

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П. М. Машерова»

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ГЕНЕТИКЕ

Методические рекомендации

*Витебск
ВГУ имени П.М. Машерова
2013*

УДК 575(075.8)
ББК 28.04я73
С23

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 4 от 20.12.2012 г.

Составители: старший преподаватель кафедры ботаники ВГУ имени П.М. Машерова **Дмитрук Л.Б.**; доцент кафедры ботаники ВГУ имени П.М. Машерова **Лукомский А.В.**

Рецензент:

доцент кафедры генетики и разведения сельскохозяйственных животных УО «ВГАВМ», кандидат биологических наук *Базылев С.Е.*

Сборник задач по генетике : методические рекомендации / сост.:
С23 Л.Б. Дмитрук, А.В. Лукомский. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2013. – 49 с.

Издание предназначено для студентов биологического факультета. Оно может быть использовано не только студентами, но и учащимися средней общеобразовательной школы, абитуриентами и учителями биологии.

УДК 575(075.8)
ББК 28.04я73

© ВГУ имени П.М. Машерова, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Молекулярные механизмы наследственности	5
Генная инженерия	8
Цитологические основы наследственности	12
Моногибридное скрещивание	14
Дигибридное и полигибридное скрещивание	17
Взаимодействие аллельных генов	21
Множественный аллелизм	24
Взаимодействие неаллельных генов	27
Генетика пола	30
Сцепление и кроссинговер	33
Популяционная генетика	37
Анализ наследования признаков по родословным	39
Справочный материал	46
Список использованных источников	50

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Нуклеиновые кислоты – высокомолекулярные органические соединения, биополимеры (полинуклеотиды), образованные остатками нуклеотидов. Нуклеиновые кислоты ДНК и РНК присутствуют в клетках всех живых организмов и выполняют важнейшие функции по хранению, передаче и реализации наследственной информации.

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) – один из двух типов нуклеиновых кислот, обеспечивающих хранение, передачу и реализацию генетической программы развития и функционирования живых организмов. Основная роль ДНК в клетках – долговременное хранение информации о структуре РНК и белков. В состав дезоксирибонуклеотида входит остаток ортофосфорной кислоты, дезоксирибоза и азотистые основания – аденин, тимин, гуанин и цитозин.

Репликация ДНК – процесс синтеза дочерней молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты, идущий во время синтетической (S) фазы жизненного цикла клетки на матрице родительской молекулы ДНК.

Рибонуклеиновые кислоты (РНК) – нуклеиновые кислоты, полимеры нуклеотидов, в состав которых входят остаток ортофосфорной кислоты, рибоза и азотистые основания – аденин, цитозин, гуанин и урацил. Эти молекулы содержатся в клетках всех живых организмов, а также в некоторых вирусах.

Матричная (информационная) мРНК (иРНК) – служит посредником при передаче информации, закодированной в ДНК к рибосомам, синтезирующим белки живого организма.

Транспортные (тРНК) – малые, состоящие из приблизительно 80 нуклеотидов, молекулы с консервативной третичной структурой, транспортирующие аминокислоты к рибосомам.

Рибосомные РНК (рРНК) – каталитическая составляющая рибосом. Эукариотические рибосомы содержат четыре типа молекул рРНК: 18S, 5,8S, 28S и 5S.

Правила Э. Чаргаффа:

1. Количество аденина равно количеству тимина, а гуанина – цитозину: $A=T$, $G=C$;
2. Количество пуринов равно количеству пиримидинов: $A+G=T+C$;
3. Количество оснований с аминогруппами в положении 6 равно количеству оснований с кетогруппами в положении 6: $A+C=G+T$.

Генетический код – система зашифровки наследственной информации в молекулах нуклеиновых кислот, реализующаяся у животных, растений, бактерий и вирусов в виде последовательности нуклеотидов (рис.1).

Свойства генетического кода:

- триплетность – значащей единицей кода является сочетание трёх нуклеотидов (триплет, или кодон).
- непрерывность – между триплетами нет знаков препинания, то

есть информация считывается непрерывно.

- **неперекрываемость** – один и тот же нуклеотид не может входить одновременно в состав двух или более триплетов.
- **однозначность** – определённый кодон соответствует только одной аминокислоте.
- **вырожденность (избыточность)** – одной и той же аминокислоте может соответствовать несколько кодонов.
- **универсальность** – генетический код работает одинаково в организмах разного уровня сложности – от вирусов до человека.

Первое основание	Второе основание				Третье основание
	У	Ц	А	Г	
У	Фен	Сер	Тир	Цис	У
	Фен	Сер	Тир	Цис	Ц
	Лей	Сер	—	—	А
	Лей	Сер	—	Три	Г
Ц	Лей	Про	Гис	Арг	У
	Лей	Про	Гис	Арг	Ц
	Лей	Про	Глн	Арг	А
	Лей	Про	Глн	Арг	Г
А	Иле	Тре	Асн	Сер	У
	Иле	Тре	Асн	Сер	Ц
	Иле	Тре	Лиз	Арг	А
	Мет	Тре	Лиз	Арг	Г
Г	Вал	Ала	Асп	Гли	У
	Вал	Ала	Асп	Гли	Ц
	Вал	Ала	Глу	Гли	А
	Вал	Ала	Глу	Гли	Г

Рис. 1. Таблица генетического кода

Сокращенные обозначения аминокислот: Ала – аланин, Арг – аргинин, Асп – аспарагиновая кислота, Асн – аспарагин, Вал – валин, Гис – гистидин, Гли – глицин, Глн – глутамин, Глу – глутаминовая кислота, Иле – изолейцин, Лей – лейцин, Лиз – лизин, Мет – метионин, Про – пролин, Сер – серин, Тир – тирозин, Тре – треонин, Три – триптофан, Фен – фенилаланин, Цис – цистеин.

ЗАДАЧИ

РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Фрагмент молекулы ДНК состоит из нуклеотидов, расположенных в следующей последовательности: ТАААТГГЦААЦЦ. Определите состав и последовательность аминокислот в полипептидной цепи, закодированной в этом участке гена.

