговера.

От скрещивания линии с антоциановой окраской растений и желтыми всходами с гомозиготным растением, имеющим зеленую окраску растений и зеленые всходы, было получено 36 растений F1, от скрещивания которых с линией-анализатором было получено 400 растений.

1. Сколько разных генотипов будет получено во втором скрещивании Fа?
2. Сколько растений Fа будет иметь зеленую окраску растений и зеленые всходы?
3. Сколько в Fа будет растений-рекомбинантов?
4. Сколько растений Fа будет иметь антоциановую окраску растений и желтые всходы?
5. Сколько растений Fа будет иметь зеленую окраску растений и зеленые всходы (%)?

**Задание 171.**

У кукурузы во II хромосоме локализованы гены лигульности и характера поверхности листьев. Доминантный ген Lg1 обусловливает развитие лигулы, рецессивный ген lg1 – безлигульность, доминантный ген Lg2 – матовую поверхность листьев, lg2 – глянцевые листья.

От скрещивания гомозиготного безлигульного растения, имеющего матовые листья, с гомозиготным лигульным растением, имеющим глянцевые листья, получили 120 растений F1. От скрещивания растений F1 с линией-анализатором получили 799 гибридов, из которых  
64 лигульных с матовыми листьями.

1. Сколько растений Fa были некроссоверными?
2. Сколько растений Fa имели лигулу и глянцевые листья (%)?
3. Сколько растений Fa не имели лигулы, но были с матовыми листьями (%)?
4. Сколько растений Fa имели лигулу и матовые листья (%)?
5. Определите расстояние между этими генами (в процентах кроссинговера)?

**Задание 172.**

У ржи гены А (лигульность) и В (фиолетовая окраска семян) наследуются сцепленно.

Особь, гомозиготная по генам А и В, была скрещена с гомозиготной рецессивной особью, не имеющей лигул и зелеными семенами. Получено 30 растений F1. В Fа было получено следующее количество потомков: 1003 растения с лигулами и фиолетовыми семенами, 128 растений с лигулами и зелеными семенами, 996 безлигульных растений с зелеными семенами, 102 безлигульных растения с фиолетовыми семенами.

1. Какой процент растений Fа имеет оба признака в доминантном состоянии?
2. Какой процент некроссоверных особей будет в Fа?
3. Какой процент кроссоверных особей будет с генотипом Аabb?
4. Какой процент кроссоверных особей будет с генотипом aаВb?
5. Определите расстояние между генами а и b (в процентах кроссинговера)?

**Задание 173.**

У кукурузы гены А и В наследуются сцепленно. Ген А обусловливает развитие красной окраски зерновки, а ген а − белой. Ген В обусловливает гладкую поверхность зерновки, b − морщинистую.

От скрещивания линии, имеющей красную окраску и гладкую поверхность зерновки, с линией, у которой зерновка имеет белую окраску и морщинистую поверхность, было получено 25 растений. От скрещивания растений F1 с линией-анализатором было получено 800 растений, в том числе 20 растений, имевших красную окраску зерновки и морщинистый эндосперм.

1. Какой процент растений Fа имели оба признака в доминантном состоянии?
2. Какой процент растений Fа имели оба признака в рецессивном состоянии?
3. Какой процент растений имели красные зерновки с морщинистой поверхностью?
4. Какой процент растений имели белые зерновки с гладкой поверхностью?
5. Чему равно расстояние между генами А и В (в процентах кроссинговера)?

**Задание 174.**

У дрозофилы гены, определяющие коричневую окраску глаз (а) и уменьшенное число щетинок (В), локализованы в III хромосоме.

От скрещивания гомозиготных мух с доминантными признаками (красная окраска глаз и уменьшенное число щетинок) с гомозиготными мухами, имеющими рецессивные признаки (коричневые глаза и нормальное число щетинок), было получено 24 мухи F1. От скрещивания гибридов F1 с линией-анализатором в Fа было получено 300 мух,  
в том числе 20 мух имели коричневые глаза и уменьшенное число щетинок.

1. Сколько мух F1 имели оба признака в доминантном состоянии?
2. Сколько мух Fа имели оба признака в рецессивном состоянии?
3. Сколько мух Fа имело коричневые глаза и уменьшенное количество щетинок?
4. У какого процента мух Fа были красные глаза и уменьшенное количество щетинок?
5. Определите расстояние между генами а и b (в процентах кроссинговера).

**Задание 175.**

У кукурузы ген br, обусловливающий проявление рецессивного признака укороченные междоузлия, и ген ug, обусловливающий рецессивный признак зачаточная метелка, локализованы в I хромосоме. Расстояние между ними равно 4 % кроссинговера.

При скрещивании линии, имеющей укороченные междоузлия и нормальную метелку, с линией, имеющей нормальные междоузлия и зачаточную метелку, в F1 получили 120 растений. От скрещивания их с линией-анализатором в Fa получили 800 растений.

1. Сколько растений F1 могли иметь оба признака в доминантном состоянии?
2. Сколько растений Fa могли иметь укороченные междоузлия и нормальную метелку?
3. Сколько растений Fa могли быть с нормальными междоузлиями и нормальной метелкой (%)?
4. Сколько растений Fa могут иметь оба признака в доминантном состоянии?
5. Сколько растений Fa могут иметь оба признака в рецессивном состоянии (%)?

**Задание 176.**

У сорго гены а (комовая метелка), b (усилитель окраски зерновки) и с (желто-зеленые проростки) локализованы в одной хромосоме и являются рецессивными по отношению к рыхлой метелке, нормальной окраске зерновки и зеленым проросткам.

Скрещивали гетерозиготную линию, имеющую доминантные признаки, с линией, имеющей все гены в рецессивном состоянии. Было получено 210 растений, в том числе 75 растений имели все признаки в рецессивном состоянии, 87 – в доминантном состоянии, 24 растения имели рыхлую метелку, усиленную окраску зерновки и желто-зеленые проростки и 24 растения − комовую метелку, нормальную окраску зерновки и зеленые проростки.

1. Сколько типов гамет образует гетерозиготное растение?
2. Какой процент растений Fа имели все признаки в доминантном состоянии?
3. Какой процент растений Fа имели комовую метелку, нормальную окраску зерновки и зеленые всходы?
4. Какой процент растений Fа имели комовую метелку, усиленную окраску зерновки и желто-зеленые всходы?
5. Определите расстояние между генами а и b (в процентах кроссинговера)?

**Задание 177.**

У дрозофилы в X хромосоме локализованы гены окраски тела, окраски глаз и наличия щетинок между фасетками глаз. Желтая окраска тела (s), белые глаза (h) и наличие щетинок между фасетками глаз (t) являются рецессивными признаками по отношению к серой окраске тела, красной окраске глаз и отсутствию щетинок между фасетками.

Гетерозиготные самки дрозофилы, имеющие все признаки в доминантном состоянии, были скрещены с самцами, имевшими все признаки в рецессивном состоянии. Было получено 400 мух, среди них  
13 мух имели желтое тело, красные глаза без щетинок, 11 мух имели серое тело, красные глаза и щетинки между фасетками.

1. Сколько разных генотипов было в Fа?
2. Какой процент мух Fа имели серое тело, белые глаза и щетинки между фасетками?
3. Определите расстояние между генами s и h (в процентах кроссинговера).
4. Определите расстояние между генами h и t (в процентах кроссинговера).
5. Определите расстояние между генами s и t (в морганидах).

**Задание 178.**

У сорго в V хромосоме локализованы гены А, В, С. Ген А контролирует антоциановую окраску растений, а − зеленую окраску, В − нормальную зерновку, b − пятнистую зерновку, с − красную окраску рылец, С − белую окраску рылец.

Гомозиготную линию сорго, имеющую все вышеперечисленные признаки в доминантном состоянии, скрестили с линией, имеющей рецессивные признаки. Растения F1 были скрещены с линией-анализатором, и было получено 1080 растений Fа, среди них 5 растений было с антоциановой окраской, пятнистой зерновкой и антоциановой окраской рылец, 45 растений имели антоциановую окраску, нормальную зерновку и красную окраску рылец.

1. Какой процент растений Fа имели зеленую окраску, пятнистую зерновку и нормальную окраску рылец?
2. Какой процент растений Fа имели все признаки в доминантном состоянии?
3. Определите расстояние между генами а и b (в процентах кроссинговера).
4. Определите расстояние между генами b и с (в процентах кроссинговера).
5. Определите расстояние между генами а и с (в процентах кроссинговера).

Задание 179.

У сорго в IX хромосоме локализованы гены А, В, С. Ген А обусловливает золотистые полосы, а − отсутствие золотистых полос на листьях, b − наличие тонких полос на листьях, В − отсутствие тонких полос на листьях, с − желтые проростки, С − зеленые проростки.

Скрещивали гомозиготную линию с доминантными признаками с линией, имеющей все признаки в рецессивном состоянии. Растения F1 скрещивали с линией-анализатором. В Fа было получено 158 растений, среди них 10 растений имели золотистые полосы, тонкие полосы на листьях и желтые проростки, 20 растений имели золотистые полосы, отсутствовали тонкие полосы на листьях и желтые проростки.

Составьте генетическую кару хромосомы, в которой лежат эти гены.

1. Какой процент растений Fа имели все вышеперечисленные признаки в доминантном состоянии?
2. Какой процент растений Fа не имели золотистых полос, тонких полос на листьях и имели проростки зеленой окраски?
3. Определите расстояние между генами а и b (в процентах кроссинговера).
4. Определите расстояние между генами b и с (в процентах кроссинговера).
5. Определите расстояние между генами а и с (в процентах кроссинговера).

**Задание 180.**

У китайской примулы короткие пестики доминируют над длинными, маджентовая окраска цветков − над красной, а зеленое рыльце − над белым.

Гомозиготное растение с коротким пестиком, маджентовыми розетками и зеленым рыльцем скрещено с гомозиготным растением, имеющим длинные пестики, красную окраску цветков и белое рыльце. От скрещивания полученных гибридов F1 с линией-анализатором получено следующее потомство: 1063 растения с короткими пестиками, маджентовой окраской цветков и зеленой окраской рылец; 1038 – с длинными пестиками, красной окраской цветков и белой окраской рылец; 634 – с короткими пестиками, маджентовой окраской цветков и белой окраской рылец; 526 – с длинными пестиками, красной окраской цветков и зеленой окраской рылец; 156 – с короткими пестиками, красной окраской цветков и белой окраской рылец; 180 – с длинными пестиками, маджентовой окраской цветков и зеленой окраской рылец; 39 – с короткими пестиками, красной окраской цветков и зеленой окраской рылец; 54 – с длинными пестиками, маджентовой окраской цветков и белой окраской рылец.

Составьте генетическую кару хромосомы, в которой лежат эти гены.

1. Какой процент растений Fа имели короткие пестики, красную окраску цветков и белую окраску релец ?
2. Какой процент растений Fа имели все признаки в доминантном состоянии?
3. Определите расстояние между генами p и c (в процентах кроссинговера).
4. Определите расстояние между генами c и r (в процентах кроссинговера).
5. Определите расстояние между генами p и r с учетом двойного кроссинговера (в процентах кроссинговера).

**5. Молекулярные основы наследственности**

Установление молекулярной структуры нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), изучение их роли в передаче наследственных свойств, установление принципиальной схемы биосинтеза белка и его регуляции позволяет анализировать наследственность на молекулярном уровне.

***Хромосома*** представляет собой нуклеопротеидную структуру – дезоксинуклеопротеид (ДНП), в состав которой входит дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК), основные белки-гистоны, негистоновые белки и небольшое количество рибонуклеиновой кислоты (РНК).

Наследственность всех организмов обусловливается функциями нуклеиновых кислот.

***Нуклеиновые кислоты*** − сложные нерегулярные биополимеры, состоящие из более простых соединений − ***нуклеотидов***. Каждый нуклеотид, в свою очередь, состоит из трех компонентов:

* пятиатомного сахара дезоксирибозы у молекулы ДНК и рибозы у молекулы РНК;
* остатка фосфорной кислоты;
* азотистого основания.

В молекуле ДНК содержится четыре типа азотистых оснований: аденин, гуанин, цитозин и тимин, а в молекуле РНК − аденин, гуанин, цитозин и урацил. Поскольку специфичность каждого нуклеотида определяется азотистым основанием, то нуклеотиды принято называть начальными буквами, входящими в состав оснований, – А, Г, Ц, Т, У.

Молекулярная масса одного нуклеотида в среднем равна 330, одной полинуклеотидной цепочки ДНК − 100 млн. углеродных единиц. Отсюда легко установить количество нуклеотидов в молекуле ДНК.

Характерной особенностью нуклеиновых кислот, обеспечивающих реакции матричного синтеза, является *принцип комплементарности* при построении двойной спирали молекулы ДНК в процессах репликации, синтеза и-РНК, построения полипептидной цепочки на основании взаимодействия кодонов и антикодонов.

По принципу комплементарности аденин с тимином соединяется двойной водородной связью (А=Т), гуанин с цитозином − тройной (Г≡Ц). Этот принцип базируется на физико-химических ограничениях: пуриновые основания (аденин и гуанин) имеют длину углеродного кольца 12 Ả, пиримидиновые (тимин и цитозин) – 8 Ả. Таким образом, принцип комплементарности обеспечивает постоянный диаметр двойной спирали ДНК (20 Ả) и дает возможность по одной полинуклеотидной цепочке ДНК достраивать другую.

***Видовая специфичность*** ***молекулы ДНК*** обусловливается числом нуклеотидов и порядком их чередования в данной молекуле. Видовую специфичность молекулы ДНК определяют по коэффициенту специфичности, по соотношению оснований:

Кспецифичности = . (5.1)

Пространственную модель молекулы ДНК установили в 1953 г. Дж. Уотсон и Ф. Крик (рис. 5.1).

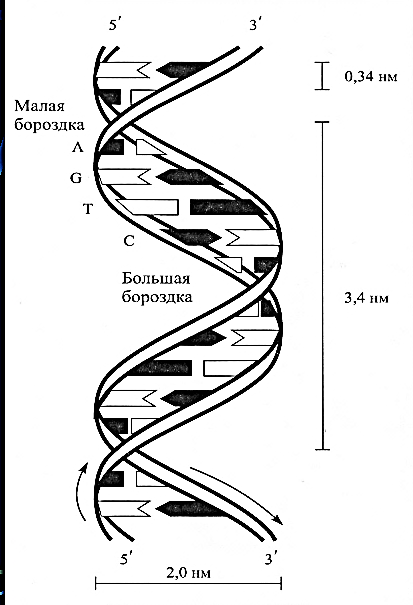


Рис. 5.1. Строение молекулы ДНК

1. Молекула ДНК состоит из двух комплементарных цепочек нуклеотидов.
2. Имеет вид правовинтовой спирали диаметром около 2 нм (20 Ả).
3. Азотистые основания ориентированы к центру спирали.
4. Расстояние между нуклеотидами равно 0,34 нм (3,4 Ả).

Одним из важнейших свойств молекулы ДНК является ее способность к самовоспроизведению (репликации).

***Репликация*** – процесс самоудвоения ДНК, в котором роль матрицы играет сама молекула ДНК.

**5.1. Графическое моделирование матричного синтеза и-РНК  
и биосинтеза белка**

Реализация наследственной информации, закодированной в молекуле ДНК, осуществляется на всех этапах жизнедеятельности клетки в процессе синтеза белка− ***биосинтеза***. Образующиеся при биосинтезе белка полипептидные цепи определяют признаки клетки и организма в целом, формируя белковые структуры или управляя процессами метаболизма в качестве ферментов.

В современном понимании ***единица наследственности*** – генфункциональная единица ДНК, содержащая информацию для синтеза полипептида или р-РНК, или т-РНК. Средняя длина гена составляет около 1000 пар нуклеотидов, последовательность которых в каждом гене уникальна.

Процесс реализации наследственной информации в биосинтезе белка осуществляется с участием трех видов РНК:

* информационной (и-РНК);
* транспортной (т-РНК);
* рибосомальной (р-РНК).

Процесс биосинтеза белка очень сложный и состоит из нескольких этапов.

Первый этап – транскрипция.

***Транскрипция*** – перенос (переписывание) информации о нуклеотидном строении с молекулы ДНК на и-РНК.

Второй этап осуществляется в цитоплазме при участии т-РНК.

Третий этап – трансляция (перенесение, передача).

***Трансляция*** – синтез полипептидной цепи на рибосоме.

Следовательно, ДНК, входя в состав ядра клетки и благодаря свойству самоудвоения молекул, сохраняет свое количественное постоянство при делении клеток, определяет структуру и регулирует синтез образующихся в клетке белков. Но молекулы ДНК не являются непосредственно матрицами в самом процессе синтеза белка. Сначала происходит перенос генетической информации о нуклеотидном строении ДНК на РНК. Затем последняя сама становится матрицей и в соответствии с информацией, полученной от ДНК, определяет последовательность соединения аминокислот в белковой молекуле (рис. 5.2).

Молекула и-РНК обычно работает сразу на нескольких (5–20) рибосомах, соединенных в полисомы. Последовательность аминокислот в полипептидной цепи определяется последовательностью кодонов в и-РНК.

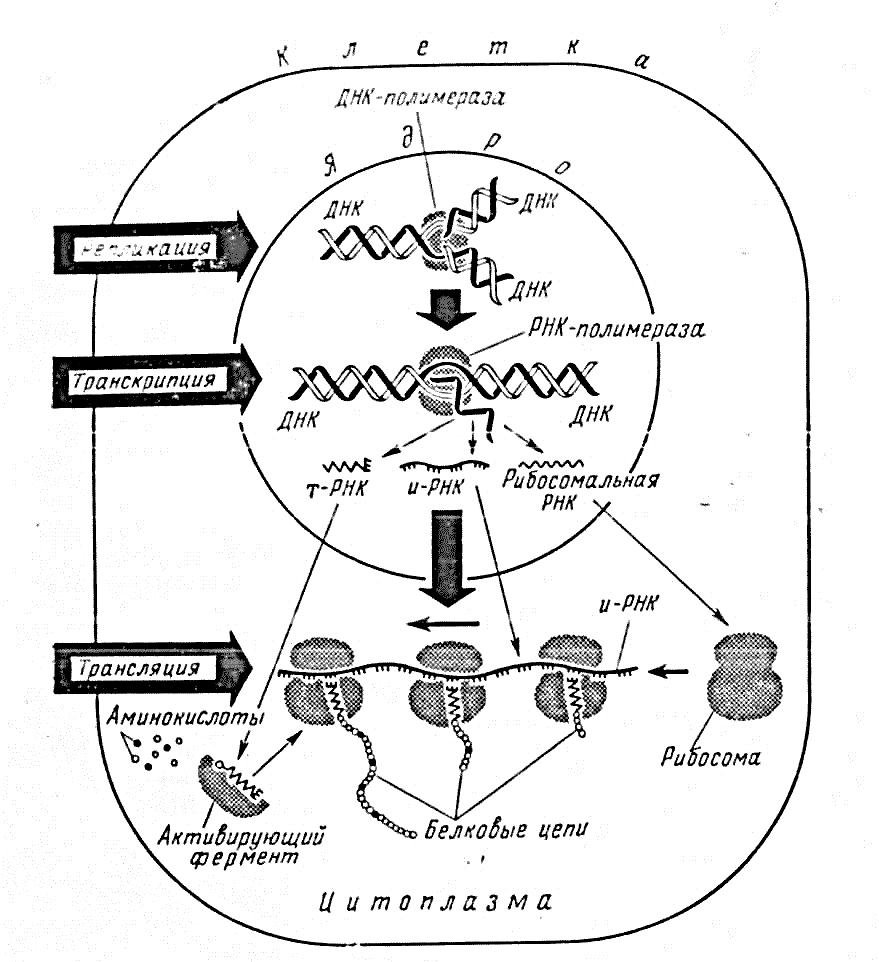


Рис. 5.2. Схема процессов репликации, транскрипции и трансляции в клетке

Молекула и-РНК обычно работает сразу на нескольких (5–20) рибосомах, соединенных в полисомы. Последовательность аминокислот в полипептидной цепи определяется последовательностью кодонов в и-РНК.

Таким образом, первичная структура белковой молекулы – полипептидная цепочка – кодируется ДНК и синтезируется на рибосоме информационной и-РНК.

***Ген*** − это участок большой самовоспроизводящейся молекулы ДНК, контролирующий последовательность аминокислот в одной полипептидной цепи белковой молекулы.

М. Ниренберг, Дж. Маттеи, а затем С. Очоа и другие ученые к 1962 г. полностью расшифровали ***генетический код***, установив для всех 20 аминокислот, входящих в белковые молекулы, состав нуклеиновых триплетов − кодонов, определяющих в процессе трансляции последовательность аминокислот в полипептидной цепи (табл. 5.1).

Таблица 5.1. **Последовательность нуклеотидов в кодонах и-РНК для разных аминокислот**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Первое положение нуклеотида | Второе положение нуклеотида | | | | | | Третье положение нуклеотида |
| ***У*** | | ***Ц*** | ***А*** | ***Г*** | |
| ***У*** | УУУ – Фенилаланин (фен)  УУЦ – Фенилаланин (фен)  УУА – Лейцин (лей)  УУГ – Лейцин (лей) | УЦУ – Серин (сер)  УЦЦ – Серин (сер)  УЦА – Серин (сер)  УЦГ – Серин (сер) | УАУ – Тирозин (тир)  УАЦ – Тирозин (тир)  УАА − Охра  УАГ − Амбер | УГУ – Цистеин (цис)  УГЦ – Цистеин (цис)  УГА − Опал  УГГ – Триптофан (три) | ***У*** |
| ***Ц*** |
| ***А*** |
| ***Г*** |
| ***Ц*** | ЦУУ – Лейцин (лей)  ЦУЦ – Лейцин (лей)  ЦУА – Лейцин (лей)  ЦУГ – Лейцин (лей) | ЦЦУ – Пролин (про)  ЦЦЦ – Пролин (про)  ЦЦА – Пролин (про)  ЦЦГ – Пролин (про) | ЦАУ − Гистидин (гис)  ЦАЦ – Гистидин (гис)  ЦАА – Глутамин (глун)  ЦАГ – Глутамин (глун) | ЦГУ – Аргинин (арг)  ЦГЦ – Аргинин (арг)  ЦГА – Аргинин (арг)  ЦГГ – Аргинин (арг) | ***У*** |
| ***Ц*** |
| ***А*** |
| ***Г*** |
| ***А*** | АУУ – Изолейцин (илей)  АУЦ – Изолейцин (илей)  АУА – Метионин (мет)  АУГ − Метионин (мет) | АЦУ – Треонин (тре)  АЦЦ – Треонин (тре)  АЦА – Треонин (тре)  АЦГ – Треонин (тре) | ААУ – Аспарагин (аспн)  ААЦ – Аспарагин (аспн)  ААА – Лизин (лиз)  ААГ – Лизин (лиз) | АГУ – Серин (сер)  АГЦ – Серин (сер)  АГА – Аргинин (арг)  АГГ – Аргинин (арг) | ***У*** |
| ***Ц*** |
| ***А*** |
| ***Г*** |
| ***Г*** | ГУУ – Валин (вал)  ГУЦ – Валин (вал)  ГУА – Валин (вал)  ГУГ – Валин (вал) | ГЦУ – Аланин (ала)  ГЦЦ – Аланин (ала)  ГЦА – Аланин (ала)  ГЦГ – Аланин (ала) | ГАУ – Аспарагиновая кислота (асп)  ГАЦ – Аспарагиновая кислота (асп)  ГАА – Глутаминовая кислота (глу)  ГАГ – Глутаминовая кислота (глу) | ГГУ – Глицин (гли)  ГГЦ – Глицин (гли)  ГГА – Глицин (гли)  ГГГ – Глицин (гли) | ***У*** |
| ***Ц*** |
| ***А*** |
| ***Г*** |

В процессе изучения биосинтеза были установлены *основные свойства генетического кода*.

1. Код универсален для всех живых организмов.
2. Код триплетен.
3. Код вырожденный.
4. Код непрерывающийся.
5. Кодон АУГ, находящийся на конце 5' молекулы и-РНК, является инициатором синтеза полипептидной цепочки.
6. Кодоны УАГ (амбер), УАА (охра) и УГА (опал) являются терминаторами синтеза.

Таким образом, в каждой клетке в молекулах ДНК закодирована вся генетическая информация, которая может быть реализована в онтогенезе через синтез белка в виде морфологических признаков, физиологических и биохимических процессов. Зная структуру белка, можно расшифровать строение молекулы ДНК и, наоборот, зная изменения в молекуле ДНК, можно предусмотреть соответствующие изменения в структуре белка.

Пример. Одна из цепочек молекулы ДНК имеет следующее чередование нуклеотидов:

5' Т-А-Ц-Ц-Т-А-А-А-А-Г-Ц-А-Ц-Т-Т-А-Ц-А-Ц-Т-Т-Т-Т-Т-Т-А-А- … 3'.

1. Постройте комплементарную цепочку молекулы ДНК. Сколько нуклеотидов, содержащих аденин, в ней будет?
2. Постройте на данной цепочке ДНК информационную (матричную) РНК. Сколько нуклеотидов, содержащих цитозин, в ней будет?
3. Постройте участок полипептидной цепи, кодируемый данной ДНК. Сколько разных аминокислот он будет содержать?
4. Выпишите все т-РНК, участвующие в синтезе данной цепи полипептида. Сколько разных типов т-РНК будет участвовать в этом процессе?
5. Определите количественные параметры молекулы ДНК (длину структурного гена и коэффициент специфичности).

*Решение и ответы.*

*1. Молекула ДНК состоит из двух полинуклеотидных цепочек – главной и комплементарной. Зная последовательность нуклеотидов в одной из них, по принципу комплементарности достраиваем вторую.*

Участок двойной спирали молекулы ДНК, кодирующий данный полипептид, имеет следующее строение и содержит в комплементарной цепочке 10 нуклеотидов аденина.

ДНК: 5' Т-А-Ц-Ц-Т-А-А-А-А-Г-Ц-А-Ц-Т-Т-А-Ц-А-Ц-Т-Т-Т-Т-Т-Т-А-А 3'

│ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │

3' А-Т-Г-Г-А-Т- Т-Т-Т- Ц-Г-Т-Г-А-А-Т-Г-Т-Г-А-А-А-А-А-А-Т-Т 5'

*2. Пользуясь принципом комплементарности, устанавливаем по данной цепочке молекулы ДНК последовательность нуклеотидов в молекуле и-РНК.*

и-РНК: А-У-Г-Г-А-У-У-У-У-Ц-Г-У-Г-А-А-У-Г-У-Г-А-А-А-А-А-А-У-У

кодоны

Участок молекулы и-РНК, кодирующий данный ген, имеет вышеприведенное строение и содержит 1 нуклеотид цитозина.

*3. Пользуясь табл. 5.1 генетического кода, находим соответствующие кодонам (триплетам) аминокислоты. Процесс трансляции происходит на рибосоме с участием молекул т-РНК и р-РНК. Строим полипептидную цепочку, кодируемую данной ДНК, и подсчитываем в ней количество аминокислот.*

Аминокислоты: мет – асп – фен – арг – глу – цис – глу – лиз – илей.

Следовательно, построенная белковая молекула содержит 9 аминокислот.

*4. Пользуясь принципом комплементарности, по кодонам молекулы и-РНК выписываем антикодоны всех транспортных молекул РНК, принимавших участие в синтезе данного полипептида:*

т-РНК: УАЦ, ЦУА, ААА, ГЦА, ЦУУ, АЦА, ЦУУ, УУУ, УАА.

Девять разных типов т-РНК будет участвовать в процессе синтеза полипептидной цепи.

*5. К количественным параметрам молекулы ДНК относят ее длину и коэффициент специфичности.*

Длина фрагмента молекулы ДНК составляет 91,8 Ả (27 нуклеотидов ∙ расстояние между двумя нуклеотидами 3,4 Ả).

Коэффициент специфичности для данной молекулы составит 2,9.

К специфичности = = = 2,9.

**Пример.** Одна из цепей рибонуклеазы поджелудочной железы состоит из следующих аминокислот: глутамин – глицин − аспарагиновая кислота – валин – тирозин – валин – пролин – валин – гистидин − фенилаланин.

1. Постройте и-РНК,детерминирующую чередование данных аминокислот. Сколько урациловых нуклеотидов она содержит?
2. Постройте фрагмент молекулы ДНК, кодирующий данную цепочку аминокислот. Сколько цитозиновых нуклеотидов она содержит?
3. Определите длину данного фрагмента ДНК, если расстояние между двумя нуклеотидами равно 0,34 нм.
4. Какие и сколько типов т-РНК принимает участие в синтезе данной цепи?
5. Определите коэффициент специфичности для построенного фрагмента ДНК.

*Решение и ответы.*

*1. Выписываем сокращенное обозначение аминокислот белковой молекулы. Пользуясь табл. 5.2 генетического кода, находим триплеты и-РНК, кодирующие соответствующие аминокислоты. Строим молекулу и-РНК для данного полипептида.*

Белок: глун – гли – асп – вал – тир – вал – про – вал – гис − фен.

и-РНК: ЦАА-ГГУ-ГАУ-ГУУ-УАУ-ГУУ-ЦЦУ-ГУУ-ЦАУ-УУУ.

Построенная молекула и-РНК содержит 15 урациловых нуклеотидов.

*2. Пользуясь принципом комплементарности, устанавливаем по молекуле и-РНК последовательность нуклеотидов в гене, на котором она транскрибировалась.*

ДНК: 5' Г-Т-Т-Ц-Ц-А-Ц-Т-А-Ц-А-А-А-Т-А-Ц-А-А-Г-Г-А-Ц-А-А-Г-Т-А 3'

│ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │ │

3' Ц-А-А-Г-Г-Т-Г-А-Т- Г-Т- Т-Т-А-Т- Г-Т-Т-Ц- Ц-Т-Г-Т-Т-Ц-А-Т5'

Данный ген содержит 10 цитозиновых нуклеотидов.

*3. Определяем длину молекулы ДНК.*

Длина фрагмента молекулы ДНК составляет 9,18 нм (27 нуклеотидов ∙ расстояние между двумя нуклеотидами 0,34 нм).

*4. Пользуясь кодонами и-РНК выписываем антикодоны всех т-РНК, принимавших участие в синтезе:*

т-РНК: ГУУ, ЦЦА, ЦУА, ЦАА, АУА, ЦАА, ГГА, ЦАА, ГУА.

Таблица 5.2. **Последовательность нуклеотидов в кодонах и-РНК  
для разных аминокислот**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Аминокислота | Кодоны | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Фенилаланин (фен) | УУУ | УУЦ |  |  |  |  |
| Лейцин (лей) | УУА | УУГ | ЦУУ | ЦУЦ | ЦУА | ЦУГ |
| Изолейцин (илей) | АУУ | АУЦ |  |  |  |  |
| Метионин (мет) | АУГ | АУА |  |  |  |  |
| Валин (вал) | ГУУ | ГУЦ | ГУА | ГУГ |  |  |
| Серин (сер) | УЦУ | УЦЦ | УЦА | УЦГ | АГУ | АГЦ |
| Пролин (про) | ЦЦУ | ЦЦЦ | ЦЦА | ЦЦГ |  |  |
| Треонин (тре) | АЦУ | АЦЦ | АЦА | АЦГ |  |  |
| Аланин (ала) | ГЦУ | ГЦЦ | ГЦА | ГЦГ |  |  |
| Тирозин (тир) | УАУ | УАЦ |  |  |  |  |
| Гистидин (гис) | ЦАУ | ЦАЦ |  |  |  |  |
| Аспарагиновая кислота (асп) | ГАУ | ГАЦ |  |  |  |  |
| Лизин (лиз) | ААА | ААГ |  |  |  |  |
| Глутамин (глун) | ЦАА | ЦАГ |  |  |  |  |
| Цистеин (цис) | УГУ | УГЦ |  |  |  |  |
| Триптофан (три) | УГГ |  |  |  |  |  |
| Аргинин (арг) | ЦГУ | ЦГЦ | ЦГА | ЦГГ | АГА | АГГ |
| Аспарагин (аспн) | ААУ | ААЦ |  |  |  |  |
| Глутаминовая кислота (глу) | ГАА | ГАГ |  |  |  |  |
| Глицин (гли) | ГГУ | ГГЦ | ГГА | ГГГ |  |  |
| Охра | УАА |  |  |  |  |  |
| Амбер | УАГ |  |  |  |  |  |
| Опал | УГА |  |  |  |  |  |

*5. Определяем коэффициент специфичности для данного фрагмента ДНК.*

Коэффициент специфичности для данной молекулы ДНК составляет 1,7.

К специфичности = = = 1,7.

Задания

**Задание 181.**

Одна из цепочек молекулы ДНК имеет следующее чередование нуклеотидов: 5, Ц-А-Ц-Г-Т-Ц-Ц-Т-А-А-Ц-Ц-Т-Т-Т-Т-Г-А-Ц-Г-А-А-Ц-А-Ц-Г-А-Т-Г-А-Т-Г-А-А-Ц-Т- … 3,.

1. Постройте комплементарную цепочку данной молекулы ДНК. Сколько нуклеотидов, содержащих аденин, в ней будет?
2. Постройте и-РНК по данной цепочке ДНК. Сколько нуклеотидов, содержащих урацил, в ней будет?
3. Постройте полипептидную цепь. Сколько молекул триптофана в ней может содержаться?
4. Выпишите все т-РНК, участвующие в данном биосинтезе. Сколько разных типов т-РНК принимает в нем участие?
5. Сколько всего аминокислот в данном белке?

**Задание 182.**

Одна из цепочек молекулы ДНК имеет следующее чередование нуклеотидов: 5, Т-А-Ц-Ц-Т-А-А-А-А-Г-Ц-А-Ц-Т-Т-А-Ц-А-Ц-Т-Т-Т-Т-Т-Т-А-А-А-Ц-А-Т-А-Г-А-Ц-А-А-Т-Т- … 3,.

1. Постройте комплементарную цепочку молекулы ДНК. Сколько нуклеотидов, содержащих аденин, в ней будет?
2. Постройте по данной цепочке ДНК молекулу и-РНК. Сколько нуклеотидов, содержащих цитозин, в ней будет?
3. Постройте участок полипептидной цепи, кодируемый данной ДНК. Сколько молекул аминокислоты цистеина он будет содержать?
4. Какие и сколько разных типов т-РНК будет участвовать в синтезе данной цепи полипептида?
5. Сколько всего аминокислот в данном белке?

**Задание 183.**

Одна из цепочек молекулы ДНК имеет следующее чередование нуклеотидов: 5, Ц-А-Ц-Ц-Г-А-Ц-Ц-А-Ц-Т-Т-Г-Т-А-Ц-Т-А-Т-Т-Т-Г-Г-А-А-Г-А-Т-Т-Т-А-А-А-А-Т-Т- … 3,.

1. Постройте комплементарную цепочку данной молекулы ДНК. Сколько нуклеотидов тимина она будет содержать?
2. Постройте по данной цепочке ДНК молекулу и-РНК. Сколько нуклеотидов аденина она будет содержать?
3. Постройте полипептидную цепь, которая может транслироваться на полученной и-РНК. Сколько молекул аминокислоты лизина она будет содержать?
4. Выпишите т-РНК, участвующие в трансляции. Сколько разных типов т-РНК участвуют в этом процессе?
5. Сколько всего аминокислот в данном белке?

**Задание 184.**

Одна из цепочек молекулы ДНК имеет следующую последовательность нуклеотидов: 5, Т-А-Ц-А-Т-А-А-Ц-Ц-А-Ц-А-Ц-Т-А-Т-Т-Т-Ц-Т-Т-Г-Т-Т-Ц-Т-Т-А-А-А-Г-Г-А-Ц-Т-Т-А-Т-Ц- … 3,.

1. Постройте комплементарную цепочку молекулы ДНК. Сколько нуклеотидов гуанина она будет содержать?
2. Сколько нуклеотидов урацила будет содержать и-РНК, полученная на данном участке ДНК в процессе транскрипции?
3. Постройте полипептидную цепь, кодируемую данной цепочкой ДНК. Сколько нуклеотидов глутамина она будет содержать?
4. Сколько разных аминокислот содержит белковая молекула?
5. Сколько разных типов и-РНК должны участвовать в процессе трансляции?

**Задание 185.**

Одна из цепочек молекулы ДНК имеет следующее чередование нуклеотидов: 5, Ц-А-Ц-Г-Г-А-А-Ц-Ц-Ц-Т-Т-Т-Т-Т-Ц-Т-А-Ц-Г-А-Ц-Т-А-А-Т-А-А-Ц-А-А-Т-А-А-Т-Ц- … 3,.

1. Постройте комплементарную цепочку данной молекулы ДНК. Сколько нуклеотидов гуанина она будет содержать?
2. Сколько нуклеотидов аденина будет содержать и-РНК, образующаяся в результате транскрипции на данной цепочке ДНК?
3. Постройте полипептидную цепь, кодируемую данным участком ДНК. Сколько нуклеотидов глутамина она содержит?
4. Выпишите все типы т-РНК, участвующие в процессе трансляции. Сколько разных антикодонов они содержат?
5. Сколько аминокислот будет участвовать в синтезе белка?

**Задание 186.**

Одна из цепочек молекулы ДНК имеет следующее чередование нуклеотидов: 5, Ц-Ц-Ц-Т-Г-А-Т-Т-Т-А-Т-А-Т-А-Ц-Ц-А-А-Т-А-А-Ц-Т-А-Г-Г-А-Ц-Т-А-Ц-А-А-А-Т-Т- … 3,.

1. Постройте и-РНК на данной цепочке ДНК. Сколько нуклеотидов, содержащих цитозин, в ней будет?
2. Сколько нуклеотидов аденина будет содержать и-РНК, образующаяся в результате транскрипции на данной цепочке ДНК?
3. Постройте участок полипептидной цепи, кодируемый данной ДНК. Сколько молекул аминокислоты аспарагина она будет содержать?
4. Сколько аминокислот будет участвовать в синтезе белка?
5. Сколько разных типов т-РНК будут участвовать в процессе трансляции?

**Задание 187.**

Одна из цепочек молекулы ДНК имеет следующее чередование нуклеотидов: 5, А-А-Ц-Ц-А-А-Г-Т-А-Г-Г-А-А-Т-А-Г-Г-А-Ц-Т-Т-Г-Г-А-Ц-А-А-А-Т-А-Г-Т-А-Т-Т-Т-А-Т-Ц- … 3,.

1. Постройте комплементарную цепочку данной молекулы ДНК. Сколько нуклеотидов тимина она будет содержать?
2. Сколько нуклеотидов аденина будет содержать и-РНК, синтезированная на данной ДНК?
3. Постройте полипептидную цепь по и-РНК. Сколько молекул аминокислоты пролина она содержит?
4. Выпишите все т-РНК, участвующие в процессе трансляции. Сколько разных типов т-РНК участвует в данном процессе?
5. Сколько аминокислот будет участвовать в синтезе белка?

**Задание 188.**

Одна из цепочек молекулы ДНК имеет следующее чередование нуклеотидов: 5,  Ц-А-Ц-А-Г-А-А-Ц-Ц-Ц-Т-Т-Т-Т-Т-Ц-Т-А-Ц-Г-А-Ц-Т-А-А-Т-А-А-Ц-А-А-Т-А-А-Т-Т- … 3,.

1. Постройте комплементарную цепочку молекулы ДНК. Сколько нуклеотидов цитозина она содержит?
2. Постройте и-РНК на данной цепочке ДНК. Сколько нуклеотидов аденина она содержит?
3. Сколько аминокислот будет участвовать в синтезе белка?
4. Сколько разных типов т-РНК будет участвовать в трансляции?
5. Сколько молекул серина содержит данная полипептидная цепь?

**Задание 189.**

Фрагмент молекулы и-РНК содержит следующую последовательность нуклеотидов: ААА-ЦАУ-УАА-УГГ-ГАА-ГЦУ-АУГ-АУУ-УАУ.

1. Смоделируйте трансляцию.
2. Определите, сколько и какие аминокислоты участвуют в синтезе белка.
3. Выпишите все т-РНК, участвующие в синтезе белка.
4. Постройте молекулу ДНК.
5. Определите количественные параметры ДНК (длину структурного гена и коэффициент специфичности).

**Задание 190.**

Анализируемый участок белка включает следующие аминокислоты: валин – треонин – гистидин – цистеин – аспарагин – глицин – аланин − тирозин.

1. Постройте и-РНК по данному участку белка. Сколько нуклеотидов, содержащих урацил, в ней будет?
2. Постройте молекулу ДНК.
3. Сколько нуклеотидов аденина в ней может содержаться?
4. Определите количественные параметры молекулы ДНК (длину структурного гена и коэффициент специфичности).
5. Выпишите все т-РНК, участвующие в данном биосинтезе. Сколько разных типов т-РНК принимает в нем участие?

**Задание 191.**

Фрагмент цепи ДНК включает следующую последовательность нуклеотидов: 5, А-Т-Г-Г-Т-Т-А-Ц-Т-Т-А-Т-А-А-А-Ц-Г-Ц-А-А-Т-А-Т-Г-Т-Г-Г-А-А-Г-Т-А-А- … 3,.

1. Постройте комплементарную цепочку молекулы ДНК. Сколько нуклеотидов цитозина она будет содержать?
2. Определите длину структурного гена.
3. На основе данной цепочки ДНК покажите синтез и-РНК. Сколько нуклеотидов аденина она будет содержать?
4. Сколько кодонов участвует в синтезе белка?
5. Осуществите трансляцию.

**Задание 192.**

Дана следующая последовательность антикодонов: АЦЦ, УУУ, АУА, ГГА, УАЦ, ГУА, ЦАА, ААУ.

1. На основании их определите кодоны и-РНК.
2. Сколько урациловых нуклеотидов в ней содержится?
3. Постройте фрагмент полипептидной цепи и определите, сколько аминокислот входит в его состав.
4. Постройте структурный ген и определите его количественные параметры (длину структурного гена и коэффициент специфичности).
5. Сколько нуклеотидов аденина он включает?

**Задание 193.**

В цепи А инсулина в начале полипептидной цепочки имеется такое чередование аминокислот: глицин – изолейцин – валин − глутамин – глутамин – цистеин – цистеин – треонин – глицин – изолейцин – цистеин.

1. Выпишите все кодоны и-РНК, детерминирующие данный порядок полипептидной цепи. Сколько цитозиновых нуклеотидов входит в ее состав?
2. Выпишите все т-РНК, участвующие в данном синтезе. Сколько разных типов т-РНК принимает участие в данном синтезе?
3. Постройте фрагмент ДНК, кодирующий данный участок белковой молекулы. Расстояние между двумя нуклеотидами ДНК равно 0,34 нм. Какова длина фрагмента, кодирующего данный участок инсулина?
4. Выпишите фрагмент и-РНК, кодирующий цепочку аминокислот, при замене 8-й аминокислоты аланином, 9-й – серином и 10-й – валином. Сколько цитозиновых нуклеотидов она содержит?
5. Постройте фрагмент основной цепи ДНК, кодирующий измененный участок инсулина. Сколько тиминовых нуклеотидов он содержит?

**Задание 194.**

В цепи В инсулина первые 10 аминокислот располагаются следующим образом: фенилаланин – валин – аспарагиновая кислота – глутамин – гистидин – лейцин – цистеин – глицин – серин – гистидин.

1. Постройте участок и-РНК, кодирующий данную цепь инсулина. Сколько нуклеотидов и-РНК она содержит?
2. Сколько урациловых нуклеотидов входит в состав данного участка и-РНК?
3. Выпишите т-РНК, участвующие в данном синтезе. Сколько разных типов т-РНК принимает участие в данном синтезе?
4. Выпишите основную цепочку нуклеотидов ДНК, кодирующих данный участок инсулина. Сколько тиминовых нуклеотидов она содержит?
5. Расстояние между двумя нуклеотидами составляет 0,34 нм. Какова длина фрагмента ДНК, кодирующего данный участок полипептидной цепочки?

**Задание 195.**

Цепочка полипептида в нормальном гемоглобине А состоит из следующих аминокислот: валин – гистидин – лейцин – треонин – пролин – глутаминовая кислота – глутаминовая кислота – лизин.

1. Постройте участок и-РНК, кодирующий данную цепь гемоглобина А. Сколько цитозиновых нуклеотидов она содержит?
2. Сколько урациловых нуклеотидов входит в состав данного участка и-РНК?
3. Выпишите т-РНК, участвующие в данном синтезе. Сколько разных типов т-РНК принимает участие в данном синтезе?
4. Выпишите основную цепочку нуклеотидов ДНК, кодирующих данный участок гемоглобина А. Сколько тиминовых нуклеотидов она содержит?
5. Определите длину данного фрагмента ДНК, если расстояние между двумя нуклеотидами равняется 0,34 нм.

**Задание 196.**

Белковая цепочка состоит из следующих аминокислот: серин – валин – лейцин – гистидин – изолейцин – валин.

Какова последовательность нуклеотидов в составе гена, кодирующего данный белок? Какой станет последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК, если валин заменить аланином?

**Задание 197.**

Участок гена имел следующий состав нуклеотидов: 5,Т-Г-Г-Т-Ц-Г-Ц-А-Т-Г-А-Г-Г-Г-Г-Т-Т-Т- … 3,.

Определите, как изменится состав кодируемых им аминокислот, если под влиянием ионизирующей радиации: а) выбит 5-й слева нуклеотид; б) выбит 8-й слева нуклеотид; в) выбит 15-й слева нуклеотид; г) выбиты 10, 11 и 12-й нуклеотиды; д) выбиты 10, 16 и 17-й нуклеотиды.

**Задание 198.**

Определите порядок чередования аминокислот в молекуле белка, если известно, что он кодируется такой последовательностью нуклеотидов ДНК: 5,Ц-Т-Ц-А-А-Г-Г-А-Г-Г-А-Т-Т-А-Г- … 3,.

Какой станет последовательность аминокислот, если между 6-м и 7-м нуклеотидами вставить гуанин? Какой станет последовательность аминокислот, если между 8-м и 9-м нуклеотидами вставить еще 2 нуклеотида аденина?

**Задание 199.**

Участок цепи ДНК, кодирующий первичную структуру полипептида, состоит из 56 нуклеотидов.

1. Определите число нуклеотидов в молекуле и-РНК, кодирующих аминокислоты.
2. Определите число аминокислот в полипептидной молекуле.
3. Определите количество т-РНК, необходимых для переноса этих аминокислот к месту синтеза белка.
4. Сколько нуклеотидов аденина будет в комплементарной цепочке ДНК, если основная цепочка содержит 5 нуклеотидов гуанина, 6 − цитозина и 13 тимина?
5. В молекуле и-РНК содержится 100 нуклеотидов. Сколько аминокислот будет содержать белок, синтезированный на данной и-РНК?

**Задание 200.**

Фрагмент цепи ДНК имеет последовательность нуклеотидов: 5,Г-Т-Г-Т-А-Т-Г-Г-А-А-Г-Т- … 3,.

1. Определите последовательность нуклеотидов в молекуле и-РНК.
2. Определите антикодоны соответствующих т-РНК.
3. Определите последовательность аминокислот во фрагменте белковой молекулы.
4. Сколько молекул дезоксирибозы содержится в молекуле ДНК, если тиминовых нуклеотидов в ней 50, а цитозиновых нуклеотидов 75?
5. В молекуле и-РНК содержится 350 нуклеотидов. Сколько аминокислот будет содержать белок, синтезированный на данной и-РНК?

6. Изменчивость организмов

***Изменчивость*** – это различия между особями одного вида, между родителями и потомками. Эти различия могут быть обусловлены изменением наследственного материала – генов или внешними условиями, в которых происходит развитие организма.

Различают ненаследственную (фенотипическую) изменчивость и наследственную (генотипическую).

***Ненаследственная изменчивость (модификационная изменчивость)*** – это способность организма изменяться под воздействием внешних условий в пределах нормы реакции, заданной генотипом. Она выражается в форме модификационной изменчивости, т. е. изменчивости, не вызывающей изменений генотипа.

***Наследственная изменчивость*** обусловлена изменением наследственного материала − генов. Она подразделяется на комбинативную и мутационную.