Решение. Выписываем нуклеотиды ДНК и, разбивая их на триплеты, получаем кодоны цепи молекулы ДНК: ТАА–АТГ–ГЦА–АЦЦ. Составляем триплеты иРНК, комплементарные кодонам ДНК, и записываем их строчкой ниже:

ДНК: ТАА–АТГ–ГЦА–АЦЦ
иРНК: АУУ–УАЦ–ЦГУ–УТТ

По таблице кодонов определяем, какая аминокислота закодирована каждым триплетом иРНК: Иле–Тир–Арг–Три.

Задача 2. Фрагмент молекулы содержит аминокислоты: аспарагиновая кислота–аланин–метионин–валин. Определите:

а) какова структура участка молекулы ДНК, кодирующего эту последовательность аминокислот; б) количество (в %) различных видов нуклеотидов в этом участке гена (в двух цепях); в) длину этого участка гена.

Решение.

а) По таблице кодонов находим триплеты иРНК, кодирующие каждую из указанных аминокислот.

Белок: Асп – Ала – Мет – Вал
иРНК: ГАЦ–ГЦА– АУГ– ГУУ

Если аминокислоте соответствуют несколькими кодонов, то можно выбрать любой из них. Определяем строение той цепочки ДНК, которая кодировала строение иРНК. Для этого под каждым кодоном молекулы иРНК записываем комплементарный ему кодон молекулы ДНК.

1-я цепь ДНК: ЦТГ–ЦГТ–ТАЦ–ЦАА.

б) Чтобы определить количество (%) нуклеотидов в этом гене, необходимо, используя принцип комплементарности (А–Т, Г–Ц), достроить вторую цепь ДНК:

2-я цепь ДНК: ГАЦ–ГЦА–АТГ–ГТТ

Находим количество нуклеотидов (нтд): в двух цепях - 24 нтд, из них А = 6. Составляем пропорцию:

$$\begin{aligned} 24 \text{ нтд} &= 100\% \\ 6 \text{ нтд} &= x\% \\ x &= (6 \times 100) : 24 = 25\% \end{aligned}$$

По правилу Чаргаффа количество аденина в молекуле ДНК равно количеству тимина, а количество гуанина равно количеству цитозина. Поэтому:

$$\begin{aligned} T &= A = 25\% \\ T + A &= 50\%, \text{ следовательно} \\ C + G &= 100\% - 50\% = 50\%. \\ C &= G = 25\%. \end{aligned}$$

в) Молекула ДНК всегда двухцепочечная, ее длина равна длине одной цепи. Длина каждого нуклеотида составляет 0,34 нм, следовательно: $12 \text{ нтд} \times 0,34 = 4,08 \text{ нм}$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задача 1. С какой последовательности аминокислот начинается белок, если он закодирован такой последовательностью нуклеотидов: ЦЦАТГГЦЦГТ... А каким станет начало цепочки аминокислот синтезируемого белка, если под влиянием облучения четвертый нуклеотид окажется выбитым из молекулы ДНК?

Задача 2. Участок цепи белка вируса табачной мозаики состоит из следующих аминокислот: – серин – глицин – серин – изолейцин – треонин – пролин – серин–. В результате воздействия на и-РНК азотистой кислотой цитозин РНК превращается в гуанин. Определите изменения в строении белка вируса после воздействия на и-РНК азотистой кислотой.

Задача 3. В систему для искусственного синтеза белка ввели тРНК, имеющие антикодоны: ЦГА, УУА, АЦА, ЦЦА. Определите, какие аминокислоты смогут участвовать в биосинтезе белка.

Задача 4. Какое изменение молекулы ДНК сильнее повлияет на строение белка: выпадение одного нуклеотида из триплета или целого триплета?

Задача 5. Фрагмент молекулы адренкортикотропного гормона (АКТГ) человека, вырабатываемого передней долей гипофиза, имеет структуру: – серин – тирозин – серин – метионин –. Определите перечень антикодонов тРНК, участвующих в биосинтезе фрагмента АКТГ.

Задача 6. Используя таблицу генетического кода, определите, что опаснее с точки зрения возможного влияния на наследственность: а) замена в кодовой тройке первого нуклеотида, б) последнего нуклеотида.

Задача 7. В молекуле ДНК на долю цитидиловых нуклеотидов приходится 18%. Определите процентное содержание других нуклеотидов, входящих в молекулу ДНК.

Задача 8. Сколько молекул рибозы и фосфорной кислоты содержится в молекуле иРНК, если количество цитозина составляет 1000, урацила – 500, гуанина – 600, аденина – 400?

Задача 9. Сколько содержится адениловых, тимидиловых и гуаниловых нуклеотидов во фрагменте молекулы ДНК, если в нем обнаружено 950 цитидиловых нуклеотидов, составляющих 20% от общего количества нуклеотидов в этом фрагменте ДНК?

Задача 10. Исследования показали, что 34% от общего числа нуклеотидов иРНК приходится на гуанин, 18% – на урацил, 28% – на цитозин, 20% – на аденин. Определите процентный состав азотистых оснований двухцепочечной ДНК, слепком с которой является указанная иРНК.

ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

Генная инженерия – это конструирование искусственным путем функционально активных генетических структур и наследственно измененных организмов. Для того чтобы искусственным путем наделить какой-либо организм новыми наследственными свойствами, нужно ввести в него новый ген или несколько генов от другого организма. Причем нужно, чтобы эти гены в чужом организме начали «работать» – производить белки. Осуществляется эта процедура с помощью двух операций – «разрезания» и «сшивания». Роль портняжных инструментов играют ферменты рестриктазы и лигазы.

Рестриктазы (своеобразные молекулярные ножницы), действуя на двухцепочечную ДНК, «узнают» в ней определенную последовательность нуклеотидов (рис.2).

Каждая рестриктаза узнает только свою последовательность ДНК, прикрепляется к ней и разрезает ее в месте прикрепления. Обычно рестриктазы распознают в молекулах ДНК очень короткие, но строго специфичные для каждого фермента участки длиной в 4 – 6 пар нуклеотидов и разрезают обе цепи ДНК посередине этих участков или с некоторым смещением. В первом случае образуются обрывки с ровными (тупыми) концами, а во втором – стороны разрезаемых цепочек ДНК заходят одна за другую. Такие одноцепочечные концы называются «липкими», поскольку они могут «слипаться» между собой в силу комплементарности.