*Комбинативная изменчивость* – это гибридная изменчивость, которая обусловлена перекомбинацией генетического материала родительских форм.

*Мутационная изменчивость* обусловлена изменением генов, хромосом, генотипов и сохраняется в последующих поколениях.

Мутации могут возникать у любых организмов и на различных этапах онтогенеза. Они возникают как в соматических, так и в половых клетках.

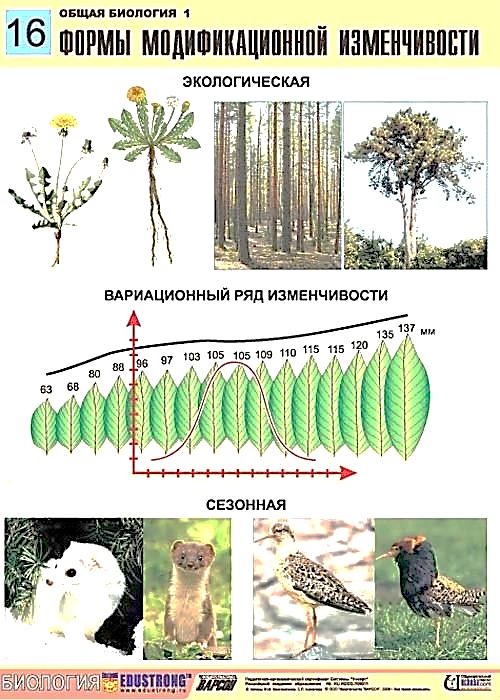
**6.1. Модификационная изменчивость.  
Статистический метод изучения изменчивости**

Модификациями называются фенотипические различия в признаках и свойствах у одинаковых в наследственном отношении организмов, вызываемых условиями внешней среды.

Формирование каждого фенотипа, т. е. каждого конкретного растения, всех его признаков и свойств, обусловлено, с одной стороны, генотипом особи, а с другой – условиями среды, в которых протекало ее развитие (рис. 6.1).

Размах модификационной изменчивости определяется нормой реакции данного генотипа на условия внешней среды.

***Норма реакции*** – совокупность всех возможных фенотипов, которые может образовать данный генотип в изменяющихся условиях внешней среды.



*2*

*1*

норма реакции

минимальное максимальное

развитие признака

Рис. 6.1. Графическое отображение модификационной изменчивости:

*1* – вариационная кривая, показывающая, что большая часть растений имеет среднее значение признака; *2* – кривая изменчивости длины листа

Для установления характера модификационной изменчивости количественных признаков используют ***биометрию***.

Изменчивость изучают на основании анализа проявления признака у группы особей – растений одного сорта. Вся группа растений, у которых данный признак изучают, называется *генеральной совокупностью*. Обычно изменчивость данного признака изучают не у всех растений генеральной совокупности, а у части их. Эта часть генеральной совокупности называется *выборочной совокупностью (выборкой)*. Число единиц, составляющих выборочную совокупность, называется ее *объемом*.

Между единицами выборки по изучаемому признаку всегда имеются различия. Эти различия называются *вариацией*, а величина изучаемого признака у данной особи – *вариантой*.

Для изучения данного признака у любой выборочной совокупности составляют *вариационный ряд*, в котором особи группируют по классам. Каждый класс соответствует определенным показателям данного признака. Число вариант в каждом классе называется *частотой*. На основании показателей вариационного ряда – значений вариант и их частоты – строят *вариационные кривые*.

Основными показателями вариационного ряда являются *средняя арифметическая*, *дисперсия*, *среднеквадратическое отклонение* и *коэффициент вариации*.

Учитывая, что анализируют не всю генеральную совокупность, а только ее часть, необходимо определить *ошибку средней арифметической*, *ошибку среднего квадратического отклонения* и *ошибку коэффициента вариации*.

Для характеристики степени соответствия отдельного растения средней арифметической служит нормированное отклонение. Оно показывает, является ли данное значение признака достоверным отклонением от среднего арифметического (больше ±3S) или находится в пределах допустимого для данной выборочной совокупности отклонения (меньше ±3S).

В биометрии используют следующие условные обозначения:

N – объем генеральной совокупности;

n – объем выборочной совокупности;

x – числовое значение признака (варианта);

xmin – минимальное значение признака в данной выборке;

xmax – максимальное значение признака в данной выборке;

f – частота (количество особей, имеющих одинаковое значение данного признака);

K – класс (группа особей, имеющих одинаковое числовое значение признака);

i – интервал (величина классового промежутка);

− средняя арифметическая;

S2− дисперсия;

S – среднее квадратическое отклонение;

V – коэффициент вариации;

− ошибка средней арифметической;

t – нормированное отклонение.

При использовании статистического метода необходимо соблюдать следующие условия.

1. Материал должен быть генетически однородным.
2. Растения должны быть выращены в возможно более одинаковых условиях.
3. Измерения и подсчеты должны проводиться с одинаковой точностью.
4. Наблюдения должны быть многократными.

Изучение модификационной изменчивости следует проводить на достаточно большом числе растений (n = 25…100).

Для удобства производимых расчетов строят ***вариационный ряд***. Он представляет собой таблицу, в которой указаны значения варьирующего признака в возрастающем или убывающем порядке и их частоты. Вариационный ряд изображают графически либо в виде гистограммы, либо в виде вариационной кривой.

Средняя арифметическая характеризует среднюю величину признака у всей совокупности изучаемых растений и рассчитывается по следующей формуле:

= . (6.1)

Средняя арифметическая не отражает степень изменчивости признака, так как выборки, характеризующиеся различной степенью изменчивости признака, могут иметь одинаковое значение .

Для характеристики изменчивости используют дисперсию и среднее квадратическое отклонение:

S2 = (6.2)

S = . (6.3)

Согласно математической статистике, случайное распределение не превышает средней арифметической генеральной совокупности более чем на ±3S. Согласно данному правилу, в пределах ±1S находится 68,28 % вариант выборочной совокупности, в пределах ±2S – 95,4 %, а в пределах ± 3S – 99,73 %.

Таким образом, зная значение и S для данного вариационного ряда, можно определить, относится ли данная особь к вариационному ряду.

Для сравнения изменчивости разных признаков у особей одной выборки или изменчивости одного и того же признака у разных сортов, а также чтобы иметь возможность судить о степени выравненности изучаемого материала, вычисляют коэффициент вариации по следующей формуле:

V = ∙ 100. (6.4)

Изменчивость принято считать незначительной, если V < 10 %; средней, если 10 < V < 20 %; значительной, если V > 20 %.

Ошибка средней арифметической показывает теоретические пределы соответствия средней арифметической генеральной совокупности:

= . (6.5)

**Пример.** У озимой пшеницы сорта Капылянка число колосков в главном колосе изменяется в пределах от 14 до 22. Ниже приведен вариационный ряд длины колоса этого сорта при анализе выборки, равной 100 растений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число колосков в главном колосе (х) | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| Число растений (f) | 1 | 4 | 9 | 18 | 28 | 21 | 11 | 5 | 3 |

Вычислите следующие показатели вариационного ряда: 1) ; 2) S; 3) V; 4) ; 5) t для растения, имеющего 22 колоска в колосе.

*Решение.*

*1. Вносим имеющиеся данные в табл. 6.1 и рассчитываем необходимые показатели.*

Таблица 6.1. **Вычисление среднего арифметического значения числа колосков  
в колосе озимой пшеницы сорта Капылянка**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число колосков в колосе (варианты х) | Число колосьев (частота f) | fх | х − | (х − 2 | f(х − 2 |
| 14 | 1 | 14 | −4,2 | 17,64 | 17,64 |
| 15 | 4 | 60 | −3,2 | 10,24 | 40,96 |
| 16 | 9 | 144 | −2,2 | 4,84 | 43,56 |
| 17 | 18 | 306 | −1,2 | 1,44 | 25,92 |
| 18 | 28 | 504 | −0,2 | 0,04 | 1,12 |
| 19 | 21 | 399 | 0,8 | 0,64 | 13,44 |
| 20 | 11 | 220 | 1,8 | 3,24 | 35,64 |
| 21 | 5 | 105 | 2,8 | 7,84 | 39,2 |
| 22 | 3 | 66 | 3,8 | 14,44 | 43,32 |
| Сумма | ∑f = n = 100 | ∑fX = 1818 | − | − | ∑ f(X − 2 = = 260,8 |

*2. Вычисляем среднюю арифметическую вариационного ряда по формуле (6.1).*

= = = 18,2 колоска.

*3. Вычисляем дисперсию и среднее квадратическое отклонение по формулам (6.2) и (6.3).*

S2 = = = = 2,63 колоска2.

S = = = 1,62 колоска.

*4. Определяем, принадлежат ли крайние значения данному вариационному ряду.*

xmax = 22 колоска; t = xmax − = 22 − 18,2 = 3,8;

xmin = 14 колосков; t = xmin − = 14 − 18,2= − 4,8.

3S = 3 ∙ 1,62 = 4,86.

Так как отклонения наибольшей и наименьшей варианты от средней арифметической не превышают 3S, т. е. 4,86, то все особи относятся к данному вариационному ряду.

*5. Вычисляем коэффициент вариации по формуле (6.4).*

V = ∙ 100 = ∙ 100 = 8,9 %.

Изменчивость числа колосков в главном колосе у пшеницы слабая.

*6. Вычисляем ошибку средней арифметической по формуле (6.5).*

= = = 0,162 колоска.

Таким образом, растения пшеницы сорта Капылянка имеют среднее число колосков в колосе 18,2 ± 0,16.

*Ответы.*

1. = 18,2 колоска.
2. S = 1,62 колоска.
3. V = 8,9 %.
4. = 0,162 колоска.
5. t (22) = 3,8 при 3S = 4,86.

**Задания**

**Задание 201.**

У озимой пшеницы сорта Тонация длина главного колоса от основания нижнего до основания верхнего колоска изменяется от 5 до  
12 см. Ниже приведен вариационный ряд длины колоса этого сорта при анализе выборки, равной 100 растений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина колоса (К) | 5,1−6,0 (5,5) | 6,1−7,0 (6,5) | 7,1−8,0 (7,5) | 8,1−9,0 (8,5) | 9,1−10,0 (9,5) | 10,1−11,0 (10,5) | 11,1−12,0 (11,5) |
| Число растений (f) | 3 | 8 | 22 | 34 | 26 | 6 | 1 |

Вычислить следующие показатели вариационного ряда: 1) ; 2) S; 3) V; 4) ; 5) t для растения с длиной колоса 11,5 см.

**Задание 202.**

У яровой пшеницы сорта Дарья число колосков в главном колосе изменяется от 10 до 18. Ниже приведен вариационный ряд числа колосков при анализе выборки, равной 100 растений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число колосков в главном колосе (х) | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Число растений (f) | 2 | 3 | 9 | 26 | 32 | 17 | 7 | 3 | 1 |

Вычислить следующие показатели вариационного ряда: 1) ; 2) S; 3) V; 4) ; 5) t для растения, имеющего 18 колосков в колосе.

**Задание 203.**

У клевера лугового растения имеют существенные различия по числу междоузлий на главном стебле. Чем меньше междоузлий, тем более скороспелое растение.

У сорта Титус число междоузлий на главном стебле изменяется от 4 до 12. Ниже приведен вариационный ряд числа междоузлий при анализе выборочной совокупности, равной 100 растений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число междоузлий (х) | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Число растений (f) | 1 | 2 | 6 | 16 | 43 | 21 | 6 | 4 | 1 |

Вычислить следующие показатели вариационного ряда: 1) ; 2) S; 3) V; 4) ; 5) t для растения, имеющего 12 междоузлий.

**Задание 204.**

Одним из важнейших показателей продуктивности у кукурузы является число рядов зерен в початке.

У гибрида Полесский 195 СВ оно изменяется от 11 до 17. Ниже приведен вариационный ряд данного признака при анализе выборочной совокупности, равной 100 растений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число рядов зерен в початке (х) | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Число растений (f) | 3 | 5 | 6 | 16 | 43 | 21 | 6 |

Вычислить следующие показатели вариационного ряда: 1) ; 2) S; 3) V; 4) ; 5) t для растения, имеющего 11 рядов зерен в початке.

**Задание 205.**

У гороха число междоузлий до первого боба в значительной степени определяет скороспелость растений.

У сорта Ранний 301 число междоузлий до первого боба изменяется от 5 до 11. Ниже приведен вариационный ряд данного признака на основании анализа выборочной совокупности, равной 100 растений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число междоузлий до первого боба (х) | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Число растений (f) | 5 | 16 | 18 | 24 | 21 | 10 | 6 |

Вычислить следующие показатели вариационного ряда: 1) ; 2) S; 3) V; 4) ; 5) t для растения, имеющего 11 междоузлий.

**Задание 206.**

У яровой пшеницы сорта Рассвет длина главного колоса от основания нижнего до основания верхнего колоска изменяется от 3 до 10 см. Ниже приведен вариационный ряд длины колоса этого сорта при анализе выборки, равной 100 растений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина колоса (К) | 3,1−4,0 (3,5) | 4,1−5,0 (4,5) | 5,1−6,0 (5,5) | 6,1−7,0 (6,5) | 7,1−8,0 (7,5) | 8,1−9,0 (8,5) | 9,1−10,0 (9,5) |
| Число растений (f) | 4 | 9 | 25 | 28 | 27 | 6 | 2 |

Вычислить следующие показатели вариационного ряда: 1) ; 2) S; 3) V; 4) ; 5) t для растения, имеющего длину колоса 10 см.

**Задание 207.**

У клевера лугового растения имеют существенные различия по числу междоузлий на главном стебле. Этот показатель обычно коррелирует со скороспелостью: чем меньше междоузлий, тем более скороспелое растение.

У сорта Долина число междоузлий на главном стебле изменяется от 4 до 9. Ниже приведен вариационный ряд числа междоузлий при анализе выборочной совокупности, равной 100 растений.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число междоузлий (х) | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Число растений (f) | 7 | 15 | 41 | 22 | 13 | 9 |

Вычислить следующие показатели вариационного ряда: 1) ; 2) S; 3) V; 4) ; 5) t для растения, имеющего 9 междоузлий.

**Задание 208.**

Длина початка – один из главных показателей продуктивности кукурузы.

У гибрида Днепропетровский она варьирует от 16 до 23 см. Ниже приведен вариационный ряд данного признака при анализе выборочной совокупности, равной 100 растений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина початка (К) | 16,1−17 (16,5) | 17,1−18,0 (17,5) | 18,1−19,0 (18,5) | 19,1−20,0 (19,5) | 20,1−21,0 (20,5) | 21,1−22,0 (21,5) | 22,1−23,0 (22,5) |
| Число растений (f) | 3 | 8 | 16 | 36 | 28 | 6 | 3 |

Вычислить следующие показатели вариационного ряда: 1) ; 2) S; 3) V; 4) ; 5) t для растения, имеющего длину початка 22,5 см.

**Задание 209.**

У гороха число междоузлий до первого боба в значительной степени определяет скороспелость растений.

У сорта Юниор число междоузлий до первого боба изменяется от 15 до 21. Ниже приведен вариационный ряд данного признака на основании анализа выборочной совокупности, равной 100 растений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число междоузлий до первого боба (х) | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| Число растений (f) | 4 | 17 | 19 | 23 | 22 | 10 | 5 |

Вычислить следующие показатели вариационного ряда: 1) ; 2) S; 3) V; 4) ; 5) t для растения, имеющего 15 междоузлий.

**Задание 210.**

У кукурузы продуктивность одного растения зависит в значительной степени от числа зерен в початке.

У гибрида Бемо 172 СВ число зерен в початке изменяется от 440 до 520. Ниже приведен вариационный ряд числа зерен в початке при анализе выборочной совокупности, равной 100 растений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число зерен в початке (К) | 440−450 (445) | 451−460 (455) | 461−470 (465) | 471−480 (475) | 481−490 (485) | 491−500 (495) | 501−510 (505) | 511−520 (515) |
| Число растений (f) | 1 | 4 | 8 | 26 | 34 | 22 | 3 | 2 |

Вычислить следующие показатели вариационного ряда: 1) ; 2) S; 3) V; 4) ; 5) t для растения, имеющего 515 зерен в початке.

**6.2. Мутационная изменчивость.  
Множественный аллелизм**

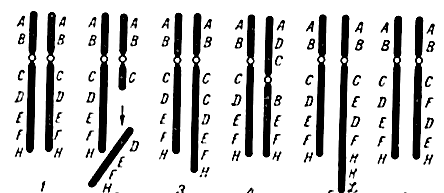
***Мутациями*** называются наследственные изменения признака, органа или свойства, обусловленные изменениями в строении хромосом или генов.

По характеру фенотипического проявления мутации условно классифицируют на следующие типы.

1. ***Морфологические мутации*** – обусловливают наследственные изменения признаков и органов у растений.
2. ***Физиологические мутации*** – обусловливают понижение или повышение продуктивности и жизнеспособности растений, их устойчивость или восприимчивость к болезням, неблагоприятным факторам внешней среды.
3. ***Биохимические мутации*** – обусловливают нарушение или изменение синтеза соответствующих веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности растения.

Мутации по характеру изменения генотипа классифицируются на несколько типов.

1. ***Геномные мутации*** – это изменение количества хромосом, которое может быть кратным гаплоидному набору (автополиплоидия) или некратным (анеуплоидия или гетероплоидия).
2. ***Хромосомные перестройки (аберрации)*** – это изменения структуры хромосом из-за их разрывов и перестроек. Они подразделяются на внутри- и межхромосомные аберрации (рис. 6.2).



*1 2 3 4 5 6*

Рис. 6.2. Типы хромосомных аберраций:

*1* – исходная пара гомологичных хромосом; *2* – делеция участка DEFH; *3* – дупликация участка С; *4* – инверсия участка BCD;  
*5* − транслокация участка KL; *6* – инсерция участка DE

*Внутрихромосомные аберрации* – это перестройки, возникающие внутри хромосомы после ее разрыва в одной или нескольких точках. Сюда относятся:

* *дупликации* – удвоение одного и того же участка хромосомы, содержащего одни и те же гены;
* *выпадение* *отдельных участков* хромосомы;
* *утеря концевого участка* (дефишенси);
* *утеря участка внутри хромосомы* (делеция);
* *перевертывание участка хромосомы на 180о*, при этом гены уже будут расположены в обратном направлении (инверсия). Инверсия может возникать в одном плече или обоих плечах, последнее приводит к изменению положения центромеры в хромосоме.

*Межхромосомные аберрации* (транслокации) – перенос участка одной хромосомы на другую негомологичную хромосому.

1. ***Генные мутации*** – это изменения структуры молекулы ДНК на участке определенного гена, кодирующего синтез соответствующей белковой молекулы.

Молекула ДНК проявляет относительно высокую стабильность и устойчивость к воздействию мутагенами, обладает свойством восстанавливать первоначальную структуру и исправлять повреждения, если они затрагивают одну из комплементарных цепочек. Процесс восстановления первоначальной структуры и исправления повреждений молекулы ДНК называется ***репарацией***.

Если в молекуле ДНК на одном и том же участке одновременно повреждены обе комплементарные нити, то это повреждение не восстанавливается и проявляется в виде генных (точковых) мутаций.

Каждый ген имеет протяженность в структуре молекулы ДНК. Генные мутации могут происходить в различных его точках. Это приводит к появлению нескольких аллелей одного и того же гена.

Различное состояние одного и того же гена, обусловленное точковыми мутациями, называется ***множественным аллелизмом***, а аллели одного гена – ***множественными аллелями***.

При множественном аллелизме в гамете присутствует только один аллель данного гена, в соматических клетках − по два одинаковых или разных аллеля этого гена, поэтому расщепление множественных аллелей идет по моногибридному типу.

Множественные аллели обозначают символом основного гена с буквенным или цифровым знаком.

Примером множественных аллелей у человека служат аллели, определяющие группы крови. У человека четыре группы крови: 0, А, В и АВ, что соответствует I, II, III и IV группам крови. Эти четыре группы крови генетически обусловлены серией из трех аллелей I0, IА и IВ.

Аллель I0 рецессивен по отношению к двум другим IА и IВ. Аллели же IА и IВ кодоминантны и проявляются в гетерозиготе в равной мере. Следовательно:

* группа крови 0 (I) будет иметь генотип I0I0;
* группа крови А (II) имеет генотип IАIА или IАI0;
* группа крови В (III) имеет генотип IВIВ или IВI0;
* группа крови АВ (IV) имеет генотип IАIВ.

Серией множественных аллелей обусловливается синтез глобина, входящего в гемоглобин крови. У человека известно около 100 типов гемоглобина, образующихся в результате замены нуклеотидов на участке ДНК. Серией множественных аллелей детерминируется и полиморфизм белков у животных.

Серией множественных аллелей детерминируется окраска меха у кроликов. Аллель С обусловливает серую окраску меха (агути), сch – шиншилловую, сh – гималайскую и са – белую (альбинизм). Ступенчатое доминирование в данной серии аллелей может быть представлено следующим образом:

С > сch > сh > са.

Сочетание в генотипе двух аллелей в гетерозиготе называется ***компаундом***.

Характерной особенностью большинства компаундов является то, что доминантный признак будет проявлять лишь тот аллель, который находится в доминирующем положении относительно другого аллеля, а фенотип компаунда будет «промежуточный» относительно доминантного и рецессивного фенотипа.

Так, при наличии серой окраски меха (агути) кролики могут иметь генотипы СС, Ссch, Cch, Cca, при наличии шиншиловой окраски − cchcch, cchch, cchca, при наличии гималайской окраски − chch, chca, при наличии белой окраски − caca.

У растений также известны примеры множественного аллелизма. Например, у томата в локусе d длинного плеча второй хромосомы известна серия аллелей, детерминирующих различную высоту растений. Аллель d+ детерминирует нормальную высоту растений, аллель d – карликовость. Остальные аллели занимают промежуточное положение и условно по степени выраженности высоты их можно расположить в следующий ряд, который соответствует и степени их доминирования:

d+ > dхх > dру > d.

Число множественных аллелей одного гена бывает иногда очень значительно. Для определения числа генотипов при нескольких аллелях можно пользоваться следующей формулой:

ЧГ = ½ ∙ n(n + 1), (6.6)

где n – число аллелей.

Так, при наличии у некоторых растений серии из 20 аллелей, определяющих их самостерильность, возможно наличие 210 генотипов,  
т. е. ½ ∙ 20 ∙ (20 + 1) = 210.

**Пример.** У человека наследование групп крови 0, А, В, АВ детерминируется серией множественных аллелей I: I0, IA, IB. Аллели IA и IB доминантны по отношению к аллелю I0 и кодоминантны по отношению друг к другу.

Женщина, имеющая группу крови А (генотип IАIА), вышла замуж за мужчину, имеющего группу крови АВ. У них было 8 детей.

1. Сколько детей в данной семье могли иметь группу крови А?
2. Сколько типов гамет может образовать женщина, имеющая группу крови А и генотип IАIА?
3. Могут ли дети иметь группу крови АВ?
4. В молекуле ДНК на участке гена, детерминирующего белок глобин гемоглобина А, наблюдается следующее чередование нуклеотидов: 5, Г-Т-А-Т-Т-А-Ц-А-А-А-Т-Г- … 3,. Шестой с конца 3, нуклеотид цитозин был заменен на аденин, в результате чего произошла точковая мутация. Пользуясь цифровыми обозначениями аминокислот (см. табл. 5.1), укажите, какая аминокислота изменилась в исходной цепи в результате данной точковой мутации.
5. Какая аминокислота кодируется в результате данной точковой мутации?

*Решение.*

*1. Записываем краткое условие задачи.*

Человек

Наследование групп крови.

О − I группа крови;

А − II группа крови;

В − III группа крови;

АВ − IV группа крови.

*2. Выписываем генотипы родителей по группе крови, гаметы, которые они образуют, и определяем возможные генотипы детей (используем систему записи, принятую для решения генетических ситуаций у человека).*

II группа IV группа

IАIВ

IАIВ

IАIА

II группа IV группа II группа VI группа

*3. Выписываем участок молекулы ДНК и определяем последовательность кодонов и-РНК и аминокислот в полипептидной цепи.*

ДНК: 5, Г-Т-А-Т-Т-А-Ц-А-А-А-Т-Г- … 3,

и-РНК: Ц-А-У-А-А-У-Г-У-У-У-А-Ц

Аминокислоты: гистидин – аспарагин – валин – тирозин.