Рестриктазы	Участки распознавания и места разреза ДНК
BamI	5' - Г - *Г - А - Т - Ц - Ц - 3' 3' - Ц - Ц - Т - А - Г - *Г - 5'
EcoRI	5' - Г - *А - А - Т - Т - Ц - 3' 3' - Ц - Т - Т - А - А - *Г - 5'
HindIII	5' - А - *А - Г - Ц - Т - Т - 3' 3' - Т - Т - Ц - Г - А - *А - 5'
HaeIII	5' - Г - *Г - Ц - Ц - 3' 3' - Ц - Ц - Г - *Г - 5'
HpaII	5' - Ц - *Ц - Г - Г - 3' 3' - Г - Г - Ц - *Ц - 5'
SmaI	5' - Ц - *Ц - Ц - Г - Г - Г - 3' 3' - Г - Г - Г - Ц - Ц - *Ц - 5'

Рис. 2. Некоторые рестриктазы и расщепляемые ими последовательности

ЗАДАЧИ

РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Имеется последовательность из 39 нуклеотидных пар двухцепочечной ДНК следующего состава:

5'-ЦЦТТАГГЦЦТГААТТААГГЦААТАГТГТГААТТЦАЦАТГ-3'

3'-ГГААТЦЦГГАЦТТААТТЦЦГТТАТЦАЦАЦТТААГТГТАЦ-5'

Каким способом и на сколько частей можно разрезать эту ДНК?

Решение. В данной последовательности ДНК имеется два участка распознавания: ГААТТЦ для рестриктазы EcoRI и ГГЦЦ для Hae III (см. рис. 2). Поэтому искомая ДНК может быть разрезана в двух местах с образованием трех различных фрагментов следующих последовательностей:

1) 5'-ЦЦТТАГГ-

3'-ГГААТЦЦ-

2) -ЦЦТГААТТААГГЦААТАГТГТГ-

-ГГАЦТТААТТЦЦГТТАТЦАЦАЦТТАА-

3) -ААТТЦАЦАТГ-3'

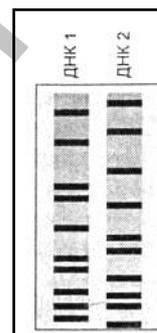
-ГТГТАЦ-5'

Задача 2. Рестрикционный фермент HindIII разрезает ДНК по последовательности ААГЦТТ. Насколько часто этот фермент будет разрезать

двухцепочечную ДНК? (Иными словами, какова средняя длина фрагментов разрезанной ДНК?).

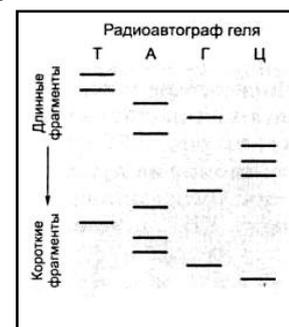
Решение. Нам необходимо рассмотреть только одну цепочку ДНК, поскольку обе цепочки имеют одинаковые, симметричные последовательности, хотя и разнонаправленные. Частота встречаемости фрагмента из 6 нуклеотидных пар для HindIII составит $(1/4)^6 = 1/4096$, так как вероятность для одного нуклеотида (допустим, А) занять конкретное место в цепочке ДНК составляет $1/4$, а таких мест имеется 6. Следовательно, среднее расстояние между участками разрезания рестриктазой HindIII составит около 4 тысяч нуклеотидных пар (4 тысячи баз или 4 килобазы).

Задача 3. Образцы человеческой ДНК, обработанные рестриктазами, были проанализированы методом фингерпринта с использованием радиоактивно меченого зонда, комплементарного к звеньям минисателлитной ДНК. Схематическое изображение радиогаммы проведенного фингерпринта ДНК представлено на рисунке. Исходя из характера спектра, укажите, у одного или двух человек была взята ДНК для анализа?



Решение. В каждом спектре образцов ДНК, представленных на рисунке, насчитывается по 10 фракций. Поскольку только 1 фракция у двух образцов полностью совпадает, в то время, как по девяти фракциям имеются четкие отличия, можно однозначно заключить, что ДНК 1 и ДНК 2 взяты для фингерпринта у двух неродственных индивидуумов.

Задача 4. Нуклеотидная последовательность короткого рестрикционного фрагмента ДНК длиной 15 нуклеотидов, была сиквенирована методом Максама-Гилберта. На основе спектра, представленного на радиогамме (см. рис.), определите (прочитайте) нуклеотидную последовательность фрагмента ДНК.



Решение. Суть метода определения (прочтения) нуклеотидной последовательности по результатам электрофореза на радиоавтографе геля заключается в следующем: чтение нуклеотидной цепочки начинается с радиоактивно меченого конца. Чем короче радиоактивный фрагмент на геле, тем ближе искомый нуклеотид расположен к началу цепочки. Поэтому самый короткий радиоактивный фрагмент и, соответственно, первый нуклеотид располагаются в самой нижней части геля. На нашей радиогамме это нуклеотид Ц, второй – Г, третий и четвертый – А, пятый – Т, шестой – А и т.д. вверх по радиоавтографу геля.

Таким образом, нуклеотидная последовательность короткого рестрикционного фрагмента ДНК из 15 нуклеотидов по результатам сиквенирования, представленного на данной радиогамме, следующая: ЦГААТАГЦЦАГАТТ.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задача 1. Имеется последовательность из 24 нуклеотидных пар двухцепочечной ДНК следующего состава:

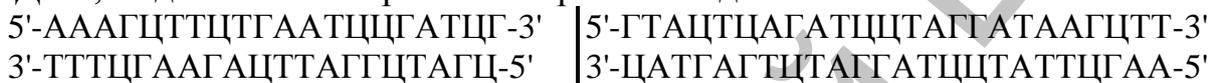


Каким способом и на сколько частей можно разрезать эту ДНК?

Задача 2. Ниже приведены две последовательности одноцепочечных молекул ДНК. Какую из них в двухцепочечной форме могут разрезать известные вам рестриктазы?

- а) 5'-АЦТЦАГААТТЦДЦТЦЦГ-3'
б) 5'-ГЦЦТЦАТТЦГААГЦЦТГА-3'.

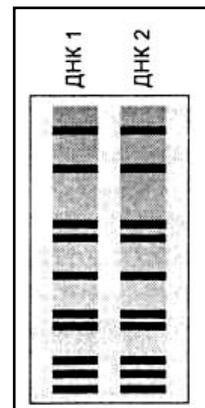
Задача 3. Ниже приведены последовательности двух фрагментов ДНК, выделенных из организмов разных видов.



С помощью каких ферментов можно получить гибридную молекулу ДНК из этих фрагментов? Опишите последовательные этапы получения гибридной молекулы.

Задача 4. Рестрикционный фермент Нра II разрезает ДНК по последовательности ЦЦГГ. Какова средняя длина фрагментов разрезанной ДНК?

Задача 5. Была установлена нуклеотидная последовательность короткого фрагмента ДНК дрозофилы, состоящая из 30 нуклеотидов. Эта последовательность имела следующий состав: ТЦАЦТГЦЦЦТТТЦ-ЦАГТЦГГГАААЦЦТГ. Как будет выглядеть схема радиogramмы сиквенса ДНК для этих 30 нуклеотидов?



Задача 6. На рисунке представлено схематическое изображение радиogramмы образцов человеческой ДНК, проанализированных методом фингерпринта с использованием радиоактивно меченого зонда, комплементарного к звеньям минисателлитной ДНК. Исходя из характера спектра, укажите, у одного или двух человек была взята ДНК для анализа?

Задача 7. Если образцы человеческой ДНК, представленные на радиogramме в предыдущей задаче, были взяты у двух человек, то в какой степени родства по отношению друг к другу они находятся?

Задача 8. Образцы ДНК, взятые у матери, ее ребенка и двух мужчин, претендующих на то, что они являются отцами, были проанализированы методом фингерпринта минисателлитной ДНК.



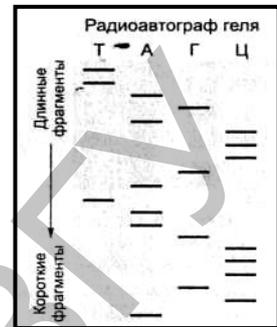
Радиogramма полученных спектров ДНК четырех человек представлена на рисунке.

Проанализируйте представленные спектры ДНК после фингерпринта и укажите, кто из двух мужчин является биологическим отцом данного ребенка?

Задача 9. В ходе молекулярно-генетических экспериментов возникла необходимость установить нуклеотидную последовательность короткого рестрикционного фрагмента ДНК мыши длиной в 20 нуклеотидных пар, сиквенированного методом Максама-Гилберта.

Схематическое изображение радиоавтографа геля, полученного в результате сиквенирования, представлено на рисунке.

Определите точную нуклеотидную последовательность рестрикционного фрагмента ДНК мыши длиной в 20 нуклеотидных пар?



Задача 10. Просиквенированный фрагмент ДНК имеет следующую нуклеотидную последовательность:

ГЦЦАГЦТГЦАТТААТГААТЦГГЦЦААЦГЦГ.

Изобразите схему радиограммы сиквенса ДНК для этих нуклеотидов?

ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Гаметы (половые клетки) содержат гаплоидный набор хромосом и образуются в половых органах:

- у животных (в процессе мейоза)
 - яйцеклетки – в яичниках,
 - сперматозоиды – в семенниках;
- у растений и грибов (у одних видов могут образовываться в процессе мейоза, а у других – в процессе митоза)
 - яйцеклетки (у некоторых – изо- или гетерогаметы) – в архегониях,
 - сперматозоиды (у семенных растений – спермии) – в антеридиях.

При выписывании гамет необходимо помнить, что:

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

2) если организм гомозиготен (AA или aa), то все гаметы, сколько бы их не образовалось, будут содержать один ген (A или a), т.е. все они будут однотипны и, следовательно, гомозиготный организм будет образовывать один тип гамет;

3) если организм гетерозиготен (Aa), то в процессе мейоза один ген (A) пропадет в одну гамету, а второй ген (a) – в другую, следовательно, гетерозиготный организм будет образовывать два типа гамет;

4) формула для выписывания гамет $N=2^n$, где N – число типов гамет, а n – количество признаков, по которым данный организм гетерозиготен.

ЗАДАЧИ РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Выпишите типы гамет, которые образуются у особей, имеющих следующие генотипы:

- | | |
|-----------|-------------|
| 1) AA ; | 3) ss ; |
| 2) Rr ; | 4) $AaBb$. |

Решение. По формуле $N=2^n$ определяем число типов гамет у особей со следующими генотипами:

- 1) у особи AA один тип гамет ($2^0=1$) – A ;
- 2) у особи Rr два типа гамет ($2^1=2$) – R и r ;
- 3) у особи ss один тип гамет ($2^0=1$) – s ;
- 4) у особи $AaBb$ четыре типа гамет ($2^2=4$) – AB, Ab, aB, ab .

Задача 2. Мужская особь имеет генотип Mm . Какие типы сперматозоидов образуются у этой особи? Каково численное соотношение сперматозоидов разных типов? Какой биологический процесс регулирует это соотношение?

Решение. У мужской особи с генотипом Mm образуются два типа сперматозоидов с генами M и m в соотношении 1:1 (по 50%). В основе этого соотношения лежит механизм расхождения хромосом и хроматид в анафазу мейоза 1 и анафазу мейоза 2.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задача 1. Сколько типов гамет образуют:

- 1) особь, гомозиготная по одному доминантному признаку?
- 2) особь, гетерозиготная по одному признаку?
- 3) особь с одним рецессивным признаком?
- 4) особь с двумя рецессивными признаками?
- 5) особь, гетерозиготная по двум признакам?

Задача 2. Сколько типов гамет, и какие именно образуют организмы, имеющие следующие генотипы:

- | | | |
|-------------|-------------|-------------|
| а) $AABB$? | в) $aabb$? | д) $AABb$? |
| б) $aaBB$? | г) $AaBb$? | е) $aaBb$? |

Задача 3. Сколько типов гамет, и какие именно образуют следующие организмы:

- а) моногибрид по гену A ?
- б) дигибрид по генам A и B ?
- в) тригибрид по генам A, B и C ?