*4. Моделируем точковую мутацию в молекуле ДНК и определяем последовательность кодонов и-РНК и аминокислот в измененной полипептидной цепи.*

**А**

ДНК: 5, Г-Т-А-Т-Т-А-Ц-А-А-А-Т-Г- … 3,

и-РНК: Ц-А-У-А-А-У-У-У-У-У-А-Ц

Аминокислоты: гистидин − аспарагин – **фенилаланин** – тирозин.

*Ответы.*

1. 50 % детей могут иметь группу крови А.
2. 1 тип гамет .
3. 50 % детей могут иметь группу крови АВ.
4. Валин
5. Фенилаланин.

**Задания**

**Задания 211.**

У человека наследование групп крови 0, А, В, АВ детерминируется серией множественных аллелей I: I0, IA, IB. Аллели IA и IB доминантны по отношению к аллелю I0 и кодоминантны по отношению друг к другу.

Женщина, имеющая группу крови 0, вышла замуж за мужчину, имеющего группу крови АВ. У них было 8 детей.

1. Сколько детей в данной семье могли иметь группу крови А?
2. Сколько типов гамет может образовать мужчина, имеющий группу крови АВ?
3. Могут ли дети иметь группу крови АВ?
4. В молекуле ДНК на участке гена, детерминирующего белок глобин гемоглобина А, наблюдается следующее чередование нуклеотидов: 5, Г-Г-А-Г-Т-Т-Г-Т-Т-Т-Т-Т- … 3,. Пятый с конца 5, нуклеотид тимин был заменен на аденин, в результате чего произошла мутация и гемоглобин А изменился на гемоглобин S. Выпишите кодоны и-РНК и аминокислоты глобина А и S. Пользуясь цифровыми обозначениями аминокислот (см. табл. 5.1), укажите, какая из них в гемоглобине А изменилась в результате данной точковой мутации.
5. Какая аминокислота в гемоглобине S кодируется в результате данной точковой мутации?

**Задания 212.**

У томата три аллеля локуса L (Lc, Lc-2, Lc-3) детерминируют число лодикул (прицветковых чешуй), обеспечивающих раскрывание венчика цветка во время цветения. Они наследуются по типу ступенчатого доминирования: аллель Lc детерминирует большое число лодикул и доминирует над аллелями Lc-2 и Lc-3. Аллель Lc-2 детерминирует небольшое число лодикул, рецессивен по отношению к аллелю Lc и доминантен по отношению к аллелю Lc-3, который детерминирует отсутствие лодикул в цветке.

Скрещивали растения, имеющие большое число лодикул, с генотипами LcLc-2 × LcLc-3. Получили 60 растений.

1. Сколько разных генотипов будут иметь растения, полученные в потомстве при таком скрещивании?

2. Сколько растений из 60 будут иметь большое число лодикул и дадут нерасщепляющееся потомство?

3. Сколько разных фенотипов могут иметь растения, полученные при таком скрещивании?

4. На участке полипептидной цепи белковой молекулы чередование аминокислот: 5' аланин – цистеин – гистидин – лейцин – метионин − тирозин. В результате точковой мутации 11-й нуклеотид аденин оказался замененным на цитозин, а в 12-м нуклеотиде тимин − на цитозин.

1. Пользуясь цифровыми обозначениями аминокислот (см. табл. 5.2), укажите, какая из них будет кодироваться в результате данной точковой мутации.

**Задания 213.**

Гаметофитная система самонесовместимости у клевера красного обусловливается серией множественных аллелей гена S. При совпадении аллелей генотипа материнского растения с аллелем пыльцевого зерна спермий не может обеспечить оплодотворение.

Растение, имеющее генотип S1S4, было опылено смесью пыльцы, содержащей аллели S1, S4, S6, Sl0, S12, S14, Sl5, S17.

1. Какой процент пыльцевых зерен не сможет обеспечить оплодотворение данного материнского растения?
2. Сколько возможных генотипов по аллелям самонесовместимости может быть в потомстве растений, полученных при таком опылении?
3. На участке одной из цепей фермента рибонуклеазы следующее чередование аминокислот: валин – гистидин – фенилаланин – аспарагин – аланин – серин – валин. Пользуясь цифровыми обозначениями аминокислот (см. табл. 5.2), постройте молекулу и-РНК.
4. Посторойте молекулу ДНК.
5. Укажите, какая из аминокислот будет включена в данную цепочку, если в результате точковой мутации в 13-м нуклеотиде на данном участке молекулы ДНК цитозин заменится на тимин.

**Задания 214.**

У табака гаметофитная система самонесовместимости детерминируется серией множественных аллелей. При этом пыльца, имеющая тот же аллель, что и опыляемое растение, не может обеспечить оплодотворение.

Растение с генотипом S3S4 было опылено смесью пыльцы, содержащей в равных количествах пыльцевые зерна, имеющие следующие аллели: S1, S2, S3, S4. Получили 100 растений.

1. Какой процент пыльцевых зерен может обеспечить оплодотворение?
2. Сколько разных генотипов могут иметь растения, полученные в результате такого опыления?
3. Одна из цепей фермента рибонуклеазы имеет следующее чередование аминокислот: глутамин – глицин – аспарагиновая кислота – пролин – тирозин – валин – пролин. Пользуясь цифровыми обозначениями аминокислот (см. табл. 5.2), постройте молекулу и-РНК.
4. Постройте молекулу ДНК.
5. В результате точковой мутации 8-й нуклеотид молекулы ДНК изменился, и вместо азотистого основания тимина стал цитозин. Укажите, какая аминокислота будет кодироваться измененным триплетом.

**Задания 215.**

У ячменя озимость − яровость (тип развития) детерминируется серией аллелей локуса sh. При этом аллель sh детерминирует озимый тип развития, sh2 − яровой и является доминантным по отношению к аллелю sh1, контролирующему полуозимый тип развития. В свою очередь, аллель sh доминирует над аллелем sh2.

Скрещивали озимые растения, имеющие генотип shsh, с яровыми растениями, имеющими генотип sh2sh1.

1. Сколько разных генотипов может быть при таком скрещивании?
2. Сколько разных фенотипов может быть при таком скрещивании?
3. Сколько потомков могли иметь яровой тип развития?
4. Одна из полипеплидных цепочек глюкогена имеет следующий порядок чередования аминокислот: треонин – серин – аспарагин – тирозин – серин – лизин – серин. Пользуясь цифровыми обозначениями аминокислот (см. табл. 5.2), постройте молекулы и-РНК и ДНК.
5. В молекуле ДНК, кодирующей данный участок, произошла точковая мутация, в результате которой 13-й нуклеотид аденин заменился на тимин. Какую аминокислоту в данной полипептидной цепочке будет кодировать измененный триплет ДНК?

**Задания 216.**

У томата окраска мякоти плода детерминируется серией аллелей гена R. Аллель R обусловливает красную окраску мякоти плода, r − желтую, r-2 − желтовато-красную, rу − красноватую. Аллели наследуются по типу ступенчатого доминирования: R > ry > r-2 > r.

Скрещивали гетерозиготные растения Rr × ryr-2, получили 50 потомков.

1. Сколько разных генотипов могли иметь потомки?
2. Сколько разных фенотипов могли иметь потомки?
3. Сколько потомков могли иметь красную окраску мякоти?
4. Участок полипептидной цепи вируса табачной мозаики имеет следующий порядок чередования аминокислот: серин – глицин – серин – изолейцин – треонин – пролин – серин. Пользуясь цифровыми обозначениями аминокислот (см. табл. 5.2), постройте молекулы  
   и-РНК и ДНК.
5. В результате воздействия на и-РНК азотистой кислотой в кодонах цитозин превращается в гуанин. Сколько аминокислот в вышеприведенной цепочке нуклеотидов будет изменено в результате воздействия азотистой кислотой, если они детерминируются кодонами, приведенными в первом столбце табл. 5.2?

**Задания 217.**

У томата в локусе d+ (длинное плечо второй хромосомы) известна серия множественных аллелей, детерминирующих высоту растений. Аллель d+ детерминирует нормальную высоту, d − карликовость. Остальные аллели занимают промежуточное положение и условно по степени выраженности высоты их можно расположить в таком порядке, который соответствует и степени их доминирования (d+ > dxx > dx >  
> dpy > d).

Скрещивали гетерозиготные растения d+d × dxdpy и получили  
56 растений.

1. Сколько разных генотипов могли иметь потомки от этого скрещивания?
2. Сколько разных фенотипов могли иметь потомки от этого скрещивания?
3. Сколько растений могли иметь нормальную высоту?
4. В цепи А инсулина у животных на одном участке полипептидной цепи чередование аминокислот следующее: цистеин – цистеин – аланин – серин – валин – цистеин. Пользуясь цифровыми обозначениями аминокислот (см. табл. 5.2), постройте молекулы и-РНК и ДНК.
5. Произошла точковая мутация, в результате которой на участке молекулы ДНК, кодирующем данный полипептид, 11-й нуклеотид гуанин заменился на тимин. Укажите аминокислоту, кодируемую измененным триплетом ДНК.

**Задания 218.**

У клевера ползучего ген V, обусловливающий характер рисунка белого пятна на листе, представлен серией 11 аллелей, которые наследуются по типу кодоминирования, т. е. у гетерозигот фенотипически проявляются оба аллеля. Аллель v контролирует отсутствие пятна; V − сплошное пятно; VН − сплошное высокое пятно; VВ − пятно с разрывом; VВН − высокое пятно с разрывом; VР − пятно в центре; VF − сплошное треугольное пятно у основания; VL − небольшое сплошное пятно у основания.

Скрестили гомозиготные растения, имеющие генотипы VBVB ×  
× VHVH. Получили 10 растений F1 и 44 растения F2.

1. Определите характер расположения пятен у гибридов F1.

2. Сколько разных генотипов могут иметь растения F2?

3. Сколько разных фенотипов могут иметь растения F2?

1. Сколько растений F2 могут иметь пятно с разрывом?
2. В цепи В инсулина на одном из участков имеется такое чередование аминокислот: лейцин – цистеин – глицин – серин − гистидин.  
   В молекуле ДНК, кодирующей данный участок полипептидной цепи, произошла точковая мутация, в результате которой 10-й нуклеотид аденин был заменен на гуанин. Укажите, какая аминокислота будет кодироваться мутировавшим триплетом.

**Задания 219.**

У человека наследование групп крови 0, А, В, АВ детерминируется серией множественных аллелей I: I0, IA, IB. Аллели IA и IB доминантны по отношению к аллелю IO и кодоминантны по отношению друг к другу.

У отца III группа крови, у матери − IV.

Может ли ребенок унаследовать группу крови отца?

**Задания 220.**

У кроликов аллели дикой окраски (агути) С, гималайской окраски Сh и альбинизма Сa составляют серию множественных аллелей, доминирующих в нисходящем порядке ( С > Сh > Сa).

При скрещивании двух гималайских кроликов получено потомство: ¾ гималайские кролики и ¼ кролики-альбиносы.

Определите генотипы родителей.

**6.3. Полиплоидия**

***Полиплоидия*** представляет собой геномную мутацию, связанную с изменением числа хромосом в клетках организма.

Различают следующие типы полиплоидии: автополиплоидию, аллополиплоидию, анеуплоидию.

***Автополиплоидия*** представляет собой кратное увеличение числа хромосом по отношению к гаплоидному набору.

Автополиплоиды различаются в зависимости от того, во сколько раз увеличено число хромосом по сравнению с гаплоидным набором:

* 2n – *диплоиды*;
* 3n – *триплоиды*;
* 4n – *тетраплоиды*;
* 5n – *пентаплоиды*;
* 6n – *гексаплоиды* и т. д.

У полиплоидов в связи с увеличением числа хромосом увеличиваются ядро, клетка, органы растений, изменяются физиологические процессы, возрастает энергия жизнедеятельности, повышается изменчивость.

Многие виды растений в пределах рода образуют ***полиплоидные ряды*** – это совокупность видов с кратным увеличением числа хромосом по отношению к основному числу, т. е. к гаплоидному набору.

Так, полиплоидный ряд рода земляники представлен: земляника лесная (*Fragaria vesca*) 2n = 14, земляника восточная (*F. orientalis*)  
2n = 28, клубника (*F. elateor*) 2n = 42, земляника крупноплодная  
(*F. ananassa*) 2n = 56. Основное число полиплоидного ряда земляники равно 7.

Плоидность каждого вида определяется делением диплоидного набора хромосом вида на основное число. Так, лесная земляника (14:7) − диплоидная, восточная (28:7) – тетраплоидная, клубника (42:7) – гексаплоидная и ананасная (56:7) – октаплоидная.

Полиплоиды разделяются на сбалансированные, т. е. имеют четный набор хромосом: 2n, 4n, 6n, 8n и т. д. и несбалансированные − с нечетным набором хромосом: 3n, 5n, 7n и т. д.

Полиплоиды с нечетным набором хромосом имеют пониженную плодовитость, что обусловлено нарушением в конъюгации хромосом в мейозе и образованием гамет с несбалансированным числом.

При нормальной конъюгации хромосом и образовании бивалентов наследование признаков у полиплоидов протекает значительно сложнее, чем у обычных диплоидов.

Например, при скрещивании гомозиготного тетраплоида с доминантным признаком красной окраски (DDDD) с гомозиготой по рецессивному гену белой окраски (dddd) в первом поколении все потомкиявляются гетерозиготными с красной окраской цветка (DDdd).

Р ♀ DDDD × ♂ dddd

G

F1 DDdd

У тетраплоидных растений в F1 в мейозе образуются диплоидные макро- и микроспоры на основе случайного равновероятного парного расхождения четырех гомологичных хромосом в анафазе I. Эти споры в процессе гаметогенеза могут образовывать три типа гамет в следующем соотношении: 1DD : 4Dd : 1dd (рис. 6.3).

Гаметы

D

d

d

D

D

d

………. DD

………. Dd

………. Dd

………. Dd

………. Dd

………. dd

D

d

Рис. 6.3. Гаметогенез  
у полиплоидов

При равновероятном слиянии гамет в процессе оплодотворения у тетраплоидных растений F2 могут образоваться следующие генотипы: 1 DDDD : 8 DDDd : 18 DDdd : 8 Dddd : 1 dddd (табл. 6.2).

В зависимости от количества доминантных генов в генотипе тетраплоиды имеют определенные названия:

* растение с четырьмя доминантными аллелями (DDDD) называется *квадриплекс*;
* с тремя доминантами аллелями (DDDd) – *триплекс*;
* с двумя доминантами аллелями (DDdd) – *дуплекс*;
* с одним доминантным аллелем (Dddd) – *симплекс*;
* растение с четырьмя рецессивными аллелями (dddd) – *нуллиплекс*.

Таблица 6.2. **Расщепление в F2 у полиплоидов**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Гаметы ♀ | Гаметы ♂ | | |
| 1 DD | 4 Dd | 1 dd |
| 1 DD | 1 DDDD | 4 DDDd | 1 DDdd |
| 4 Dd | 4 DDDd | 16 DDdd | 4 Dddd |
| 1 dd | 1 DDdd | 4 Dddd | 1 dddd |

При полном доминировании в F2 у тетраплоидных растений может наблюдаться расщепление по фенотипу в соответствии 35 D\_ \_ \_ :  
1 dddd, т. е. на каждые 35 красноцветковых растений будет приходиться 1 белоцветковое.

При неполном доминировании фенотипическое проявление признака и характер расщепления в F2 более сложный. Если степень проявления признака зависит от числа доминантных генов, то фенотипическое расщепление F2 у тетраплоидов будет соответствовать расщеплению по генотипу: 1 DDDD : 8 DDDd : 18 DDdd : 8 Dddd : 1 dddd.

Особенно сложный характер расщепления в F2 у тетраплоидов наблюдается при взаимодействии неаллельных генов. Например, при комплементарном взаимодействии генов у диплоидных растений расщепление в F2 соответствует отношению 9:7, у тетраплоидных − 1225:71. Еще более сложный характер расщепления у тетраплоидов, если признак детерминируется двумя или тремя парами полимерных генов.

**Пример.** У ячменя имеется четко выраженный сортовой признак − характер опушения цветоножки длинными или короткими волосками. Доминантный аллель S детерминирует опушение цветоножки длинными волосками, его рецессивный аллель s − короткими.

Скрещивали между собой тетраплоидные дуплексные по данному гену растения с генотипами SSss, имеющие цветоножки, опушенные длинными волосками. В потомстве получили 72 растения.

1. Сколько типов гамет может образовать родительское растение?
2. Сколько триплексных растений по данному гену могло быть в потомстве?
3. Сколько растений могли иметь цветоножки, опушенные длинными волосками?
4. Чему равно основное число хромосом полиплоидного ряда риса?
5. Сколько хромосом ржи могут содержать гексаплоидные тритикале?

*Решение.*

Ячмень

Характер опушения цветоножки.

S – длинные волоски;

s – короткие волоски.

F1 – 72 растения.

длин. длин.

Р ♀ SSss × ♂ SSss

G

F1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | SSSS | длинные волоски; |
| 8 | SSSs | длинные;  35  1 |
| 18 | SSss | длинные; |
| 8 | Ssss | длинные; |
| 1 | ssss | короткие. |

На 1 часть приходится 2 растения (72 растения : 36 частей).

*Ответы.*

1. 6 типов гамет.
2. 16 растений с генотипом SSSs (8 частей ∙ 2 растения).
3. 70 растений с генотипами S \_ \_ \_ (35 частей ∙ 2 растения).
4. У риса посевного 2n = 24. Основное число хромосом 12 (х = 24 : 2).
5. Гексаплоидное тритикале (6n = 42) состоит из 28 хромосом твердой пшеницы и 14 хромосом ржи (ААВВ × RR).

***Аллополиплоиды*** – это растения, в ядрах клеток которых объединены наборы хромосом различных видов, родов и которые возникают при отдаленной гибридизации. Например, гибриды между редькой *Raphanus sativus* (2n = 18) с капустой *Brassica oleraceae* (2n = 18); между мягкой пшеницей *Triticum aestivum* (2n = 42) и рожью *Secale cereale* (2n = 14), между твердой пшеницей *Triticum durum* (2n = 28) и рожью *Secale cereale* (2n = 14) и т. д.

Аллополиплоиды имеют нормальное развитие с признаками исходных родителей, но, как правило, стерильны из-за нарушений в конъюгации хромосом. Восстановить плодовитость аллополиплоидов позволяет полиплоидизация. Так, получены 36-хромосомные редично-капустные гибриды, 42 и 56-хромосомные пшенично-ржаные гибриды (тритикале) и т. д.

***Анеуплоиды*** – это растения, у которых изменилось число хромосом по отношению к гаплоидному набору.

Возникают анеуплоиды в результате нарушения в расхождении хромосом к полюсам в анафазе мейоза или митоза, когда образуются гаметы с набором хромосом (n − 1) и (n + 1). Если при слиянии таких гамет образуются зиготы с числом хромосом (2n − 1), то их называют *моносомики*, (2n − 2) – *нуллисомики*, (2n + 1) – *трисомики*, (2n + 2) – *тетрасомики*, т. е. происходит утеря или добавление отдельных хромосом.

Анеуплоиды отличаются меньшей жизнеспособностью, чем диплоиды. Однако генетики используют анеуплоиды для геномного или моносомного анализа, который позволяет установить, в какой хромосоме локализован ген, обусловливающий изучаемый признак.

**Задания**

**Задание 221.**

Красноплодное тетраплоидное растение томата (ААаа) при самоопылении дало 105 растений с красными плодами и 3 растения с желтыми плодами.

1. Сколько типов гамет может образовать родительское растение?
2. Какие типы гамет образует родительское растение?
3. Определите генотипы потомства F1.
4. Сколько типов гамет может образовать триплексное растение?
5. Чему равно основное число хромосом полиплоидного ряда мягкой пшеницы 2n = 14, 28, 42?

**Задание 222.**

У ячменя двурядная форма колоса детерминируется геном V, доминантным по отношению к аллелю v, обусловливающему многорядную форму колоса.

Скрещивали две дуплексные тетраплоидные формы ячменя, имеющие генотипы VVvv, и получили 72 гибрида.

1. Сколько типов гамет может образовать родительская форма?
2. Сколько разных генотипов могли иметь гибридные растения?
3. Сколько гибридных растений могли иметь многорядный колос?
4. Чему равно основное число хромосом полиплоидного ряда картофеля 2n = 12, 24, 36, 48, 60, 72, 96, 108, 144?
5. Сколько хромосом пшеницы может содержаться у гексаплоидной тритикале?

**Задание 223.**

Скрещивали два тетраплоидных растения дурмана с пурпурными цветками. В результате получили 525 растений с пурпурными и 155 –  
с белыми цветками.

1. Определите генотип родителей.
2. Сколько типов гамет может образовать родительское растение?
3. Сколько разных генотипов может быть в первом поколении?
4. Определите расщепление по фенотипу.
5. Чему равно основное число хромосом полиплоидного ряда овса посевного 2n = 14, 28, 42?

**Задание 224.**

У клевера красного розовая окраска венчика детерминируется доминантным геном Р, рецессивный аллель р обусловливает белую окраску венчика.

Скрещивали тетраплоидное квадриплексное растение, имеющее розовую окраску венчика, с нуллиплексным, имеющим белую окраску венчика. В F1 получили 110 растений, в F2 – 1260 растений.

1. Сколько разных типов гамет может образовать растение F1?
2. Сколько разных типов гамет может образовать триплексное растение F2?
3. Сколько разных генотипов могли иметь растения F2?
4. Чему равно основное число хромосом полиплоидного ряда земляники 2n = 14, 28, 56?
5. Сколько хромосом пшеницы может содержаться у гексаплоидной тритикале?

**Задание 225.**

У кукурузы ген С детерминирует образование окрашенного алейрона. Его рецессивный аллель с обусловливает отсутствие окраски алейрона.

Самоопыляли тетраплоидные дуплексные растения кукурузы, в потомстве получили 1080 гибридов.

1. Сколько разных типов гамет может образовать родительское растение?
2. Сколько гибридных растений могут дать нерасщепляющееся потомство?
3. Сколько растений могут иметь неокрашенный алейрон?
4. Чему равно основное число хромосом полиплоидного ряда люцерны 2n = 16, 32, 48?
5. Сколько хромосом ржи может содержаться у октоплоидной тритикале?

**Задание 226.**

У кукурузы нормальная зеленая окраска листьев детерминируется геном F, рецессивный аллель данного гена обусловливает развитие белых полос на листьях и обертках початка.

При скрещивании тетраплоидных триплексных растений с симплексными получили 135 гибридов.

1. Сколько типов гамет может образовать симплексное растение?
2. Сколько разных генотипов могут иметь гибридные растения?
3. Сколько гибридных растений могут иметь полосы на листьях?
4. Сколько гибридных растений могут иметь зеленую окраску листьев?
5. Чему равно основное число хромосом у хлопчатника 2n = 26, 52?

**Задание 227.**

У ржи антоциановая окраска всходов детерминируется доминантным геном V, зеленая − его рецессивным аллелем. Скрещивали тетраплоидные растения, одно из которых имело зеленую, а другое − антоциановую окраску всходов и генотип VVVv. Получили 147 гибридов.

1. Сколько типов гамет может образовать триплексное растение?
2. Сколько разных генотипов могут иметь гибридные растения?
3. Сколько гибридных растений могут иметь антоциановую окраску всходов?
4. Сколько хромосом содержится в клетках триплоидной сахарной свеклы?
5. Сколько хромосом генома А содержит октоплоидное тритикале?

**Задание 228.**

У подсолнечника панцирность кожуры семянки контролируется доминантным геном С, отсутствие слоя панцирных клеток − рецессивным аллелем данного гена. Скрещивали два дуплексных тетраплоидных растения подсолнечника между собой и получили 180 гибридов.

1. Сколько разных типов гамет может образовать тетраплоидное дуплексное растение?
2. Сколько разных генотипов могли иметь гибридные растения?
3. Сколько растений могли иметь беспанцирные семянки?
4. Сколько хромосом могут содержать гаметы тетраплоидных растений подсолнечника?
5. Сколько хромосом пшеницы может содержаться в гаметах гексаплоидных тритикале?