Задача 4. Сколько типов гамет, и какие именно образует организм:

- 1) гетерозиготный по одной паре генов?
- 2) гетерозиготный по двум парам генов?
- 3) гетерозиготный по четырём парам генов?

Задача 5. Сколько типов гамет, и какие именно образуют организмы со следующими генотипами:

- | | |
|-----------------|-----------------|
| а) $AaBbDdHh$; | в) $DdeeFfTT$; |
| б) $MMnnssRR$; | г) $MmNnSsFf$. |

Задача 6. Выпишите типы гамет, которые образуются у особей, имеющих следующие генотипы:

а) $aaBbCCDd$;

б) $BBddFftt$;

в) $SsffHhLL$?

Задача 7. Светловолосый кареглазый мужчина из семьи, все члены которой имели карие глаза, женился на голубоглазой темноволосой женщине, мать которой была светловолосой. Сколько типов гамет, и каких именно образуются у мужчины и женщины?

Задача 8. У собак висячие уши доминируют над стоячими. От скрещивания гетерозиготных собак с висячими ушами с собаками, имеющими стоячие уши, получено 214 щенков с висячими ушами. Сколько типов гамет, и каких именно может образоваться у собак со стоячими ушами?

Задача 9. Две черные самки мыши скрещивались с коричневым самцом. Одна самка мыши дала 20 черных и 17 коричневых потомков, а другая – 33 черных. Сколько типов гамет, и какие именно могут образовывать обе самки и самец?

Задача 10. У людей светлые волосы и голубые глаза – рецессивные признаки. Определите, сколько типов гамет, и какие именно образуют родители, если:

а) у светловолосой матери и темноволосого отца 5 детей и все темноволосые;

б) у голубоглазого отца и кареглазой матери 5 детей, из них 2 – голубоглазые.

МОНОГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ

Моногибридное скрещивание — скрещивание форм, отличающихся друг от друга по одной паре альтернативных признаков. Моногибридное наследование представляет собой пример наследования единственного признака (гена), различные формы которого называют аллелями (рис. 3).

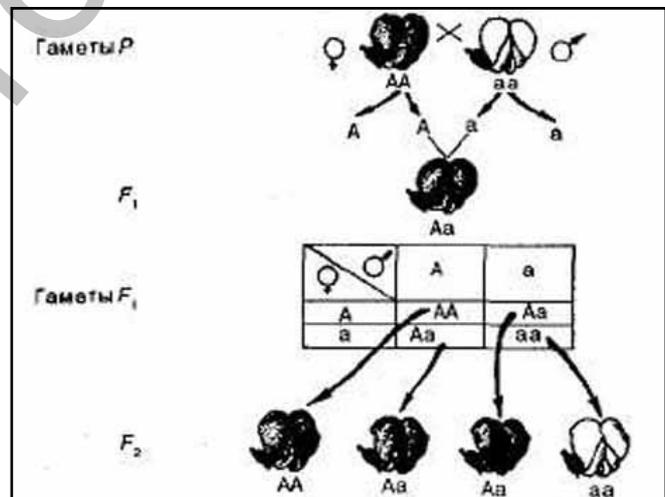


Рис. 3. Схема моногибридного скрещивания

Первый закон Менделя – закон единообразия гибридов первого поколения (закон доминирования). Формулировка закона: при скрещивании гомозиготных особей, анализируемых по одному альтернативному признаку, наблюдается единообразие гибридов первого поколения по генотипу и фенотипу. Для этого закона нет условий, ограничивающих его действие при полном доминировании (всегда при скрещивании гомозигот потомство единообразно).

Второй закон Менделя – закон расщепления. Формулировка закона: при скрещивании гибридов первого поколения (гетерозиготных особей) между собой наблюдается расщепление 3:1 по фенотипу и 1:2:1 по генотипу. Для этого закона есть условия, ограничивающие его действие:

- 1) все разновидности внутриаллельного взаимодействия генов, кроме полного доминирования;
- 2) летальные и полуметальные гены;
- 3) неравная вероятность образования гамет и зигот разных типов;
- 4) пенетрантность гена менее 100%;
- 5) плейотропное действие генов.

Возвратное скрещивание (беккросс) - скрещивание гибрида (животных или растений) первого поколения с одной из родительских форм для выявления генотипа.

Анализирующее скрещивание – скрещивание особи с доминантным фенотипом с гомозиготной рецессивной особью. Если в результате скрещивания получается единообразие гибридов первого поколения, то анализируемая особь гомозиготна, а если в F₁ происходит расщепление 1:1, то анализируемая особь гетерозиготна.

Реципрокные скрещивания – (от лат. *reciprocus* – взаимный), система двух скрещиваний, при которой каждая из генотипически различных родительских форм используется один раз в качестве материнской и другой – в качестве отцовской. Применяют в генетических исследованиях и в селекции.

ЗАДАЧИ

РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. У человека карий цвет глаз доминирует над голубым. Голубоглазый мужчина женился на кареглазой женщине, отец которой голубоглазый, а мать – кареглазая. От этого брака родился один ребенок с карими глазами. Каковы генотипы родителей и ребенка?

Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Карий цвет глаз	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Голубой цвет глаз	<i>a</i>	<i>aa</i>

Голубоглазый мужчина имеет генотип *aa*, поскольку это рецессивный признак. Женщина гетерозиготна (*Aa*), поскольку от отца она получила рецессивный ген, а от матери – доминантный. Их кареглазый ребенок тоже гетерозиготен, поскольку его отец имеет голубые глаза.

Генетическая запись брака:

$$\begin{aligned}
 P: & \quad \text{♀ } Aa \times \text{♂ } aa \\
 G: & \quad (A) \quad (a) \quad (a) \quad (a) \\
 F_1: & \quad Aa
 \end{aligned}$$

Задача 2. Фенилкетонурия (нарушение обмена фенилаланина, в результате которого развивается слабоумие) наследуется как аутосомно-рецессивный признак. Какими будут дети в семье, где родители гетерози-

готовны по этому признаку? Какова вероятность рождения детей, больных фенилкетонурией?

Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Норма	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Фенилкетонурия	<i>a</i>	<i>aa</i>

P: ♀ *Aa* X ♂ *Aa*

G: (*A*) (*a*) (*A*) (*a*)

F₁: *AA, 2Aa, aa*

В брак вступают гетерозиготные родители *Aa* и *Aa*. Фенотипически они здоровы. При браках гетерозиготных родителей вероятны генотипы детей: *AA* (25%), *Aa* (50%) и *aa* (25%). Следовательно, вероятность рождения больных детей составляет 25%.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задача 1. Ген жёлтого цвета у гороха доминирует над геном зелёного цвета. Какое потомство F₁ получится от скрещивания жёлтого сортового гороха с зелёным? Какое потомство F₂ получится от скрещивания гибридов между собой?

Задача 2. У человека ген длинных ресниц доминирует над геном коротких ресниц. Женщина с длинными ресницами, у отца которой ресницы были короткими, вышла замуж за мужчину с короткими ресницами. Сколько типов гамет образуется у женщины? А у мужчины? Какова вероятность рождения в данной семье ребенка с длинными ресницами? Сколько разных генотипов может быть у детей в этой семье? А фенотипов?

Задача 3. Ген диабета рецессивен по отношению к гену нормального состояния. У здоровых супругов родился ребенок, больной диабетом. Сколько типов гамет может образоваться у отца? А у матери? Какова вероятность рождения здорового ребенка в данной семье? Сколько разных генотипов может быть у детей в этой семье? Какова вероятность того, что второй ребенок родится больным?

Задача 4. У человека ген полидактилии (многопалости) доминирует над нормальным строением кисти. У жены кисть нормальная, муж гетерозиготен по гену полидактилии. Определите вероятность рождения в этой семье многопалого ребенка.

Задача 5. У норки коричневая окраска меха доминирует над голубой. Скрестили коричневую самку с самцом голубой окраски. Среди потомства два щенка коричневых и один голубой. Чистопородна ли самка?

Задача 6. При скрещивании черной самки кролика с белым самцом в первом поколении получили потомство черного цвета. Какая окраска шерсти у кроликов доминирует? Каковы генотипы родителей и гибридов первого поколения по признаку окраски шерсти? Какие генетические закономерности проявляются при такой гибридизации?

Задача 7. При скрещивании шаровидных и грушевидных плодов то-

мата в первом поколении все потомство имеет шаровидную форму. При скрещивании гибридов между собой во втором поколении получили 75% шаровидных и 25% грушевидных плодов. Какая форма плода томата (шаровидная или грушевидная) доминирует? Каковы генотипы родителей и гибридов 1 и 2 поколения? Какие генетические закономерности, открытые Менделем, проявляются при такой гибридизации?

Задача 8. У Саши и Паши глаза серые, а у их сестры Маши глаза зелёные. Мать этих детей сероглазая, хотя оба её родителя имели зелёные глаза. Ген, ответственный за цвет глаз расположен в неполовой хромосоме (аутосоме). Определить генотипы родителей и детей. Составить схему скрещивания.

Задача 9. Альбинизм – наследственная аутосомно-рецессивная патология. Женщина-альбинос вышла замуж за здорового мужчину и родила больного ребенка. Какова вероятность, что следующий ребенок будет альбиносом?

Задача 10. От скрещивания комолого быка с рогатыми коровами получено 17 телят комолых и 21 рогатый; у коров-матерей комолых животных в родословных не было. Какой признак доминирует? Каков генотип быка и коров? Может ли от рогатых коровы и быка родиться комолый теленок? Какое может быть потомство от комолой коровы и рогатого быка? Приведите все возможные случаи.

ДИГИБРИДНОЕ И ПОЛИГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ

Скрещивание, при котором организмы анализируются по двум альтернативным признакам, называется **дигибридным**, если анализируется более двух признаков – **полигибридным**.

Третий закон Менделя – закон независимого комбинирования признаков. Формулировка закона: при скрещивании гомозиготных организмов, анализируемых по двум или более альтернативным признакам, во втором поколении наблюдается независимое наследование признаков и комбинирование соответствующих им генов разных аллельных пар (рис. 4).

Для удобства записи пользуются решеткой Пеннета, в которой по горизонтали записывают женские гаметы, а

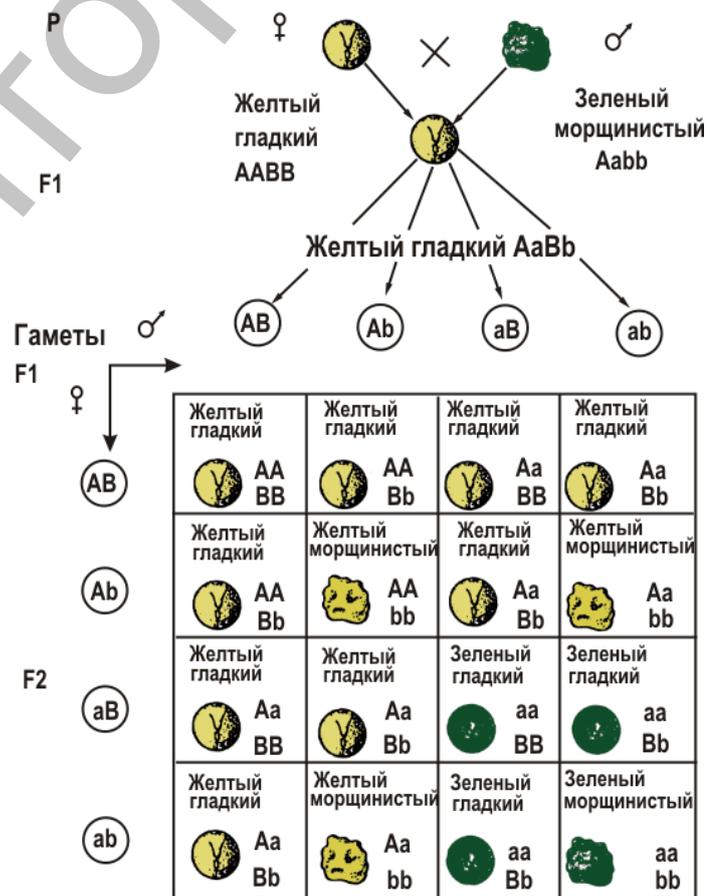


Рис. 4. Схема дигибридного скрещивания.