**Задание 229.**

У ржи ломкость соломины детерминируется рецессивным аллелем b, доминантный аллель данного гена В обусловливает развитие нормальной (неломкой) соломины.

Скрещивали дуплексное тетраплоидное растение с тетраплоидом, имеющим ломкую соломину, и получили 144 гибридов.

1. Сколько разных типов гамет может образовать дуплексное тетраплоидное растение ржи?
2. Сколько разных генотипов могут иметь гибридные растения, полученные при таком скрещивании?
3. Сколько гибридных растений могут иметь ломкую соломину?
4. Какое расщепление по генотипу может быть при таком скрещивании?
5. Чему равно основное число хромосом у полиплоидного ряда сахарного тростника 2n = 48, 56, 64, 72, 80, 96, 112, 120?

**Задание 230.**

У свеклы карминово-красная окраска гипокотиля детерминируется доминантным геном R, зеленая − его рецессивным аллелем г.

Скрещивали тетраплоидное дуплексное растение с диплоидным, имеющим зеленую окраску гипокотиля, и получили 240 растений.

1. Сколько хромосом могли иметь гибриды?
2. Сколько разных генотипов могли иметь гибриды?
3. Сколько растений могли иметь зеленый гипокотиль?
4. Сколько растений могли иметь карминово-красный гипокотиль?
5. Сколько разных геномов содержит октоплоидное тритикале?

7. 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 (инцухтом)* 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 пыльцой 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 давать жизнеспособное потомство только при аутбридинге, т. е. при опылении пыльцой других растений. К ним относятся рожь, кукуруза, люцерна, клевер, свекла, капуста, яблоня, земляника.

7.1. Инбридинг

У растений инбридинг (инцухт) характеризуется рядом особенностей:

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

Инбридинг осуществляют следующим образом. У перекрестноопы-  
ляющихся растений с обоеполыми цветками (рожь) за 1−2 дня до цветения соцветия изолируют пергаментными изоляторами. Под изолятором происходит опыление пестиков пыльцой только своего соцветия. Через 7−10 дней, когда в соцветии отцветут все цветки, а неоплодотворенные пестики станут нежизнеспособными, изолятор снимают и подсчитывают число завязавшихся семян. Обычно при инбридинге завязываются единичные цветки и семена.

У раздельнополых однодомных растений принудительное самоопыление осуществляют пыльцой мужского соцветия, срезанного с того же растения. У кукурузы за 2−3 дня до цветения изолируют пергаментными изоляторами початок и метелку. В день массового появления рылец початок опыляют пыльцой изолированного соцветия своего же растения. Затем початок и метелку снова изолируют и через 1−2 дня опыление повторяют, так как цветки в початке цветут неодновременно.

При инбридинге у перекрестноопыляющихся растений семена либо не завязываются, либо завязываются в незначительном количестве, а растения, выросшие из таких семян, обычно маложизнеспособные и низкопродуктивные.

Снижение жизнеспособности и продуктивности у растений, полученных в результате принудительного самооплодотворения, называется ***инбредной депрессией***, или ***вырождением***.

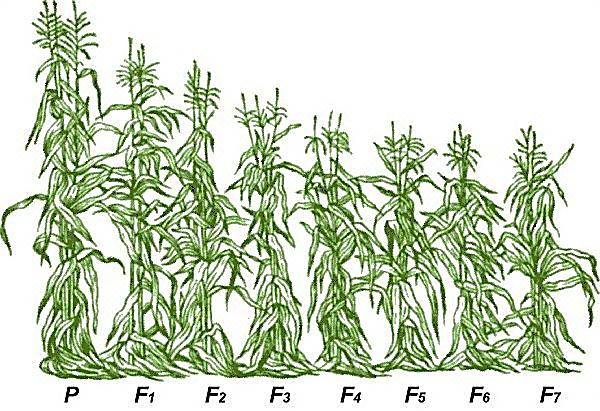
Потомство инбридинга называют ***инбредной линией (инцухт-линией)*** и обозначают латинской буквой I, а число поколений, в которых повторялся инбридинг, − стоящей внизу цифрой: однократное самоопыление I1, двукратное I2 и т. д. (рис. 7.1).

В 5−7-м поколении 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. 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 иаа в I1 частота гетерозиготных растений уменьшится вдвое: 25 % АА: 50 % Аа : 25 % аа. При повторном инбридинге в I2 частота гетерозигот снова уменьшится вдвое: 37,5 % АА : 25 % Аа : 37,5 % аа.



P I1 I2 I3 I4 I5 I6 I7

Рис. 7.1. Инбредная депрессия у кукурузы в поколениях инбридинга

Таким образом, в каждом поколении инбридинга доля гетерозигот уменьшается вдвое по сравнению с предыдущим поколением, а доля гомозигот растений соответствующим образом увеличивается. Для определения доли гомозигот в поколениях инбридинга у растений пользуются формулой Райта:

F = 1 − , (7.1)

где F – коэффициент инбридинга (показатель гомозиготности инбредной линии по данной паре аллелей);

n – число поколений инбридинга.

Инбридинг дает возможность выявить имеющиеся в популяции ценные сочетания генов и закрепить их в потомстве. Например, гены короткостебельности у ржи, высокой сахаристости у сахарной свеклы и т. д. Однако использование инбридинга затрудняется явлением инбредной депрессии, из-за которой возникает опасность утери некоторых ценных генов.

Наиболее перспективным оказалось использование инбредных линий в селекции на гетерозис, так как при скрещивании между собой некоторые линии дают высокопродуктивное, мощно развитое потомство.

**Пример.** У кукурузы устойчивость к мучнистой росе доминирует над восприимчивостью. Растение кукурузы с генотипом Аа размножали при принудительном самоопылении в течение 10 поколений.

Пользуясь формулой Райта, рассчитайте процент гомозиготных и гетерозиготных растений по гену А в каждом инбредном поколении.

1. Сколько растений, гетерозиготных по данному гену, может быть в I2(%)?
2. Сколько растений, гомозиготных по доминантному аллелю гена А, может быть в I5 (%)?
3. Сколько растений, гетерозиготных по А, может быть в I6 (%)?
4. Сколько гетерозиготных растений может быть в I8 (%)?
5. В каком поколении инбридинга наступит инбредный минимум по данному гену (процент гетерозиготных особей будет меньше единицы)?

*Решение.*

*1. Записываем краткое условие и схему принудительного сомоопыления растений кукурузы.*

Кукуруза

Устойчивость к мучностой росе.

А – устойчивость;

а – восприимчивость.

Р ♀ Аа × ♂ Аа

G

I1 АА 2Аа аа

25 % 50 % 25 %

Р АА × АА Аа × Аа аа × аа

I2 AA AA 2Aa aa aa

25 % 12,5 % 25 % 12,5 % 25 %

37,5 % 25 % 37,5 %

I3 43,75 % 12,5 % 43,75 %

I4 46,875 % 6,25 % 46,875 %

*2. Составляем табл. 7.1 и, пользуясь формулой Райта, рассчитываем относительную долю гомозигот, которые могут быть получены в 10 поколениях инбридинга.*

Таблица 7.1. **Количество гомозиготных и гетерозиготных генотипов  
в поколениях инбридинга**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Поколение инбридинга | Количество генотипов, % | | |
| СС | сс | Сс |
| Исходное растение Р | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| I1 | 25,00 | 25,00 | 50,00 |
| I2 | 37,50 | 37,50 | 25,00 |
| I3 | 43,75 | 43,75 | 12,50 |
| I4 | 46,88 | 46,88 | 6,25 |
| I5 | 48,44 | 48,44 | 3,12 |
| I6 | 49,20 | 49,20 | 1,60 |
| I7 | 49,60 | 49,60 | 0,80 |
| I8 | 49,80 | 49,80 | 0,40 |
| I9 | 49,90 | 49,90 | 0,20 |
| I10 | 49,95 | 49,95 | 0,10 |

Относительная доля гомозигот, например, в поколении I5 составит 96,88 %. Следовательно, в поколении I5 гетерозиготы составляют 100 – − 96,88 = 3,12 %. Согласно схеме скрещиваний, доминантные и рецессивные гомозиготы образуются в одинаковых количествах. Поэтому в поколении I5 образуется по 48,44 % гомозиготных растений с генотипами АА и аа.

*3. Пользуясь составленной таблицей, отвечаем на вопросы.*

1. В поколении I2может быть 25,00 % гетерозигот.
2. В поколении I5 может быть 48,44 % растений, гомозиготных по доминантному гену А.
3. В поколении I6 может быть 1,60 % гетерозиготных растений.
4. В поколении I8 может быть 0,40 % растений, гетерозиготных по данному гену.
5. Инбредный минимум по данному гену наступит в поколении I7.

Задания

Задание 231.

У кукурузы высокорослость W доминирует над низкорослостью w.

Гетерозиготное растение кукурузы размножали при принудительном самоопылении в течение 8 поколений.

Пользуясь формулой Райта, рассчитайте процент гомозиготных и гетерозиготных растений в каждом инбредном поколении.

1. Какой процент растений в I2может быть гомозиготным по доминантному аллелю гена W?
2. Сколько растений в I3 могут быть гетерозиготными (%)?
3. Чему равен коэффициент инбридинга в I5?
4. Сколько растений в I8 могут быть гетерозиготными (%)?
5. В каком поколении инбридинга наступит инбредный минимум (процент гетерозиготных особей будет меньше единицы)?

Задание 232.

У ржи одним из доноров короткостебельности является естественный мутант ЕМ-1, у которого короткостебельность обусловлена доминантным аллелем гена H.

Гомозиготное растение ЕМ-1 скрестили с высокорослым растением, обладающим генотипом hh и относительно высокой самофертильностью. Дальнейшее размножение гибрида проводили при принудительном самоопылении.

Пользуясь формулой Райта, рассчитайте в каждом из 6 инбредных поколений процент гетерозиготных и гомозиготных растений.

1. Чему равен коэффициент инбридинга в I4?
2. Какой процент короткостебельных растений может быть в I6?
3. Какой процент короткостебельных растений I6 может дать нерасщепляющееся потомство при принудительном самоопылении?
4. Какой процент растений в I5 может быть гетерозиготным (%)?
5. До какого поколения необходимо инцухтировать данную популяцию ржи, чтобы у нее наступил инбредный минимум и гетерозиготных по данному гену растений было меньше 0,1 %?

Задание 233.

У моркови желтая окраска корнеплода доминирут над красной.

В результате длительного принудительного самоопыления исходной гетерозиготной популяции получили 8 поколений инбридинга.

Рассчитайте коэффициент инбридинга, а также процент растений, гетерозиготных и гомозиготных по гену, детерминирующему окраску корнеплода, в каждом инбредном поколении.

1. Чему равен процент гетерозиготных растений в I3?
2. Чему равен процент растений, имеющих красный корнеплод, в I4?
3. Чему равен коэффициент инбридинга в I5?
4. Какой процент растений в I8 будет иметь желтый корнеплод и может дать нерасщепляющееся потомство в I9?
5. Чему равен коэффициент инбридинга в I8?

Задание 234.

У растений редиса форма корнеплода может быть длинной, овальной и круглой.

При принудительном самоопылении растений, имеющих овальную форму корнеплода, в I1 получили 16 растений, из них 4 имели длинную форму корнеплода, 4 – круглую, а остальные – овальную. До I4 все растения размножали при принудительном самоопылении.

Рассчитайте коэффициент инбридинга, а также определите процент гетерозиготных и гомозиготных растений по гену, детерминирующему форму корнеплода у редиса.

1. Чему равен процент гетерозиготных растений в I3?
2. Какой процент растений будет иметь овальный корнеплод в I4?
3. Какой процент растений I4 с овальными плодами может дать гетерозиготное потомство?
4. Какой процент растений в I4 может иметь круглые корнеплоды?
5. До какого поколения необходимо инцухтировать растения редиса, чтобы гетерозиготных растений было меньше 0,1 %?

**Задание 235.**

У кукурузы зеленая окраска растений является доминантной по отношению к белой.

Гетерозиготное растение кукурузы размножали при принудительном самоопылении в течение 12 поколений.

Рассчитайте коэффициент инбридинга, а также процент растений, гетерозиготных и гомозиготных по гену В, в каждом инбредном поколении.

1. Чему равен процент гетерозиготных растений в I2?
2. Чему равен процент растений, имеющих генотип ВВ, в I4?
3. Чему равен коэффициент инбридинга в I5?
4. Какой процент растений в I8 могли бы иметь генотип bb?
5. Чему равен коэффициент инбридинга в I12?

Задание 236.

У тыквы белая окраска плодов является доминантной по отношению к желтой, а дисковидная форма плода доминирует над сферической.

Гетерозиготное растений принудительно самоопыляли и в дальнейшем до шестого поколения размножали при принудительном самоопылении.

Рассчитайте для каждого инбредного поколения процент растений гомозиготных по обеим парам аллелей, по одной паре и гетерозиготных по двум парам аллелей. Расчет ведите по форме табл. 7.2.

Таблица 7.2. **Частота гомозиготных и гетерозиготных генотипов  
в поколениях инбридинга при учете двух пар аллелей**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Поколение инбридинга | Количество генотипов, % | | | | | | | | |
| AABB | AAbb | aaBB | aabb | AABb | aaBb | AaBB | Aabb | AaBb |
| Р | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| I1 | 6,25 | 6,25 | 6,25 | 6,25 | 12,50 | 12,50 | 12,50 | 12,50 | 25,0 |
| I2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I6 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Какой процент растений в I2будет гетерозиготным по двум парам аллелей?
2. Какой процент растений в I3 может быть гомозиготным по двум парам аллелей?
3. Чему равен коэффициент инбридинга в I4?
4. Сколько растений в I5 могут иметь оба признака в рецессивном состоянии (%)?
5. Сколько инбредных линий может быть выявлено по данным генам у тыквы?

Задание 237.

У кукурузы доминантные признаки (высокорослость и устойчивость к ржавчине) наследуются независимо.

Растение кукурузы, гетерозиготное по двум парам аллелей, размножали при принудительном самоопылении до пятого поколения.

Рассчитайте процент растений, гетерозиготных по двум парам аллелей, по одной паре и гомозиготных по двум парам аллелей в каждом инбредном поколении.

1. Какой процент гетерозиготных по двум парам аллелей растений может быть в I3?
2. Какой процент растений, гомозиготных по двум парам доминантных аллелей, может быть в I4?
3. Какой процент растений I4 может иметь только одну пару генов в гомозиготном состоянии?
4. Чему равен коэффициент инбридинга в I5?
5. Сколько инбредных линий может быть выявлено в данной популяции?

Задание 238.

Растение кабачка, гетерозиготное по двум парам аллелей, принудительно самоопыляли до седьмого поколения.

Рассчитайте для каждого инбредного поколения процент растений, гомозиготных по обеим парам аллелей, по одной паре и гетерозиготных по двум парам аллелей.

1. Какой процент растений в I4будет гетерозиготным по двум парам аллелей?
2. Какой процент растений в I6 может быть гомозиготным по двум парам аллелей?
3. Чему равен коэффициент инбридинга в I6?
4. Сколько растений в I7 могут иметь оба признака в рецессивном состоянии (%)?
5. Сколько инбредных линий может быть выявлено в данной популяции?

**Задание 239.**

У табака доминантные признаки (устойчивость к мучнистой росе и корневой гнили) наследуются независимо.

Растения, гетерозиготные по генам, детерминирующим данные признаки, размножали до I8 при принудительном самоопылении.

Рассчитайте процент растений, гомозиготных и гетерозиготных по аллелям данных генов, в каждом инбредном поколении.

1. Какой процент растений в I3может быть гомозиготным по обоим доминантным генам?
2. Какой процент растений в I5 будет иметь оба признака в рецессивном состоянии?
3. Какой процент растений в I6 может быть гетерозиготным по обеим парам аллелей?
4. Какой процент растений в I8 будет устойчивым к мучнистой росе и корневой гнили?
5. Сколько инбредных линий можно выделить в данной гибридной популяции?

Задание 240.

У земляники два признака (наличие усов и окраска ягод) наследуются независимо.

В результате переопыления растений, не образующих усы и имеющих красные ягоды, пыльцой растений, образующих усы и имеющих белую окраску ягод, получили 50 растений F1 с розовыми ягодами и усами. Затем их размножали при принудительном самоопылении до I8.

Рассчитайте процент растений, гомозиготных и гетерозиготных по аллелям данных генов, в каждом инбредном поколении.

1. Какой процент растений в I2может дать нерасщепляющееся потомство?
2. Какой процент растений в I3 может быть гетерозиготным по обеим парам аллелей?
3. Какой процент растений в I5 будет иметь красные ягоды и не образовывать усы?
4. Какой процент растений в I8 может иметь оба признака в рецессивном состоянии?
5. Сколько инбредных гомозиготных линий может быть выделено в данной гибридной популяции?

7.2. Гетерозис. Анализ початков самоопыленных  
родительских линий и гибридов первого поколения кукурузы

Явления увеличения мощности и жизнеспособности, повышения продуктивности гибридов первого поколения по сравнению с их родительскими формами называются *гетерозисом*.

Эффект гетерозиса максимально проявляется только в первом поколении, резко снижаясь уже во втором и последующих поколениях. Учитывая это, в производстве используют только гибриды F1.

Повышенная урожайность гетерозисных гибридов – самое главное их преимущество. Прибавка урожая у гетерозисных гибридов первого поколения в среднем по всем сельскохозяйственным культурам составляет 15–30 %.

Гетерозис у растений подразделяется на следующие типы:

* репродуктивный;
* соматический;
* приспособительный.

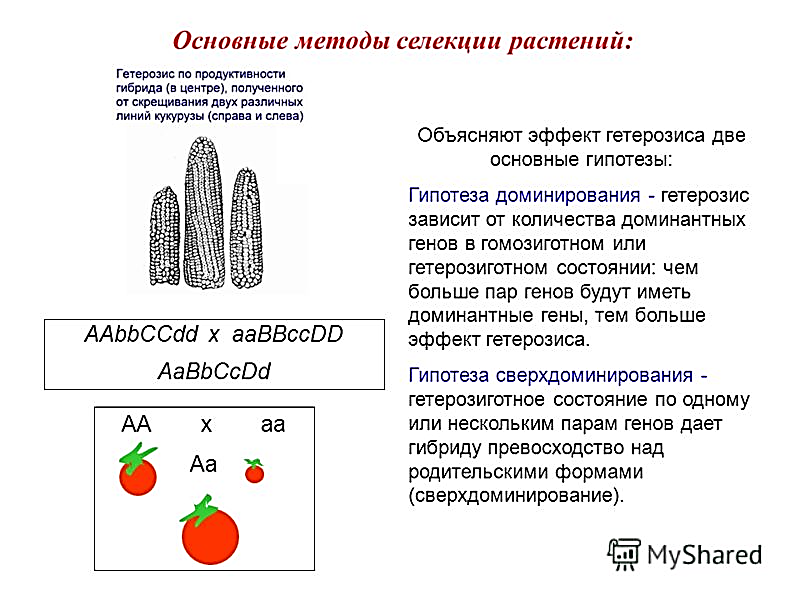
**Репродуктивный** гетерозис выражается в лучшем развитии органов размножения растений, повышенной фертильности, большем урожае плодов и семян (рис. 7.2).

При **соматическом** гетерозисе у гибридных организмов наблюдается более мощное развитие вегетативных частей – стеблей, побегов, листьев, корнеплодов, клубней.

**Приспособительный (адаптивный)** гетерозис выражается в повышенной жизнеспособности гибридов – в повышении зимостойкости, засухоустойчивости, сокращении вегетативного периода.

В современной генетике существует несколько теорий, объясняющих явления инбредной депрессии и гетерозиса:

* теория доминирования;
* теория сверхдоминирования;
* гипотеза генетического баланса.



*1 2 3*

Рис. 7.2. Репродуктивный гетерозис у кукурузы:  
початки родительских растений (*1*, *3*) и гибрида F1 (*2*)

В основе теории доминирования лежат представления о том, что, благоприятно действующие на рост и развитие организма гены становятся доминантными и полудоминантными, а гены, действующие неблагоприятно, – рецессивными.

Теория сверхдоминирования (гипотеза гетерозиготности) объясняет эффект гетерозиса аллельным взаимодействием генов в гетерозиготном состоянии. Основу этой теории составляет положение о том, что в результате взаимодействия пары аллелей в гетерозиготном состоянии гибрид должен иметь большую мощность по сравнению с гомозиготными формами как по доминантным, так и по рецессивным генам (AA < Aa > aa).

Для объяснения явления гетерозиса имеется также *гипотеза генетического баланса*, при котором у гибридных организмов воссоздаются недостающие элементы за счет различных типов взаимодействия генетических, цитоплазматических, физиологических и биохимических факторов между собой и с условиями окружающей среды.

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

*Гипотетический гетерозис* (Ггип) – отношение превышения данного признака над средним его показателем у родительских форм к среднему показателю у родительских форм:

Ггип, % = ∙ 100, (7.2)

где F1 − среднее значение признака первого поколения гибридов;

Рср – среднее значение признака обоих родителей.

*Истинный гетерозис* (Гист) – способность гибридов F1 превосходить по данному признаку лучшую из родительских форм:

Гист, % = ∙ 100, (7.3)

где Рл − значение признака лучшего родителя.

Истинный и гипотетический гетерозис не свидетельствует о практической ценности данной гибридной комбинации. Эту ценность определяет в первую очередь конкурсный гетерозис.

*Конкурсный гетерозис* (Гконк) показывает, на сколько процентов растения гибрида F1 по значению данного признака превышают лучший районированный сорт или гибрид.

Конкурсный гетерозис вычисляют по следующей формуле:

Гконк, % = ∙ 100, (7.4)

где F1 − среднее значение признака первого поколения гибридов;

К – 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.

***Коэффициент доминирования*** (Н) характеризует степень фенотипического проявления одного или нескольких доминантных генов, детерминирующих развитие данного количественного признака, показывает, во сколько раз величина признака у растений F1 превышает среднее его значение у растений родительских сортов.

Коэффициент доминирования рассчитывают по следующей формуле:

Н = . (7.5)

В зависимости от значения коэффициента доминирования устанавливают степень и характер проявления количественного признака у гибридов F1 и возможность проявления гетерозиса в данной комбинации.

*Сверхдоминирование* родительской формы с меньшей величиной признака: Н < −1.

*Полное доминирование* родительской формы с меньшей величиной признака: Н = −1.

*Неполное доминирование* родительской формы с меньшей величиной признака: −1 < Н < 0.

*Промежуточный характер* наследования: Н = 0.

*Неполное доминирование* родительской формы с большей величиной признака: +1 > Н > 0.

*Полное доминирование* лучшей родительской формы с большей величиной признака: Н = +1.

*Сверхдоминирование* − гетерозис: Н > +1.

Пример. Провести анализ початков самоопыленных родительских линий и гибридов первого поколения по следующим показателям: длина початка, число рядков в початке, число зерен в рядке, число зерен и масса зерен с початка.

1. Определите гипотетический гетерозис по изучаемым признакам.
2. Определите истинный гетерозис по изучаемым признакам.
3. Определите конкурсный гетерозис по изучаемым признакам, если длина початка у стандарта (контроля) составляет 20 см, число рядков в початке − 14, число зерен в рядке − 40, число зерен в початке − 560, масса зерна в початке – 165 г.
4. Укажите, за счет каких элементов структуры достигается гетерозис по массе зерна с початка.
5. Определите степень наследования признаков по коэффициенту доминирования.

*Решение и ответы.*

*1. Анализируем початки самоопыленных линий и гибридов первого поколения* *по изучаемым признакам. Результаты измерений и расчетов заносим в табл. 7.3.*

Таблица 7.3. **Определение гипотетического, истинного и конкурсного гетерозиса  
у гибридов F1 кукурузы**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Признаки | Родительские линии Р | | Гиб- рид F1 | Сорт-контроль | Гетерозис | | |
| материнская | отцовская | гипотетический | ис- тинный | конкурсный |
| Длина початка, см | 15 | 12 | 25 | 20 | 85,2 | 66,7 | 25,0 |
| Число рядков в початке | 14 | 14 | 14 | 14 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Число зерен в рядке | 26 | 22 | 46 | 40 | 91,7 | 76,9 | 15,0 |
| Число зерен в початке | 364 | 396 | 644 | 560 | 69,5 | 62,6 | 15,0 |
| Масса зерна с початка, г | 95 | 82 | 188 | 165 | 112,4 | 97,9 | 13,9 |

*2. На основании полученных данных определяем гипотетический гетерозис по изучаемым признакам по формуле (7.2).*

Ггип, % = ∙ 100 = 85,2 %;

Ггип, % = ∙ 100 = 0,0 %;

Ггип, % = ∙ 100 = 91,7 %;

Ггип, % = ∙ 100 = 69,5 %;

Ггип, % = ∙ 100 = 112,4 %.

*3. На основании полученных данных определяем истинный гетерозис по изучаемым признакам по формуле (7.3).*

Гист, % = ∙ 100 = 66,7 %;

Гист, % = ∙ 100 = 0,0 %;

Гист, % = ∙ 100 = 76,9 %;

Гист, % = ∙ 100 = 62,6 %;

Гист, % = ∙ 100 = 97,1 %.

*4. Конкурсный гетерозис определяем с учетом имеющейся характеристики районированного сорта или гибрида по формуле (7.4).*

Гконк, % = ∙ 100 = 25,0 %;

Гконк, % = ∙ 100 = 0,0 %;

Гконк, % = ∙ 100 = 15,0 %;

Гконк, % = ∙ 100 = 15,0 %;

Гконк, % = ∙ 100 = 13,9 %.

*5. Гетерозис по массе зерна с початка у гибридов F1 кукурузы (112,4 и 97,9 % соответственно гипотетический и истинный) достигается за счет длины початка, числа зерен в рядке и числа зерен в початке. Показатель числа рядков в початке имеет уровень гетерозиса 0 %, так как данный признак (14 рядов зерен) удовлетворяет запросы производства и дальнейшей селекционной работы с ним не проводится.*

*6. Определяем коэффициент доминирования у гибридов F1 кукурузы по формуле (7.5).*

Н = = 7,7 (сверхдоминирование − гетерозис);

Н = = 0 (промежуточное наследование);

Н = = 11,0 (сверхдоминирование − гетерозис);

Н = = 16,5 (сверхдоминирование − гетерозис);

Н = = 15,3 (сверхдоминирование − гетерозис).

Урожайность зерна в F2 у гетерозисных гибридов можно определить по формуле:

F2 = F1 − , (7.6)

где F2 – вычисляемая величина урожая гибридов второго поколения;

F1 – фактически полученный урожай гибридов первого поколения;

P – средняя урожайность скрещиваемых самоопыленных линий;

n – число самоопыленных линий, входящих в состав гибрида.

Задания

Задание 241.

У люцерны используют соматический гетерозис, и гибриды F1 оценивают по урожайности сена с единицы площади. При скрещивании сортов Херсонская и Черниговская урожайность сена у гибридов F1 составила 7,6 т/га, при этом материнский сорт Херсонская (он же лучший из числа районированных) дал урожайность 5,6 т/га, а Черниговская – 5,2 т/га.

1. Чему равен коэффициент доминирования?
2. Определите степень и характер наследования урожайности сена по коэффициенту доминирования у гибридов F1 в данной комбинации.
3. Чему равен гипотетический гетерозис?
4. Чему равен истинный гетерозис?
5. Чему равен конкурсный гетерозис?

Задание 242.

При скрещивании стерильной линии сорго Редбайн с сортом Кармен растения имели следующую высоту: стерильная линия Редбайн – 104 см, сорт Кармен – 127 см, F1 – 157 см, районированный сорт Норгум – 108 см.

1. Определите коэффициент доминирования для данной комбинации по признаку высоты растений.
2. Определите степень и характер наследования высоты растений по коэффициенту доминирования у гибридов F1 в данной комбинации.
3. Чему равен гипотетический гетерозис?
4. Чему равен истинный гетерозис?
5. Чему равен конкурсный гетерозис?

Задание 243.

У белокачанной капусты широко используется соматический гетерозис.

Гибрид F1, полученный от скрещивания сортов Капорка и Золотой гектар, дал урожайность с делянки 71 кг, в то время как материнский сорт Капорка – 53 кг, Золотой гектар – 61 кг, а районированный сорт Номер первый грибовский – 62 кг.

1. Чему равен коэффициент доминирования?
2. Укажите степень и характер наследования урожайности по коэффициенту доминирования у гибридов F1 в данной комбинации.
3. Чему равен гипотетический гетерозис?
4. Чему равен истинный гетерозис?
5. Чему равен конкурсный гетерозис?

Задание 244.

У озимой ржи используют репродуктивный гетерозис, и гибриды оцениваются по массе зерна с единицы площади.

У гибрида F1, полученного от скрещивания сортов Стальрог и Вятка, масса зерна составила 664 г/м2, у сорта Стальрог – 436, у отцовского сорта Вятка (он же и лучший из районированных) – 516 г/м2.

1. Чему равен коэффициент доминирования?
2. Укажите степень и характер наследования массы зерна с единицы площади по коэффициенту доминирования у гибридов F1 в данной комбинации.
3. Чему равен гипотетический гетерозис?
4. Чему равен истинный гетерозис?
5. Чему равен конкурсный гетерозис?

Задание 245.

У кукурузы используют репродуктивный гетерозис, и гибриды оцениваются по массе зерна с початка.

У гибрида F1, полученного от скрещивания родительских компонентов А и В, масса зерна с початка составила 195 г, у материнского компонента А – 83, у отцовского компонента В (он же и лучший из районированных) − 98 г.

1. Чему равен коэффициент доминирования?
2. Укажите степень и характер наследования признака по коэффициенту доминирования у гибридов F1 в данной комбинации.
3. Чему равен гипотетический гетерозис?
4. Чему равен истинный гетерозис?
5. Чему равен конкурсный гетерозис?

Задание 246.

При скрещивании стерильной линии сорго Ефремовское с сортом Кармен масса 1000 зерен была следующей: у линии Ефремовское – 25 г, у сорта Кармен – 28,8 г, у F1 – 29,8 г, у районированного сорта Норгум – 25,7 г.

1. Чему равен коэффициент доминирования?
2. Укажите степень и характер проявления признака крупности зерна по коэффициенту доминирования у гибридов F1 в данной комбинации.
3. Чему равен гипотетический гетерозис?
4. Чему равен истинный гетерозис?
5. Чему равен конкурсный гетерозис?

Задание 247.

У белокачанной капусты широко используется соматический гетерозис.

Гибрид F1, полученный от скрещивания линии № 2 с сортом Золотой гектар, дал урожайность с делянки 88 кг, в то время как материнская линия № 2 – 36 кг, сорт Золотой гектар – 63 кг, а районированный сорт Номер первый грибовский – 62 кг.

1. Чему равен коэффициент доминирования?
2. Укажите степень и характер наследования урожайности по коэффициенту доминирования у гибридов F1 в данной комбинации.
3. Чему равен гипотетический гетерозис?
4. Чему равен истинный гетерозис?
5. Чему равен конкурсный гетерозис?

Задание 248.

У озимой ржи используют репродуктивный гетерозис, и гибриды оцениваются по массе зерна с единицы площади.

У гибрида F1, полученного от скрещивания сортов Доминант и Вятка, масса зерна составила 592 г/м2, у материнского сорта Доминант – 356, у отцовского сорта Вятка (он же и лучший из районированных) − 516 г/м2.

1. Чему равен коэффициент доминирования?
2. Укажите степень и характер наследования массы зерна по коэффициенту доминирования у гибридов F1 в данной комбинации.
3. Чему равен гипотетический гетерозис?
4. Чему равен истинный гетерозис?
5. Чему равен конкурсный гетерозис?

Задание 249.

При скрещивании стерильной линии сорго Редбайн с сортом Кубанское число зерен с главной метелки было следующим: у линии Редбайн – 1711, у сорта Кубанское – 2068, у F1 – 2328, у районированного сорта Норгум – 2095.

1. Чему равен коэффициент доминирования?
2. Укажите степень и характер наследования числа зерен в главной метелке по коэффициенту доминирования у гибридов F1 в данной комбинации.
3. Чему равен гипотетический гетерозис?
4. Чему равен истинный гетерозис?
5. Чему равен конкурсный гетерозис?

Задание 250.

При скрещивании стерильной линии сорго Рилайенс с сортом ВИР 21 получили следующие данные по массе зерна с главной метелки: линия Рилайенс – 41 г, сорт ВИР 21 – 54 г, F1 – 67 г, районированный сорт Норгум – 57 г.

1. Чему равен коэффициент доминирования?
2. Укажите степень и характер наследования массы зерна с главной метелки по коэффициенту доминирования у гибридов F1 в данной комбинации.
3. Чему равен гипотетический гетерозис?
4. Чему равен истинный гетерозис?
5. Чему равен конкурсный гетерозис?

8. Генетика популяций

***Популяцией*** называется совокупность особей одного вида, занимающих определенный ареал, свободно скрещивающихся друг с другом и изолированных от других популяций данного вида и дающих плодовитое потомство.

***Генетика популяций*** − раздел генетики, изучающий закономерности наследования признаков и генетическую структуру популяции,  
т. е. частоту встречаемости в ней растений или животных, имеющих все возможные сочетания генов − АА, Аа, аа или AABB, АаВВ, ААВb, ааВВ, AAbb, АаВb, ааВВ, aabb, а также частоту встречаемости соответствующих аллелей.

Генетическая структура популяции того или иного вида зависит от ряда факторов, в том числе и от способа размножения и опыления. Впервые генетическая структура популяции самоопыляющихся растений была изучена В. Иоганнсеном в 1903 г. на фасоли.

Большинство видов растений и животных в популяциях размножаются половым путем при свободном скрещивании, обеспечивающем равновероятную встречаемость гамет.

Равновероятная встречаемость гамет при свободном переопылении всех растений в популяции называется ***панмиксией***, а такая популяция называется ***панмиктической***.

Например, растения одного сорта ржи, растущие на одном поле при оптимальных условиях опыления, представляют собой панмиктическую популяцию, в которой при перекрестном опылении равновероятна встречаемость любых гамет.

Вся генетическая информация (совокупность генов) данной популяции называется ее ***генофондом***. Для упрощения анализа структуры популяции принято рассматривать не весь генофонд, а одну пару аллелей (например, А и а).

В понятие ***генетической структуры популяции*** включают частоты аллелей и частоты генотипов. Частоты аллелей определяют или в долях единицы (0,6 А и 0,4 а), или в процентах (60 % А и 40 % а). Частоты генотипов также определяют или в долях единицы (0,36 АА : 0,48 Аа : 0,16 аа), или в процентах (36 % АА : 48 % Аа : 16 % аа).

Генетическая структура панмиктической популяции может быть в состоянии равновесия и не изменяться в поколениях или претерпевать динамические изменения под воздействием мутагенеза, отбора и других причин.

**8.1. Закон Харди − Вайнберга**

Генетическая структура популяции, определяемая частотой распределения генотипов, подчиняется ***закону Харди − Вайнберга***, установленному ими в 1908 г.

Условия, при которых действует закон Харди − Вайнберга:

* неограниченно большая популяция;
* отсутствие факторов, изменяющих концентрацию генов;
* свободное скрещивание особей;
* отсутствие отбора, мутаций данных генов и миграции;
* численные соотношения аллелей А и а, численные соотношения генотипов АА, аа и Аа остаются из поколения в поколение постоянными.

Условия, при соблюдении которых действует этот закон, практически невозможны ни в одной реально существующей популяции, поэтому его следует рассматривать как закон, применимый для идеальной (модельной) популяции, с которой можно сопоставить конкретные природные и экспериментальные популяции.

Закон Харди − Вайнберга позволяет рассчитать частоты аллелей и генотипов в каждой конкретной панмиктической популяции.

Частоту встречаемости гамет с доминантным аллелем принято обозначать р – рА, частоту встречаемости рецессивного аллеля данного гена q – qа. Таким образом, частоты данных аллелей в популяции можно выразить следующей формулой:

pА + qа = l (или 100 %). (8.1)

Зная частоту только одного аллеля в популяции, по этой формуле можно определить частоту другого аллеля.

В панмиктической популяции встречаемость гамет равновероятна, поэтому можно установить и частоты генотипов (табл. 8.1).

Таблица 8.1. **Возможные комбинации гамет в популяции   
при свободном скрещивании**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ♀ | ♂ | |
| pA | qa |
| pA | p2AA | pqAa |
| qa | pqAa | q2aa |

Суммируя данные частоты генотипов, образующихся в результате равновероятной встречаемости гамет, Харди и Вайнберг вывели формулу частоты генотипов в панмиктической популяции:

р2AA + 2pqAa + q2aa = l. (8.2)

Данная формула позволяет рассчитать частоты аллелей и генотипов в каждой конкретной панмиктической популяции.

При полном доминировании признака можно определить частоту рецессивного генотипа: он будет гомозиготен по аллелю а − q2aa, поэтому можно определить частоту рецессивного аллеля a по формуле

qa = . (8.3)

Зная частоту рецессивного аллеля, можно вычислить: частоту доминантного аллеля, частоту доминантного гомозиготного генотипа, частоту гетерозиготного генотипа по следующим формулам:

рА = 1 – qa; (8.4)

р2АА = (рА)2; (8.5)

2pqAa = 2 ∙ pA ∙ qa. (8.6)

В панмиктической популяции из поколения в поколение будет сохраняться генетическое равновесие, т. е. будут сохраняться частоты генов и генотипов, присущие исходной популяции.

Равновесие в популяции может нарушаться под влиянием мутаций, отбора, изменения численности популяции, избирательности оплодотворения и др.

**Пример.** У подсолнечника наличие панцирного слоя в семянке доминирует над отсутствием его и наследуется моногенно. При апробации установлено, что 4 % семянок не имеют панцирного слоя.

1. Какова частота рецессивного аллеля в популяции?
2. Какова частота доминантного аллеля в популяции?
3. Сколько семянок является доминантными гомозиготами (%)?
4. Сколько семянок является гетерозиготами (%)?
5. Сколько гетерозиготных семянок (%) будет в другой панмиктической популяции, при апробации которой установлено, что беспанцирных 12,25 %?

*Решение и ответы.*

Подсолнечник

Наличие панцирного слоя у семянок.

А – наличие панцирного слоя;

а – отсутствие панцирного слоя.

q2 = 4 % (0,04).

*1. Определяем частоту рецессивного аллеля в популяции по формуле (8.3):*

qa = = = 0,2.

*2. Определяем частоту доминантного аллеля в популяции по формуле (8.4):*

рА = 1 − qa = 1 − 0,2 = 0,8.

*3. Определяем количество доминантных гомозигот в популяции по формуле (8.5):*

р2АА = (рА)2 = 0,82 = 0,64 (64 %).

*4. Определяем количество гетерозигот в популяции по формуле (8.6):*

2pqAa = 2 ∙ 0,8 ∙ 0,2 = 0,32 (32 %).

*5. Рассчитываем долю гетерозигот в другой панмиктической популяции по формулам (8.3), (8.4) и (8.5):*

q2аа = 12,25 % (0,1225).

qa = = = 0,35.

рА = 1 − qa = 1 − 0,35 = 0,65.

2pqAa = 2 ∙ 0,35 ∙ 0,65 = 0,455 (45,5 %).

Задания

Задание 251.

У сорта кукурузы растения-альбиносы (rr) встречаются с частотой 0,0025.

1. Какова частота рецессивного аллеля?
2. Какова частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений являются доминантными гомозиготами (%)?
4. Сколько растений являются гетерозиготами (%).
5. Сколько растений в этой популяции могут иметь зеленую окраску растений (%)?

**Задание 252.**

Популяция калины состоит из 60 % особей с доминантным признаком и 40 % − с рецессивным признаком и генотипом mm.

1. Какова частота рецессивного аллеля?
2. Какова частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений являются доминантными гомозиготами (%)?
4. Сколько растений являются гетерозиготами (%).
5. Сколько растений являются рецессивными гомозиготами (%)?

Задание 253.

У свеклы карминово-красная окраска подсемядольного колена доминирует над зеленой.

В панмиктической популяции свеклы гомозиготные особи с генотипом аа составляют 1 %.

1. Какова частота рецессивного аллеля?
2. Какова частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений являются доминантными гомозиготами (%)?
4. Сколько растений являются гетерозиготами (%).
5. Сколько растений в этой популяции могут иметь карминово-красную окраску подсемядольного колена (%)?

**Задание 254.**

У флоксов белая окраска венчика доминирует над кремовой.

При анализе панмиктической популяции флоксов было обнаружено 5 % растений с кремовой окраской венчика. Учтено 800 растений.

1. Какова частота рецессивного аллеля?
2. Какова частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений являются доминантными гомозиготами (%)?
4. Определите процент растений с генотипом Аа.
5. Сколько растений имеют белый венчик?

**Задание 255.**

У гречихи ярко-красная окраска растения неполно доминирует над зеленой. Гетерозиготы по данным генам имеют розовую окраску.

В панмиктической популяции 45 растений было ярко-красных. Учтено 840 растений.

1. Чему равна частота рецессивного аллеля?
2. Чему равна частота доминантного аллеля?
3. Сколько растений являются рецессивными гомозиготами (%)?
4. Какой процент растений является гетерозиготами?
5. Сколько розовых растений в панмиктической популяции?

**Задание 256.**

У ржи желтая окраска зерновки доминирует над зеленой.

При апробации сорта Верасень установили, что 36 % растений были желтозерными, остальные − зеленозерными.

1. Чему равна частота рецессивного аллеля?
2. Чему равна частота доминантного аллеля?
3. Сколько растений являются доминантными гомозиготами (%)?
4. Сколько растений являются гетерозиготами (%)?
5. Чему равен процент доминантных гомозигот в панмиктической популяции сорта Спадчына, если при апробации установлено, что в посеве содержится 84 % желтозерных растений?

**Задание 257.**

У клевера лугового позднеспелость доминирует над скороспелостью и наследуется моногенно.

У сорта Витебчанин при апробации установлено, что 9 % растений являются скороспелыми (имеют число междоузлий меньше семи).

1. Определите частоту рецессивного аллеля.
2. Определите частоту доминантного аллеля.
3. Сколько растений являются доминантными гомозиготами (%)?
4. Сколько растений являются гетерозиготными (%)?
5. При апробации местного стародавнего сорта клевера Слуцкий раннеспелый местный установлено, что скороспелых растений в нем содержится 0,81 %. Определите процент гомозиготных позднеспелых растений.

**Задание 258.**

У дикорастущей земляники красная окраска ягод доминирует над розовой.

В популяции земляники из 1230 растений 36 имеют белую окраску ягод.

1. Сколько растений имеют рецессивный признак (%)?
2. Какова частота рецессивного аллеля в данной панмиктической популяции?
3. Какова частота доминантного аллеля в популяции?
4. Сколько растений являются доминантными гомозиготами?
5. Сколько растений являются гетерозиготами?

**Задание 259.**

У ржи опушение соломины под колосом доминирует над отсутствием опушения и наследуется моногенно.

В популяции ржи сорта Вятка при анализе апробационного снопа обнаружено четыре растения из 500, у которых отсутствовало опушение под колосом.

1. Сколько растений в данной панмиктической популяции являются рецессивными гомозиготами (%)?
2. Какова частота рецессивного аллеля в популяции?
3. Какова частота доминантного аллеля в популяции?
4. Сколько доминантных гомозигот в данной популяции?
5. Сколько гетерозиготных растений в данной популяции?

**Задание 260.**

У кукурузы крахмалистый эндосперм является доминантным по отношению к восковидному и наследуется моногенно.

При апробации сорта с крахмалистым эндоспермом было обнаружено 16 % растений с восковидным эндоспермом. Семена данной панмиктической популяции были использованы на посев. Произведите генетический анализ популяции следующего поколения.

1. Какова частота рецессивного аллеля в популяции?
2. Какова частота доминантного аллеля?
3. Сколько растений будут доминантными гомозиготами (%)?
4. Сколько растений являются гетерозиготами (%)?
5. При анализе семян другой популяции кукурузы обнаружено  
   25 % семян с восковидным эндоспермом. Какой процент гетерозиготных семян содержится в данной популяции?

**тестовые задания**

1. *Генетика – это наука, изучающая*:

1. наследственность живых организмов;
2. изменчивость живых организмов;
3. наследственность и изменчивость живых организмов;
4. типы взаимодействия генов;
5. типы расщепления в скрещиваниях.

2. *Цитология – это наука*:

1. о клетке;
2. о способах деления клетки;
3. о ядре;
4. об органоидах;
5. о хромосомах и локализованных в них генах.

3. *Митотический цикл клетки включает*:

1. пресинтетический, синтетический и постсинтетический периоды;
2. четыре фазы митоза;
3. интерфазу и четыре фазы митоза;
4. интерфазу и редукционное деление;
5. интерфазу и эквационное деление.

4. *Репликация молекул ДНК происходит*:

1. в пресинтетический период;
2. в синтетический период;
3. в постсинтетический период;
4. в профазе;
5. в телофазе.

5. *Последовательность фаз в процессе митоза следующая*:

1. телофаза → анафаза → метафаза → профаза;
2. метафаза → анафаза → телофаза → профаза;
3. профаза → метафаза → анафаза → телофаза;
4. анафаза → телофаза → профаза → метафаза;
5. телофаза → анафаза → метафаза → профаза.

6. *Укажите, в какой фазе митоза лучше всего видны хромосомы и можно подсчитать их количество*:

1. в телофазе;
2. в метафазе;
3. в анафазе;
4. в профазе;
5. в интерфазе.

7. *Укажите, в какой фазе митоза начинает формироваться веретено деления*:

1. в телофазе;
2. в метафазе;
3. в анафазе;
4. в профазе;
5. в интерфазе.

8. *Укажите, в какой фазе митоза хроматиды называют сестринскими хромосомами*:

1. в телофазе;
2. в метафазе;
3. в анафазе;
4. в профазе;
5. в интерфазе.

9. *Укажите, в какой фазе митоза восстанавливается клеточная стенка*:

1. в телофазе;
2. в метафазе;
3. в анафазе;
4. в профазе;
5. в интерфазе.

10. *В результате митоза образуются клетки*:

1. гаплоидные;
2. диплоидные;
3. триплоидные;
4. тетраплоидные;
5. полиплоидные.

11. *Первое деление мейоза называется*:

1. простым;
2. сложным;
3. эквационным;
4. редукционным;
5. интерфазным.

12. *Второе деление мейоза называется*:

1. простым;
2. сложным;
3. эквационным;
4. редукционным;
5. интерфазным.

13. *Фаза мейоза I, которая включает стадии лептонема, зигонема, пахинема, диплонема, диакинез, называется*:

1. телофаза;
2. метафаза;
3. анафаза;
4. профаза;
5. интерфаза.

14. *Перекрест гомологических хромосом и обмен соответствующими участками между их хроматидами называется*:

1. конъюгацией;
2. гибридизацией;
3. сцеплением;
4. кроссинговером;
5. мутацией.

15. *Укажите, в какой стадии мейоза I образуются биваленты*:

1. лептонеме;
2. зигонеме;
3. пахинеме;
4. диплонеме;
5. диакинезе.

16. *Укажите, в какой стадии мейоза I происходит кроссинговер*:

1. лептонеме;
2. зигонеме;
3. пахинеме;
4. диплонеме;
5. диакинезе.

17. *У ржи посевной (2n = 14) образуется*:

1. 7 бивалентов;
2. 14 бивалентов;
3. 21 бивалент;
4. 28 бивалентов;
5. 56 бивалентов.

18. *Независимое расхождение хромосом к полюсам клетки осуществляется*:

1. в профазу;
2. в метафазу;
3. в анафазу митоза;
4. в анафазу мейоза I;
5. в анафазу мейоза II.

19. *В каждой клетке диады содержится*:

1. 8n хромосом;
2. 4n хромосом;
3. 3n хромосом;
4. 2n хромосом;
5. n хромосом.

20. *В каждой клетке тетрады содержится*:

1. 8n хромосом;
2. 4n хромосом;
3. 3n хромосом;
4. 2n хромосом;
5. n хромосом.