по вертикали – мужские. В результате скрещивания получают разные комбинации генов. Генотип записывается при помощи фенотипического радикала. Фенотипический радикал – это краткая запись генотипа на основе фенотипа.

Для проявления третьего закона Менделя необходимо соблюдение следующих условий:

- 1) отсутствие взаимодействия генов, кроме полного доминирования;
- 2) отсутствие летальных и полуметальных генов;
- 3) отсутствие сцепления генов;
- 4) равновероятный механизм образования гамет и зигот разных типов;
- 5) пенетрантность гена 100%;
- 6) отсутствие плейотропного действия генов.

ЗАДАЧИ

РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. У морских свинок ген *A* определяет черную окраску шерсти, ген *a* – белую. Развитие короткой шерсти определяется геном *B*, а длинной – *b*. Дигетерозиготные особи были скрещены между собой. Среди потомства были черные короткошерстные, черные длинношерстные и белые короткошерстные свинки. Укажите генотипы родителей и потомков. Подумайте, могли ли у этой пары родителей быть потомки с иным фенотипом; если да, то с каким? Напишите их генотип. Укажите причину отсутствия потомков данного фенотипа.

Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Черная шерсть	<i>A</i>	<i>AA</i> или <i>Aa</i>
Белая шерсть	<i>a</i>	<i>aa</i>
Короткая шерсть	<i>B</i>	<i>BB</i> или <i>Bb</i>
Длинная шерсть	<i>b</i>	<i>bb</i>

Дигетерозиготные родители имели генотип *AaBb*. Каждый из них образовывал по 4 типа гамет: (*AB*), (*Ab*), (*aB*) и (*ab*). Черные короткошерстные свинки могли иметь генотип *AABB*, *AABb*, *AaBB*, *AaBb*, черные длинношерстные – *AAbb*, *Aabb*, белые короткошерстные – *aaBB* и *aaBb*.

$$\begin{array}{l}
 \text{P:} \quad \text{♀ } AaBb \quad \times \quad \text{♂ } AaBb \\
 \text{G:} \quad (AB)(Ab)(aB)(ab) \quad \quad \quad (AB)(Ab)(aB)(ab) \\
 \text{F}_1: \quad \quad \quad A_B_; A_bb; aaB_
 \end{array}$$

Согласно третьему закону Менделя, возможен четвертый фенотипический класс – белые длинношерстные свинки с генотипом *aabb*. Вероятность появления потомков этого фенотипического класса ниже, чем остальных.

Ответ. Генотипы родителей – *AaBb*; черные короткошерстные свинки могли иметь генотип *AABB*, *AABb*, *AaBB*, *AaBb*, черные длинношерстные – *AAbb*, *Aabb*, белые короткошерстные – *aaBB* и *aaBb*. В потомстве нет белых длинношерстных свинок (*aabb*), так как вероятность их появления очень мала.

Задача 2. У человека альбинизм и способность владеть преимущественно левой рукой – рецессивные признаки, наследуемые независимо. Каковы генотипы родителей с нормальной пигментацией и владеющих правой рукой, если у них родился ребенок альбинос и левша?

Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Пигментация кожи	<i>A</i>	<i>AA</i> или <i>Aa</i>
Альбинизм	<i>a</i>	<i>aa</i>
Правша	<i>B</i>	<i>BB</i> или <i>Bb</i>
Левша	<i>b</i>	<i>bb</i>

Ребенок-альбинос левша имеет генотип *aabb*. Один ген альбинизма он унаследовал от матери, другой – от отца. У него два аллеля, определяющих способность владеть левой рукой, один аллель от отца, другой – от матери. Значит, его родители несли рецессивные аллели каждого гена и были дигетерозиготными – *AaBb*. Каждый из них образовывал по 4 типа гамет: (*AB*), (*Ab*), (*aB*) и (*ab*).

Р: ♀ *AaBb* × ♂ *AaBb*
 Г: (*AB*)(*Ab*)(*aB*)(*ab*) (*AB*)(*Ab*)(*aB*)(*ab*)
 F₁: *A_B_*; *A_bb*; *aaB_*; *aabb*

Ответ. Генотипы родителей *AaBb*.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задача 1. У плодов арбуза корка может быть зеленая или полосатая, форма плода длинная или круглая. Гомозиготное растение с длинными зелеными плодами скрещено с гомозиготным же, имеющим круглые полосатые плоды. В F₁ плоды круглые зеленые. Какие будут F₂? Что получится в F₁ и F₂ при скрещивании сортов с круглыми зелеными и длинными зелеными плодами?

Задача 2. Черные морские свинки с курчавой шерстью при скрещивании друг с другом дали двух потомков – курчавого белого и гладкого черного. Какое потомство можно ожидать в дальнейшем от этих свинок?

Задача 3. У кур черная окраска оперения определяется геном *E*, бурая – *e*, наличие хохла – *C*, отсутствие хохла – *c*. Бурый хохлатый петух скрещен с черной курицей без хохла. В их потомстве половина цыплят черных хохлатых и половина бурых хохлатых. Каковы генотипы родителей – петуха и курицы?

Задача 4. У томатов красная окраска плода определяется доминантным геном *R*, желтая – *r*; нормальный рост растения – *D*, карликовый – *d*. Имеются сорта желтоплодный нормальный и красноплодный карликовый. Как с этим исходным материалом целесообразнее получить гомозиготные формы: красноплодную нормальную и желтоплодную карликовую? Какую получить легче?

Задача 5. У дурмана пурпурная окраска цветков (P) доминирует над белой (p), а колючие семенные коробочки (S) – над гладкими (s). Пурпурноцветковое гладкое растение, скрещенное с белоцветковым колючим, дало 320 пурпурноцветковых колючих и 312 пурпурноцветковых гладких. Каковы фенотипы и генотипы потомков, полученных от скрещивания этих двух типов F_1 между собой?