21. *Укажите, какие клетки образуются в результате мейоза*:

1. гаплоидные;
2. диплоидные;
3. триплоидные;
4. тетраплоидные;
5. полиплоидные.

22. *Тип деления клетки, который способствует комбинационной изменчивости*:

1. митоз;
2. мейоз;
3. амитоз;
4. эндомитоз;
5. атипический митоз.

23. *Совокупность всех признаков и свойств организма – это*:

1. геном;
2. генофонд;
3. генотип;
4. кариотип;
5. фенотип.

24. *Совокупность генов, принадлежащих определенному организму, − это*:

1. геном;
2. генофонд;
3. генотип;
4. кариотип;
5. фенотип.

25. *Основные закономерности наследования были установлены*:

1. Ч. Дарвином;
2. Г. Менделем;
3. Т. Морганом;
4. Г. Де-Фризом;
5. К. Корренсом.

26. *Метод, который применил Г. Мендель для изучения наследования признаков*:

1. цитологический;
2. онтогенетический;
3. гибридологический;
4. статистический;
5. популяционный.

27. *Объектом исследования Г. Мендель выбрал*:

1. фасоль;
2. горох;
3. лабораторную мышь;
4. плодовую муху дрозофилу;
5. человека.

28. *Укажите, сколько пар признаков изучал Г. Мендель в своих опытах*:

1. три;
2. пять;
3. семь;
4. десять;
5. более десяти.

29. *Первый закон Менделя называется законом*:

1. чистоты гамет;
2. независимого наследования;
3. единообразия гибридов F1;
4. расщепления;
5. сцепления.

30. *При самоопылении гибридов первого поколения в F2 проявляются признаки обеих родительских особей в определенных числовых соотношениях: ¾ доминантных и ¼ рецессивных. Это закон*:

1. чистоты гамет;
2. независимого наследования;
3. единообразия гибридов F1;
4. расщепления;
5. сцепления.

31. *Моногибридным называется такое скрещивание, при котором родительские формы*:

1. принадлежат одному виду;
2. являются близкими родственниками;
3. отличаются друг от друга по одной паре альтернативных признаков;
4. фенотипически не отличаются друг от друга;
5. генотипически не отличаются друг от друга.

32. *При моногибридном скрещивании особей с альтернативными признаками (при полном доминировании) в F2 наблюдается следующее расщепление по генотипу*:

1. 3:1;
2. 1:2:1;
3. 1:1:1:1;
4. 1:1;
5. 9:3:3:1.

33. *При моногибридном скрещивании особей с альтернативными признаками (при полном доминировании) в F2 наблюдается следующее расщепление по фенотипу*:

1. 3:1;
2. 1:2:1;
3. 1:1:1:1;
4. 1:1;
5. 9:3:3:1.

34. *При неполном доминировании в моногибридном скрещивании в F2 наблюдается следующее расщепление по генотипу и фенотипу*:

1. 3:1;
2. 1:2:1;
3. 1:1:1:1;
4. 1:1;
5. 9:3:3:1.

35. *Особи, которые образуют один тип гамет и в потомстве которых не обнаруживается расщепление по соответствующему признаку, называются*:

1. гибридными;
2. гетерозисными;
3. гомозиготными;
4. гетерозиготными;
5. гемизиготными.

36. *Особи, которые образуют два и более типа гамет и в потомстве которых обнаруживается расщепление по соответствующему признаку, называются*:

1. гибридными;
2. гетерозисными;
3. гомозиготными;
4. гетерозиготными;
5. гемизиготными.

37. *К анализирующему относят скрещивание типа*:

1. Аа × АА;
2. Аа × аа;
3. аа × АА;
4. АА × аа;
5. Аа × Аа.

38. *К возвратному относят скрещивание типа*:

1. Аа × АА;
2. АА × Аа;
3. аа × АА;
4. АА × аа;
5. Аа × Аа.

39. *Укажите, сколько типов гамет образует особь с генотипом Аа*:

1. один;
2. два;
3. три;
4. четыре;
5. восемь.

40. *Укажите, сколько типов гамет образует особь с генотипом ААbb*:

1. один;
2. два;
3. три;
4. четыре;
5. восемь.

41. *Укажите, сколько типов гамет образует особь с генотипом AaBbCc*:

1. один;
2. два;
3. три;
4. четыре;
5. восемь.

42. *Скрещивание, при котором родительские особи различаются по двум парам аллелей, называется*:

1. моногибридным;
2. дигибридным;
3. тригибридным;
4. тетрагибридным;
5. полигибридным.

43. *Расщепление по фенотипу 9:3:3:1 при дигибридном скрещивании при полном доминировании проявляется в том случае, если гены расположены*:

1. в двух парах хромосом;
2. в одной паре хромосом;
3. в Х-хромосоме;
4. в Y-хромосоме;
5. в цитоплазме.

44. *Расщепление по фенотипу 27:9:9:9:3:3:3:1 наблюдается*:

1. при моногибридном скрещивании;
2. при дигибридном скрещивании;
3. при тригибридном скрещивании;
4. при тетрагибридном скрещивании;
5. при сложном скрещивании.

45. *Число генотипических классов в скрещивании можно определить по формуле*:

1. 2n;
2. 3n;
3. 4n;
4. n;
5. n − 1.

46. *Число фенотипических классов в скрещивании можно определить по формуле*:

1. 2n;
2. 3n;
3. 4n;
4. n;
5. n − 1.

47. *Общее число генотипов в скрещивании можно определить по формуле*:

1. 2n;
2. 3n;
3. 4n;
4. n;
5. n − 1.

48. *Каждый признак из одной пары признаков может сочетаться с любым признаком из другой пары. Это закон*:

1. чистоты гамет;
2. независимого наследования;
3. единообразия гибридов F1;
4. расщепления;
5. сцепления.

49. *Скрещивание двух растений пшеницы, различающихся по окраске колоса, – это пример*:

1. моногибридного скрещивания;
2. дигибридного скрещивания;
3. тригибридного скрещивания;
4. тетрагибридного скрещивания;
5. полигибридного скрещивания.

50. *Скрещивание двух растений пшеницы, различающихся по окраске и опушенности колоса, – это пример*:

1. моногибридного скрещивания;
2. дигибридного скрещивания;
3. тригибридного скрещивания;
4. тетрагибридного скрещивания;
5. полигибридного скрещивания.

51. *Скрещивание двух растений пшеницы, различающихся по окраске, опушенности колоса и окраске зерна, – это пример*:

1. моногибридного скрещивания;
2. дигибридного скрещивания;
3. тригибридного скрещивания;
4. тетрагибридного скрещивания;
5. полигибридного скрещивания.

52. *Чтобы оценить степень соответствия фактически полученных в опыте данных по расщеплению с теоретически ожидаемыми, используют*:

1. коэффициент наследования;
2. уровень гетерозиса;
3. коэффициент инбридинга;
4. систему скрещиваний;
5. критерий соответствия.

53. *Аллельные гены расположены*:

1. в одной хромосоме;
2. в Х-хромосоме;
3. в Y-хромосоме;
4. в гомологичных хромосомах;
5. в цитоплазме.

54. *Тип взаимодействия генов, который не относится к аллельному*:

1. полимерия;
2. плейотропия;
3. кодоминирование;
4. неполное доминирование;
5. полное доминирование.

55. *Гомологичными называются парные хромосомы, имеющие*:

1. одинаковую форму, размеры и конъюгирующие в мейозе;
2. одинаковую форму и размеры;
3. различную форму и размеры;
4. конъюгирующие в мейозе;
5. неконъюгирующие в мейозе.

56. *Полным доминированием называется взаимодействие аллельных генов, при котором*:

1. доминантный ген полностью подавляет действие рецессивного;
2. доминантный ген не полностью подавляет действие рецессивного гена и проявляется промежуточный признак;
3. гены равноценны;
4. гены взаимодействуют между собой с появлением новообразований;
5. доминантный ген подавляет действие другого доминантного гена.

57. *Неполным доминированием называется взаимодействие аллельных генов, при котором*:

1. доминантный ген полностью подавляет действие рецессивного;
2. доминантный ген не полностью подавляет действие рецессивного гена и проявляется промежуточный признак;
3. гены равноценны;
4. гены взаимодействуют между собой с появлением новообразований;
5. доминантный ген подавляет действие другого доминантного гена.

58. *Если один ген отвечает за проявление нескольких признаков, то данное явление называется*:

1. полным доминированием;
2. неполным доминированием;
3. кодоминированием;
4. полимерией;
5. плейотропией.

59. *Наследование желтой окраски семян у гороха, опушенности колоса у пшеницы, двурядности у ячменя происходит по типу*:

1. полного доминирования;
2. неполного доминирования;
3. кодоминирования;
4. полимерии;
5. плейотропии.

60. *Наследование розовой окраски цветков у ночной красавицы и львиного зева, овальной формы корнеплодов у свеклы происходит по типу*:

1. полного доминирования;
2. неполного доминирования;
3. кодоминирования;
4. полимерии;
5. плейотропии.

61. *Наследование одновременно темной окраски семенной кожуры, пурпурной окраски цветков и антоцианового пятна у основания прилистников у гороха происходит по типу*:

1. полного доминирования;
2. неполного доминирования;
3. кодоминирования;
4. полимерии;
5. плейотропии.

62. *Негомологичными называются хромосомы*:

1. имеющие одинаковую форму и размеры;
2. имеющие различную форму и размеры;
3. конъюгирующие в мейозе;
4. неконъюгирующие в мейозе;
5. имеющие различную форму, размеры и неконъюгирующие в мейозе.

63. *К неаллельному взаимодействию генов относятся*:

1. полное доминирование и неполное доминирование;
2. комплементарность, эпистаз, полимерия;
3. плейотропия и полимерия;
4. модифицирующее действие генов;
5. сцепление генов.

64. *Вид взаимодействия неаллельных генов, при котором один из генов полностью подавляет действие другого, называется*:

1. эпистазом;
2. полимерией;
3. комплементарностью;
4. модифицирующим действием генов;
5. полным доминированием.

65. *Вид взаимодействия неаллельных генов, при котором у потомков F1 наблюдается проявление нового признака, не характерного для родителей, – это*:

1. эпистаз;
2. полимерия;
3. комплементарность;
4. модифицирующее действие генов;
5. полное доминирование.

66. *Выщепление в F1 потомков с более сильным или более слабым выражением признака, чем у каждой из родительских форм и гибрида F1, наблюдается*:

1. при кумулятивной полимерии;
2. при некумулятивной полимерии;
3. при комплементарном взаимодействии генов;
4. при доминантном эпистазе;
5. при рецессивном эпистазе.

67. *При комплементарном взаимодействии в F2 наблюдается следующее расщепление*:

1. 3:1;
2. 9:7;
3. 1:4:6:4:1;
4. 13:3;
5. 15:1.

68. *При эпистазе в F2 наблюдается следующее расщепление*:

1. 3:1;
2. 9:7;
3. 1:4:6:4:1;
4. 13:3;
5. 15:1.

69. *При кумулятивной полимерии в F2 наблюдается следующее расщепление*:

1. 9:7;
2. 9:3:4;
3. 1:4:6:4:1;
4. 13:3;
5. 15:1.

70. *При некумулятивной полимерии в F2 наблюдается следующее расщепление*:

1. 9:7;
2. 9:3:4;
3. 1:4:6:4:1;
4. 13:3;
5. 15:1.

71. *Наследование окраски цветков у душистого горошка, окраски зерновки у ржи, формы плода у тыквы, окраски плода у томатов происходит по типу*:

1. эпистаза;
2. полимерии;
3. комплементарности;
4. модифицирующего действия генов;
5. полного доминирования.

72. *Наследование окраски чешуй у лука, окраски волокна у хлопчатника происходит по типу*:

1. эпистаза;
2. полимерии;
3. комплементарности;
4. модифицирующего действия генов;
5. полного доминирования.

73. *Наследование формы плода у пастушьей сумки, окраски зерна и колоса у пшеницы, длины початка у кукурузы, высоты растения у сорго происходит по типу*:

1. эпистаза;
2. полимерии;
3. комплементарности;
4. модифицирующего действия генов;
5. полного доминирования.

74. *Назовите основные положения хромосомной теории наследственности*:

1. гены в хромосомах расположены линейно;
2. гены в хромосоме образуют группу сцепления;
3. число групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом;
4. кроссинговер может нарушать сцепление генов;
5. все ответы верны.

75. *Число групп сцепления соответствует*:

1. половине гаплоидного набора хромосом;
2. гаплоидному набору хромосом;
3. диплоидному набору хромосом;
4. тетраплоидному набору хромосом;
5. не зависит от числа хромосом.

76. *Схема взаимного расположения генов, находящихся в одной группе сцепления, называется*:

1. генофондом;
2. генотипом;
3. генетической картой;
4. генетическим банком данных;
5. генной инженерией.

77. *Если гены, отвечающие за развитие нескольких признаков, расположены в одной хромосоме и наследуются вместе, то проявляется закон*:

1. расщепления;
2. независимого наследования;
3. линейного расположения генов;
4. сцепления с полом;
5. сцепленного наследования.

78. *При сцепленном наследовании особь с генотипом образует гаметы*:

1. АВ, Ab, aB, ab;
2. АВ, аb;
3. Aa, Bb;
4. Ab, aB;
5. AА, BВ.

79. *Частота кроссинговера между генами, расположенными в одной хромосоме, отражает относительное расстояние между ними. Это закон*:

1. расщепления;
2. независимого наследования;
3. линейного расположения генов;
4. сцепления с полом;
5. сцепленного наследования.

80. *Результатом кроссинговера является*:

1. увеличение числа хромосом;
2. создание новых сочетаний генов, приводящих к изменчивости организма;
3. изменение числа хромосом, не кратное гаплоидному;
4. модификационная изменчивость;
5. мутационная изменчивость.

81. *Если величина кроссинговера между генами А и В равна 10 %, это означает, что*:

1. расстояние между генами соответствует 0,1 морганиде;
2. расстояние между генами соответствует 1 морганиде;
3. расстояние между генами соответствует 10 морганидам;
4. расстояние между генами соответствует 90 морганидам;
5. расстояние между генами соответствует 100 морганидам.

82. *Половые хромосомы – это*:

1. хромосомы мужского организма;
2. хромосомы женского организма;
3. хромосомы, одинаковые у мужского и женского организмов;
4. хромосомы, разные у мужского и женского организмов;
5. набор хромосом организма.

83. *Укажите, сколько существует типов хромосомного определения пола*:

1. один;
2. два;
3. три;
4. четыре;
5. пять.

84. *Гетерогаметным полом у млекопитающих, рыб, дрозофилы является*:

1. только мужской;
2. только женский;
3. мужской и женский;
4. зависит от условий среды;
5. все ответы верны.

85. *Гомогаметным полом у птиц и бабочек является*:

1. только мужской;
2. только женский;
3. мужской и женский;
4. зависит от условий среды;
5. все ответы верны.

86. *Наследование пола происходит в соотношении, близком*:

1. 1:1;
2. 3:1;
3. 15:1;
4. 64:1;
5. 255:1.

87. *Сцепленными с полом называются признаки, гены которых расположены*:

1. в аутосомах;
2. в половых хромосомах;
3. в плазмидах;
4. в ДНК хлоропластов и митохондрий;
5. в РНК.

88. *Наследование, сцепленное с полом, впервые было описано*:

1. у гороха;
2. у дрозофилы;
3. у лабораторной мыши;
4. у человека;
5. у кукурузы.

89. *Нуклеиновые кислоты − это*:

1. ДНК и вирусы;
2. ДНК и РНК;
3. АДФ и АТФ;
4. РНК и гистоновые белки;
5. гистоновые и негистоновые белки.

90. *Молекула ДНК, в отличие от РНК, имеет вид*:

1. звезды;
2. клеверного листа;
3. одиночной спирали;
4. двойной спирали;
5. сферы.

91. *Молекула и-РНК имеет вид*:

1. звезды;
2. клеверного листа;
3. одиночной спирали;
4. двойной спирали;
5. сферы.

92. *Функция ДНК в клетке*:

1. хранение и передача наследственной информации;
2. участие в биосинтезе белка;
3. перенос соответствующих аминокислот;
4. энергетическая;
5. все перечисленные функции.

93. *Функция РНК в клетке*:

1. хранение и передача наследственной информации;
2. участие в биосинтезе белка;
3. перенос соответствующих аминокислот;
4. энергетическая;
5. все перечисленные функции.

94. *Мономерами нуклеиновых кислот являются*:

1. аминокислоты;
2. азотистые основания;
3. нуклеотиды;
4. ДНК и РНК;
5. остаток фосфорной кислоты и пентозный сахар.

95. *Азотистое основание, которое отсутствует в составе молекулы ДНК*:

1. аденин;
2. гуанин;
3. урацил;
4. тимин;
5. цитозин.

96. *Азотистое основание, которое отсутствует в составе молекулы РНК*:

1. аденин;
2. гуанин;
3. урацил;
4. тимин;
5. цитозин.

97. *Укажите последовательность нуклеотидов и-РНК, если участок ДНК имеет строение 5' А-А-Ц-Г-Г-А-Ц-Ц-Т- … 3'*:

1. УУГ, ЦЦУ, ГГА;
2. ТТГ, ЦЦТ, ГГА;
3. ААГ, ЦЦА, ГГА;
4. ААЦ, ГГА, ЦЦТ;
5. ААГ, ЦЦА, ЦЦТ.

98. *В молекуле и-РНК содержится 300 нуклеотидов. Определите, сколько аминокислот будет содержать белок, синтезированный на данной и-РНК*:

1. 100;
2. 300;
3. 600;
4. 900;
5. 1000.

99. *Транскрипция – это процесс*:

1. синтеза АТФ;
2. переноса аминокислот в рибосому;
3. переписывания информации с ДНК на и-РНК;
4. синтеза белковой молекулы;
5. приобретения молекулой белка биологически активной структуры.

100. *Укажите, сколько типов РНК содержится в клетке*:

1. один;
2. два;
3. три;
4. четыре;
5. пять.

101. *Укажите, какие нуклеотиды являются комплементарными*:

1. А и Г;
2. У и Т;
3. Г и Ц;
4. Ц и А;
5. Т и Г.

102. *Кодон – участок и-РНК, который кодирует*:

1. один белок;
2. один ген;
3. один признак;
4. триплет нуклеотидов;
5. один нуклеотид.

103. *Одна аминокислота кодируется тремя*:

1. генами;
2. триплетами;
3. нуклеотидами;
4. кодонами;
5. белками.

104. *Охра, амбер, опал – это*:

1. аминокислоты;
2. т-РНК;
3. р-РНК;
4. инициаторы синтеза;
5. терминаторы синтеза.

105. *Трансляция – это процесс*:

1. синтеза АТФ;
2. переноса аминокислоты в рибосому;
3. переписывания информации с ДНК на и-РНК;
4. синтеза полипептидной цепи на рибосоме;
5. приобретения молекулой белка биологически активной структуры.

106. *Определите, сколько молекул дезоксирибозы содержится в молекуле ДНК, тиминовых нуклеотидов в ней 500, а цитозиновых нуклеотидов 1000*:

1. 6000;
2. 3000;
3. 2000;
4. 1500;
5. 1000.

107. *Ненаследственной (фенотипической) является изменчивость*:

1. только мутационная;
2. только модификационная;
3. только комбинативная;
4. мутационная и комбинативная;
5. мутационная, комбинативная и модификационная.

108. *Модификационная изменчивость признака зависит*:

1. от возраста организма;
2. от генотипа организма;
3. от фенотипа организма;
4. от условий среды;
5. от всех перечисленных факторов.

109. *Модификационная изменчивость, в отличие от мутационной*:

1. возникает у отдельных особей;
2. передается по наследству;
3. носит приспособительный характер;
4. проявляется во втором поколении;
5. возникает скачкообразно.

110. *Пределы модификационной изменчивости называются*:

1. пределами устойчивости;
2. нормой реакции;
3. границами изменчивости;
4. порогом устойчивости;
5. пределами изменчивости.

111. *Мутации возникают*:

1. постепенно;
2. скачкообразно;
3. в первом поколении гибридов;
4. у полиплоидных организмов;
5. под влиянием радиопротекторов.

112. *Мутации, приводящие к изменению числа хромосом, называются*:

1. геномными;
2. генными;
3. хромосомными;
4. цитоплазматическими;
5. ядерными.

113. *Мутации, изменяющие структуру гена, называются*:

1. геномными;
2. генными;
3. хромосомными;
4. цитоплазматическими;
5. ядерными.

114. *Мутации, изменяющие структуру хромосомы, называются*:

1. геномными;
2. генными;
3. хромосомными;
4. цитоплазматическими;
5. ядерными.

115. *Замена, выпадение, вставка, удвоение, изменение порядка чередования нуклеотидов − это примеры*:

1. геномных мутаций;
2. генных мутаций;
3. хромосомных мутаций;
4. цитоплазматических мутаций;
5. спонтанных мутаций.

116. *Мутации, в результате которых происходит удвоение фрагмента хромосомы, − это*:

1. инверсии;
2. инсерции;
3. дупликации;
4. делеции;
5. транслокации.

117. *Мутации, в результате которых происходит выпадение среднего участка хромосомы вследствие ее разрыва в двух точках, − это*:

1. инверсии;
2. инсерции;
3. дупликации;
4. делеции;
5. транслокации;

118. *Мутации, в результате которых происходит отрыв концевого фрагмента хромосомы, − это*:

1. инверсии;
2. инсерции;
3. дупликации;
4. делеции;
5. дифишенси.

119. *Мутации, в результате которых происходит перемещение фрагмента хромосомы по ее длине, − это*:

1. инверсии;
2. инсерции;
3. дупликации;
4. делеции;
5. транслокации.

120. *Мутации, в результате которых происходит переворот хромосомы на 180о, − это*:

1. инверсии;
2. инсерции;
3. дупликации;
4. делеции;
5. транслокации.

121. *К межхромосомным мутациям относятся*:

1. инверсии;
2. инсерции;
3. дупликации;
4. делеции;
5. транслокации.

122. *К геномным мутациям относятся*:

1. транслокации;
2. полиплоидия;
3. транспозиции;
4. инсерции;
5. инверсии.

123. *Различное состояние одного и того же гена, обусловленное точковыми мутациями, называется*:

1. гомозиготным;
2. гетерозиготным;
3. гемизиготным;
4. множественным аллелизмом;
5. наследственностью.

124. *Наследование групп крови у человека в системе АВ0 – это пример*:

1. генной мутации;
2. геномной мутации;
3. хромосомной мутации;
4. множественного аллелизма;
5. модификационной изменчивости.

125. *Полиплоидный ряд у пасленовых включает 2n = 12, 24, 36, 48, 60, 72, 96, 108 и 144, следовательно, основное число хромосом равно*:

1. 3;
2. 6;
3. 12;
4. 18;
5. 24.

126. *Гаплоид – это организм*:

1. с нормальным числом хромосом;
2. с увеличенным в кратное количество раз числом хромосом;
3. с лишней хромосомой;
4. с недостающей парой хромосом;
5. с вдвое меньшим числом хромосом.

127. *Автополиплоид – это организм, возникающий в результате*:

1. спонтанного или индуцированного прямого увеличения числа хромосом в кратное число раз;
2. объединения хромосомных наборов разных видов;
3. увеличения или уменьшения числа хромосом, не кратного гаплоидному набору;
4. спонтанного уменьшения числа хромосом вдвое;
5. индуцированного уменьшения числа хромосом вдвое.

128. *Аллополиплоид – это организм, возникающий в результате*:

1. увеличения хромосомного набора у особей одного вида в кратное число раз;
2. объединения хромосомных наборов разных видов;
3. увеличения или уменьшения числа хромосом, не кратного гаплоидному набору;
4. спонтанного уменьшения числа хромосом вдвое;
5. индуцированного уменьшения числа хромосом вдвое.

129. *Анеуплоид – это организм, возникающий в результате*:

1. увеличения хромосомного набора у особей одного вида в кратное число раз;
2. объединения хромосомных наборов разных видов;
3. увеличения или уменьшения числа хромосом, не кратного гаплоидному набору;
4. спонтанного уменьшения числа хромосом вдвое;
5. индуцированного уменьшения числа хромосом вдвое.

130. *Моносомик – это организм, у которого*:

1. лишняя одна хромосома;
2. лишняя пара хромосом;
3. не хватает одной из пары гомологичных хромосом;
4. не хватает пары гомологичных хромосом;
5. кратно увеличено число хромосом.

131. *Нуллисомик – это организм, у которого*:

1. лишняя одна хромосома;
2. лишняя пара хромосом;
3. не хватает одной из пары гомологичных хромосом;
4. не хватает пары гомологичных хромосом;
5. кратно увеличено число хромосом.

132. *Трисомик – это организм, у которого*:

1. лишняя одна хромосома;
2. лишняя пара хромосом;
3. не хватает одной из пары гомологичных хромосом;
4. не хватает пары гомологичных хромосом;
5. кратно увеличено число хромосом.

133. *Тетрасомик – это организм, у которого*:

1. лишняя одна хромосома;
2. лишняя пара хромосом;
3. не хватает одной из пары гомологичных хромосом;
4. не хватает пары гомологичных хромосом;
5. кратно увеличено число хромосом.

134. *Квадриплекс – это тетраплоидное растение*:

1. с четырьмя доминантными генами;
2. с тремя доминантными генами;
3. с двумя доминантными генами;
4. с одним доминантным геном;
5. с рецессивными генами.

135. *Симплекс – это тетраплоидное растение*:

1. с четырьмя доминантными генами;
2. с тремя доминантными генами;
3. с двумя доминантными генами;
4. с одним доминантным геном;
5. с рецессивными генами.

136. *Инбридинг – это*:

1. перекрестное опыление растений;
2. принудительное самоопыление перекрестноопыляющихся форм;
3. скрещивание генетически родственных форм;
4. скрещивание отдаленных гибридов между собой;
5. воссоздание уже существующих видов.

137. *При близкородственном скрещивании часто наблюдается*:

1. повышенная жизнеспособность гибридов в сравнении с исходными родительскими формами;
2. ослабление организмов, их постепенное вырождение;
3. автополиплоидия;
4. трансгрессия;
5. панмиксия.

138. *Инбридинг (инцухт) характеризуется*:

1. низкой завязываемостью семян;
2. инбредной депрессией потомства;
3. дифференциацией исходной популяции на четко различимые линии;
4. однородностью растений в пределах одной инбредной линии;
5. всеми перечисленными особенностями.

139. *Укажите, на сколько инбредных линий можно разложить популяцию с генотипом АаBbСс*:

1. одну;
2. две;
3. четыре;
4. восемь;
5. шестнадцать.

140. *Укажите, в каком поколении наступает инбредный минимум*:

1. первом;
2. втором;
3. третьем;
4. пятом − седьмом;
5. девятом − десятом.

141. *Явление повышенной жизнеспособности и продуктивности гибридов первого поколения по сравнению с обеими родительскими формами называется*:

1. спонтанным мутагенезом;
2. гетерозисом;
3. гетероплоидией;
4. доминированием;
5. кодоминированием.

142. *Гетерозис у растений можно подразделить на следующие типы*:

1. репродуктивный и генеративный;
2. комбинативный и адаптивный;
3. соматический, репродуктивный и адаптивный;
4. соматический и вегетативный;
5. генеративный и вегетативный.

143. *При определении гетерозисного эффекта у гибридов первого поколения рассчитывают гетерозис*:

1. истинный, гипотетический и конкурсный;
2. селекционный, адаптивный и конкурсный;
3. генеративный, анеуплоидный, контрольный;
4. коллекционный, контрольный и конкурсный;
5. постоянный и переменный.

144. *Под популяцией понимается совокупность*:

1. живых организмов, приспособленных к совместному обитанию на одной территории;
2. свободно скрещивающихся особей одного вида, обладающих общим генофондом и занимающих определенный ареал;
3. особей разных видов, сходных по способу питания, проживающих на некоторой территории;
4. особей одного вида, изолированных особями другого вида всеми формами изоляции;
5. особей одного вида, проживающих на разных континентах.

145. *Закон Харди − Вайнберга применим*:

1. для любой изолированной популяции;
2. для любой популяции при отсутствии миграции;
3. для любой популяции при отсутствии отбора;
4. для любой популяции при отсутствии мутационного процесса;
5. для идеальной популяции.

146. *qа − это частота встречаемости*:

1. гамет с доминантным аллелем;
2. гамет с рецессивным аллелем;
3. особей с рецессивным генотипом;
4. особей с доминантным генотипом;
5. гетрозиготных особей.

147. *р2АА − это частота встречаемости*:

1. гамет с доминантным аллелем;
2. гамет с рецессивным аллелем;
3. особей с рецессивным генотипом;
4. особей с доминантным генотипом;
5. гетерозиготного генотипа.

148. *Укажите, при наличии какого фактора не поддерживается равновесие частот аллелей в популяции*:

1. большая численность и плотность популяции;
2. высокая интенсивность мутационного процесса;
3. внутри популяции осуществляется свободное скрещивание;
4. внутри популяции не действует отбор;
5. не происходит миграция особей.

149. *Панмиксия – это*:

1. скрещивания, происходящие в одностороннем порядке и с равной вероятностью;
2. все варианты опыления и скрещивания в отдельной популяции, совершающиеся с равной вероятностью;
3. все варианты самоопыления внутри популяции, происходящие с равной вероятностью;
4. скрещивания между родственными особями;
5. скрещивания между различными видами или родами.

150. *На генетическую структуру популяции оказывают влияние*:

1. мутации;
2. отбор;
3. миграции;
4. изоляция;
5. все перечисленные факторы.

КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ и определений

Автополиплоид – организм, возникший в результате кратного увеличения одного и того же набора хромосом.

Аллели множественные – несколько возникших путем мутаций состояний одного локуса хромосомы, отличающихся по своему проявлению.

Аллельные гены (аллели) – гены одной пары признаков, находящиеся в одинаковых точках гомологичных хромосом.

Аллополиплоид – полиплоидный организм, развивающийся в результате объединения наборов хромосом различных форм.

Анафаза − стадия митоза и мейоза, следующая за метафазой, во время которой дочерние хромосомы отходят по направлению к разным полюсам клетки.

Анеуплоид (гетероплоид) – растение, имеющее уменьшенное или увеличенное число хромосом одной или нескольких гомологических пар.

Аутбридинг – скрещивание между неродственными особями.

Аутосомы – обычные, неполовые хромосомы.

Бивалент – две гомологичные хромосомы, конъюгирующие между собой в мейозе.

Варианта – значение любого члена вариационного ряда, составленного по какому-либо количественному признаку.

Возвратные скрещивания (беккроссы) – скрещивания, при которых гибрид повторно (однократно или многократно) скрещивается с одной из родительских форм.

Гаметы – зрелые мужские и женские половые клетки, содержащие гаплоидное (половинное) число хромосом по сравнению с остальными клетками тела.

Гаплоид – организм, в клетках которого содержится в два раза меньше хромосом, чем у исходных форм.

Гексаплоид – организм, клетки которого содержат шесть основных наборов хромосом.

Гемизиготность – случай, когда особь имеет гены только в одной хромосоме и, следовательно, не может быть ни гомо-, ни гетерозиготной.

Ген − основной материальный элемент наследственности, участок молекулы ДНК, входящей в состав хромосом. Контролирует определенную степень обмена веществ в организме и оказывает тем самым специфическое действие на развитие одного или нескольких признаков.

Генеральная совокупность – совокупность единиц, особей или признаков, из которой отбирают варианты для совместного изучения. Часть единиц, отобранная для изучения из генеральной совокупности, называется выборочной совокупностью (выборкой).

Генетика – наука о наследственности и изменчивости организмов.

Генетический анализ – основной метод изучения характера действия и числа генов, определяющих наследование данного признака. Включает гибридологический, мутационный и популяционный методы.

Генетический (наследственный) код – последовательность расположения азотистых оснований в ДНК, определяющая расположение аминокислот в синтезируемом белке.

Геном – основной гаплоидный набор хромосом; совокупность качественно различных хромосом, содержащих полный одинарный набор хромосом.

Генотип – совокупность всех генов, определяющих развитие признаков и свойств растений.

Генофонд – совокупность генов популяции, характеризующаяся определенной их частотой.

Гены структурные – гены, несущие информацию о последовательности аминокислот в белковой молекуле.

Генотипическая изменчивость – изменчивость генотипа, наследственной информации организма.

Гетерозиготный организм – особь, в клетках тела которой содержатся разные гены данной аллельной пары (Аа). При размножении такой особи происходит расщепление признаков.

Гетерозис – увеличение мощности, повышение жизнеспособности, возрастание продуктивности гибридов первого поколения по сравнению с родительскими формами.

Гибрид – организм, сочетающий в себе признаки и свойства генетически различающихся родительских форм.

Гибридизация – процесс создания новых форм путем рекомбинации признаков и свойств в результате скрещивания.

Гомозиготный организм – особь, в клетках тела которой содержатся одинаковые гены данной аллельной пары (АА, аа). При размножении такой особи расщепления по этим признакам быть не может.

Гомологические хромосомы – парные, соответствующие, полученные при оплодотворении хромосомы, нормально конъюгирующие между собой в мейозе.

Группа сцепления – совокупность всех генов, локализованных в данной хромосоме, благодаря чему они наследуются совместно (сцепленно).

Делеция (нехватка) – выпадение участка хромосомы, содержащего один или несколько генов.

Дигибридное скрещивание – скрещивание при различии родительских особей по двум парам аллелей.

Дисперсия – отношение суммы квадратов отклонений значений отдельных вариант от средней для данного вариационного ряда к числу степеней свободы.

ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота. Основной материальный носитель наследственности. Биополимер, молекула которого состоит из двух полинуклеотидных цепей, свернутых в спираль. В состав отдельных нуклеотидов ДНК входят азотистые основания, сахар дезоксирибоза и остаток фосфорной кислоты.

Доминантный ген – один из пары аллельных генов, подавляющий в гетерозиготном состоянии проявление другого (рецессивного) гена.

Доминирование – подавление у гибридных организмов одних признаков другими. Может быть полным, когда гетерозигота Аа фенотипически не отличается от гомозиготы АА, и неполным, когда доминантный ген не полностью подавляет проявление своего рецессивного аллеля.

Дупликация – удвоение какого-либо участка хромосомы.

Зигота – оплодотворенная яйцеклетка, дающая начало развитию нового организма, имеет диплоидное число хромосом.

Изменчивость – процесс возникновения различий между особями по ряду признаков тела или отдельных его органов (размеры, форма, окраска, химический состав) и их функций. Может быть наследственной и модификационной.

Инбредная линия (инцухт-линия) – потомство одного перекрестноопыляющегося растения, полученное в результате принудительного самоопыления.

Инбредный минимум (инцухт-минимум) – состояние инбредного потомства, когда депрессия достигла наивысшего выражения и дальнейшего снижения жизнеспособности особей в последующих поколениях не происходит, а потомство становится однородным.

Инбридинг (инцухт) – принудительное самоопыление или скрещивание между родственными особями перекрестноопыляющихся растений. В результате инбридинга получаются инбредные линии, называемые также самоопыленными линиями.

Инверсия – хромосомная мутация, возникающая в результате двух разрывов и перевертывания участка хромосомы на 180о.

Информационная РНК (и-РНК) – РНК, играющая роль переносчика информации от ДНК к рибосомам. Состав оснований в молекуле и-РНК аналогичен ДНК, только вместо тимина содержится урацил. На и-РНК, как на матрице, происходит синтез белка из аминокислот.

Кариотип – совокупность хромосом организма, характеризующаяся их числом, величиной, формой.

Кодон – единица наследственной информации, состоящая из трех расположенных в определенной последовательности азотистых оснований и контролирующая положение конкретной аминокислоты в полипептидной цепи.

Комбинационная изменчивость – наследственная изменчивость, возникающая в результате сочетания и взаимодействия генов при скрещивании.

Комплементарное действие генов – совместное, дополняющее друг друга действие двух или большего числа генов на развитие какого-либо признака.

Константные формы – устойчивые, нерасщепляющиеся в дальнейших поколениях формы гибридов.

Конъюгация хромосом – сближение гомологичных хромосом в профазе мейоза, когда между ними возможен обмен отдельными участками.

Коэффициент инбридинга – степень увеличения гомозиготности в популяции под влиянием близкородственного скрещивания.

Коэффициент наследуемости – доля генетической изменчивости в общей фенотипической изменчивости какого-либо признака. Чем выше коэффициент наследуемости данного признака, тем эффективнее отбор по фенотипу.

Кроссинговер – перекрест хромосом, в результате которого между ними может происходить обмен гомологичными (одинаковыми) участками.

Локус хромосомы – участок хромосомы, в котором локализован ген.

Мейоз – особый тип клеточного деления, происходящего при развитии половых клеток или спор, приводящего к уменьшению (редукции) числа хромосом вдвое. В процессе мейоза происходит два последовательных деления ядра, а удваиваются хромосомы только один раз. В мейозе конъюгируют гомологичные хромосомы.

Метафаза – вторая фаза митоза или мейоза, во время которой хромосомы располагаются в экваториальной плоскости клетки, образуя ядерную пластинку.

Митоз – деление клетки, в результате которого сначала происходит удвоение хромосом, а затем равномерное из распределение между двумя вновь возникающими клетками.

Модификация − различия в степени проявления какого-либо признака под влиянием меняющихся внешних условий.

Моногибридное скрещивание – скрещивание организмов, различающихся по одной паре аллелей.

Моносомик – анеуплоид, в диплоидном наборе которого одна из парных хромосом представлена в единственном числе (2n − 1).

Мутагенез – процесс возникновения наследственных изменений (мутаций) под влиянием естественных и искусственных факторов.

Мутационная изменчивость – структурные изменения генов и хромосом, ведущие к возникновению новых наследственных признаков и свойств организма.

Мутация – новое наследственное изменение, возникающее независимо от скрещивания и связанное с изменением ДНК хромосом, структуры или числа хромосом.

Наследственность – процесс воспроизведения организмами в ряду последовательных поколений сходного типа обмена веществ, признаков и свойств.

Несовместимости гены (S-факторы) – гены, обусловливающие совместимость или несовместимость двух гамет и, следовательно, возможность оплодотворения.

Норма реакции – способность реагирования организма на изменение окружающих условий. Определяется генотипом и проявляется в форме модификаций.

Нуклеиновые кислоты – высокомолекулярные вещества, биополимеры, хранящие и передающие у всех организмов наследственную информацию. Состоят из нуклеотидов. Представлены двумя видами: ДНК и РНК.

Нуклеотид – сложное органическое вещество, состоящее из азотистого основания, сахара, рибозы или дезоксирибозы и остатка фосфорной кислоты. Нуклеотиды входят в состав молекул РНК и ДНК.

Нуллисомик – растение, у которого в диплоидном наборе отсутствует пара гомологичных хромосом (2n − 2).

Панмиксия – свободное, основанное на случайности скрещивание особей в пределах популяции.

Плейотропия – способность гена оказывать влияние одновременно на несколько признаков организма.

Плоидность – число геномов в клетках данного организма.

Полимерные гены – неаллельные гены, действующие на один и тот же признак одинаковым образом.

Полиплоидия – наследственные изменения, связанные с увеличением числа хромосом.

Половые хромосомы – хромосомы, различающиеся по структуре и функциям у разных полов и определяющие развитие пола.

Популяция – совокупность особей одного вида, заселяющих определенную территорию, свободно скрещивающихся друг с другом и дающих плодовитое потомство, а также изолированных от других совокупностей.

Профаза – первая стадия митоза (мейоза), во время которой хромосомы благодаря спирализации становятся видимыми (происходит конъюгация гомологичных хромосом и обмен участками между ними − кроссинговер).

Расщепление – появление разнообразных форм в гибридных поколениях в результате рекомбинации аллельных и неаллельных генов в процессе мейоза.

Рекомбинация – перегруппировка родительских генов при мейозе в результате кроссинговера.

Репарация – самовосстановление первичной структуры ДНК, следующее после нарушения ее физическими или химическими мутагенами.

Репликация ДНК – удвоение молекулы ДНК. Двойная цепь ее сначала разделяется на две, и на каждой из них достраиваются новые комплементарные дочерние цепи нуклеотидов под действием фермента ДНК-полимеразы.

Рецессивный признак – признак, подавляемый в гибридном организме действием доминантного гена той же аллельной пары.

РНК – рибонуклеиновая кислота, биологический полимер, участвующий в биосинтезе белка. Состоит из нуклеотидов, соединенных в виде спиралевидной цепочки.

Сверхдоминирование – большая мощность и жизнеспособность гетерозиготы по сравнению с обеими гомозиготами по данной паре аллелей.

Сцепление – совместная передача потомству генов в тех же комбинациях, в каких они были у родительских форм. Связана с локализацией генов в одной хромосоме (группе сцепления).

Телофаза – четвертая, последняя стадия митоза или мейоза, во время которой происходит деспирализация хромосом и образование дочерних ядер.

Тетраплоид – организм, имеющий в клетках тела четыре основных набора хромосом.

Тетрасомик – анеуплоид, в диплоидном наборе которого одна из хромосом представлена четыре раза.

Точковая (генная) мутация – микроскопически невидимая мутация, затрагивающая очень небольшой участок хромосомы.

Транскрипция – перенос (переписывание) информации о нуклеотидном строении ДНК на и-РНК.

Транслокация – один из видов перестроек хромосом, при котором происходит обмен участками негомологичных хромосом.

Трансляция – перевод информации о нуклеотидном строении  
и-РНК на аминокислотное строение белка. В этом процессе матрицей для биосинтеза белка служит и-РНК.

Транспортная РНК (т-РНК) – один из видов РНК, играющий роль переносчика аминокислот к рибосомам, где они связываются в полипептидную цепь.

Триплет – структурный элемент гена, состоящий из трех соединенных в определенной последовательности азотистых оснований и кодирующий одну аминокислоту.

Триплоид – организм, клетки которого имеют три основных набора хромосом.

Трисомик – анеуплоид, в диплоидном наборе которого одна из хромосом представлена три раза (2n + 1).

Фенотип – совокупность всех признаков и свойств организма, сформировавшихся на основе генотипа во взаимодействии с условиями внешней среды.

Фенотипическая изменчивость – ненаследственные изменения степени проявления признака под влиянием внешних условий среды.

Фенокопия – изменение фенотипа (вызванное особыми условиями среды), напоминающая изменение фенотипа, обусловленное мутацией.

Хроматиды – одна из двух продольных нитей, входящих в состав хромосом.

Хромосомные аберрации – различные изменения структуры хромосом (нехватки, транслокации, инверсии, дупликации).

Хромосомный набор – совокупность хромосом, свойственная клеткам данного организма. Известны два типа: гаплоидный – в зрелых половых клетках (n) и диплоидный – в соматических клетках (2n).

Хромосомы – окрашивающиеся основными красителями элементы клеточного ядра, состоящие из ДНК и белков. Основные носители наследственной информации организма.

Чистая линия – потомство одного гомозиготного по всем генам самоопыляющегося растения.

Эпистаз – взаимодействие неаллельных генов, при котором аллель одного гена подавляет действие аллелей других генов.

Х-хромосома – парная половая хромосома в клетках особей гомогаметного пола (ХХ).

У-хромосома – непарная половая хромосома в клетках особей гетерогаметного пола (ХУ).

литература

* + - 1. Абрамова, З. В. Генетика. Программированное обучение / З. В. Абрамова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 287 с.

1. Абрамова, З. В. Практикум по генетике / З. В. Абрамова, О. А. Карлинский. – Л.: Колос, 1979. – 192 с.
2. Абрамова, З. В. Руководство к практическим занятиям по генетике / З. В. Аб-рамова, О. А. Карлинский. – М.: Колос, 1968. – 191 с.
3. Генетика / Г. В. Гуляев [и др.]. – М.: Колос, 1984. – 351 с.
4. Генетика / А. А. Жученко [и др.]. – М.: Колос, 2003. – 480 с.
5. Генетика: учеб.-метод. пособие для самостоятельных занятий / сост. A. M. Лен-точкин. – Ижевск, 2010. – 129 с.
6. Генетика и селекция сельскохозяйственных культур: учеб.-метод. комплекс / сост. Г. И. Витко [и др.]. – Горки, 2013. − 408 с.
7. Гершензон, С. М. Основы современной генетики / С. М. Гершензон. – Киев: Наук. думка, 1983. − 460 с.
8. Гуляев, Г. В. Задачник по генетике / Г. В. Гуляев. – М.: Колос, 1980. – 78 с.
9. Дубинин, Н. П. Генетика / Н. П. Дубинин. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 487 с.
10. Кириленко, А. А. Сборник задач по генетике. Базовый и повышенный уровень / А. А. Кириленко. – Ростов н/Д.: Легион, 2009. – 174 с.
11. Кудрин, А. Г. Генетика и биометрия / А. Г. Кудрин. − Мичуринск, 2008. – 125 с.
12. Песецкая, Л. Н. Сборник задач по генетике / Л. Н. Песецкая, Г. Г. Гончаренко, Н. Н. Острейко. – Гомель, 2002. – 114 с.
13. Пухальский, В. А. Введение в генетику / В. А. Пухальский. – М.: Колос, 2007. – 224 с.
14. Самигуллина, Н. С. Практикум по генетике / Н. С. Самигуллина, И. Б. Ки-рина. – Мичуринск, 2007. – 211 с.
15. Сборник задач по генетике / сост. Т. В. Мазяркина, Е. С. Иванов, Е. А. Лупанов. − Рязань, 2008. − 88 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |  |
| --- | --- |
| Предисловие ……………………………………………………………...…...………  1. Цитологические основы наследственности .......................................  1.1. Митоз ……………………………………………...……………………….……….  1.2. Мейоз ……….………………………………………………………………………  2. Закономерности наследования признаков ПРИ ВНУТРИВИДО-  ВОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ …………………………………………………………………..  2.1. Моногибридное скрещивание …………………………………………………….  2.2. Дигибридное скрещивание ………………………………………………………..  2.3. Тригибридное скрещивание ……………………………………………………….  2.4. Статистическая обработка данных гибридологического анализа ……………...  3. наследование признаков при НЕАЛЛЕЛЬНОМ взаимодейст-  вии генов ……………………………………………………….……………………...  3.1. Комплементарное взаимодействие генов …………………………………...……  3.2. Эпистатическое взаимодействие генов …………………………………………..  3.3. Полимерное взаимодействие генов ……………………………………………….  4. Хромосомная теория наследственности ……………………………...  4.1. Наследование пола и сцепленных с полом признаков …………………………..  4.2. Наследование признаков при полном сцеплении генов ……………...…………  4.3. Неполное сцепление генов. Кроссинговер ……………………………………….  5. Молекулярные основы наследственности ……………………………  5.1. Графическое моделирование матричного синтеза и-РНК и биосинтеза белка  6. Изменчивость ОРГАНИЗМОВ …………………………………………………...  6.1. Модификационная изменчивость. Статистический метод изучения измен-  чивости ………………………………………………………………………………….  6.2. Мутационная изменчивость. Множественный аллелизм ………………………  6.3. Полиплоидия ………………………………………………………………………  7. Инбридинг и гетерозис ………………………………………………………….  7.1. Инбридинг …………………………………………………………………………  7.2. Гетерозис. Анализ початков самоопыленных родительских линий и гибри-  дов первого поколения кукурузы ……………………………………….…………...  8. Генетика популяций …………………………...……………………………….  8.1. Закон Харди − Вайнберга ………………………………………………..………  ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ …………………………………………………………………..  краткий словарь терминов и определений ………………………………  Литература …………………………………………………………………………….. | 3  4  7  12  19  20  31  44  58  67  68  79  90  107  108  117  125  143  145  158  158  166  176  184  184  193  202  203  209  235  243 |

Учебное издание

**Витко** Галина Ивановна

**Равков** Евгений Викторович

**Таранухо** Григорий Иванович

**Двойнишников** Виктор Алексеевич

ГЕНЕТИКА И СЕЛЕКЦИЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В двух частях

Часть 1.

ГЕНЕТИКА

Лабораторный практикум

Редактор *Н. А. Матасёва*

Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Корректор *А. М. Павлова*

Подписано в печать 15.05.2015. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная.

Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 14,18. Уч.-изд. л. 12,36.

Тираж 75 экз. Заказ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.

Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.