Задача 6. У тыквы белая окраска плодов определяется геном W , окрашенность плодов – w ; дисковидная форма плода – S , сферическая – s . Сколько разных генотипов может быть в отношении окраски и формы плодов? Какие фенотипы соответствуют этим генотипам? Сколько возможно различных гомозиготных форм?

Задача 7. Темноволосая курчавая голубоглазая мать и темноволосый кареглазый отец с гладкими волосами имеют светловолосого голубоглазого ребенка с гладкими волосами. Каковы генотипы родителей?

Задача 8. Скрещивая два растения томатов с рассеченными листьями, одно из которых имело красные многогнездные плоды, а другое желтые двугнездные плоды, получили все потомство с рассеченными листьями с красными и желтыми двугнездными плодами. Каковы генотипы родительских растений?

Задача 9. Гетерозиготный рыжеволосый (доминантный признак) и без веснушек мужчина женился на русоволосой женщине с веснушками (доминантный признак). Определите вероятность рождения у таких родителей детей с рыжими волосами и веснушками.

Задача 10. У душистого горошка высокий рост (T) доминирует над карликовым (t), зеленая окраска бобов (G) – над желтой (g), а круглая форма семян (R) – над морщинистой (r). Какое будет потомство следующих скрещиваний (даны генотипы родителей):

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1) $TTGgRr \times ttGgrr$ | 3) $ttggRr \times TtGgrr$ |
| 2) $TTGGRr \times TtGgRr$ | 4) $TtGgrr \times ttGgRr$ |

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АЛЛЕЛЬНЫХ ГЕНОВ

Гены, определяющие развитие альтернативных признаков называются **аллельными**. Они располагаются в одинаковых локусах гомологичных (парных) хромосом. В нормальной диплоидной клетке могут присутствовать не более двух аллелей одного гена одновременно. В одной гамете два аллеля находиться не могут.

Полное доминирование – доминантный ген полностью подавляет действие рецессивного гена, поэтому гомозиготное и гетерозиготное состояния фенотипически идентичны: $AA=Aa$. Примером является наследование цвета глаз и волос у человека, окраска и форма семян гороха и др.

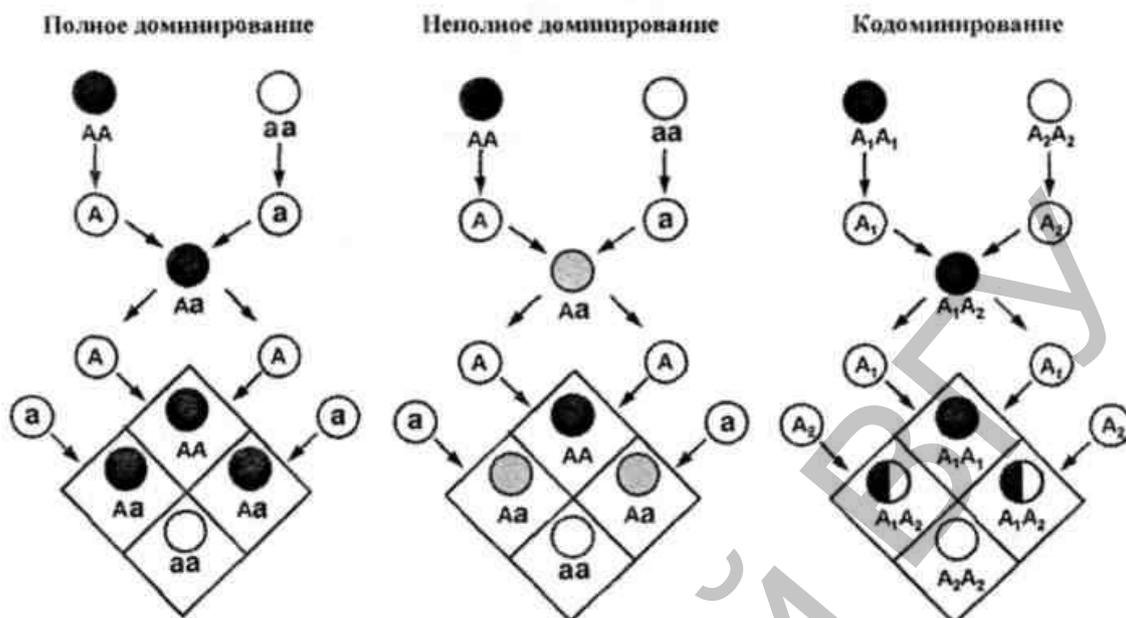


Рис. 5. Схемы взаимодействия аллельных генов

Неполное доминирование или промежуточное наследование – доминантный ген не полностью подавляет действие рецессивного гена и в гетерозиготном состоянии возникает фенотипически новый вариант признака, занимающий промежуточное положение между доминантным и рецессивным: $AA > Aa$. При этом расщепление по фенотипу и генотипу во втором поколении оказывается одинаковым – 1:2:1. Так наследуется окраска венчика некоторых растений, окраска оперения кур, масть крупного рогатого скота, курчавость волос у человека и др.

Сверхдоминирование – в гетерозиготном состоянии доминантный ген проявляется сильнее, чем в гомозиготном: $Aa > AA$.

Кодоминирование – два аллельных гена равнозначны по отношению друг к другу, и, находясь вместе, они обуславливают новый вариант признака. Примером является наследование IV группы крови у человека по системе АВО.

ЗАДАЧИ

РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Какие группы крови возможны у детей, если у матери – вторая группа, а у отца – первая?

Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

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

Мать со второй группой крови может быть либо гомозиготной, либо гетерозиготной.

$$1) \quad P: \text{♀ } I^A I^A \times \text{♂ } i^0 i^0 \\ G: (I^A) \quad (i^0) \\ F_1: \quad I^A i^0$$

Если мать гомозиготна, то ребенок может иметь только I(0) группу крови.

$$2) \quad P: \text{♀ } I^A i^0 \times \text{♂ } i^0 i^0 \\ G: (I^A) (i^0) \quad (i^0) \\ F_1: I^A i^0; \quad i^0 i^0$$

Если мать гетерозиготна, то у ребенка может быть I(0) или II(A) группы крови.

Задача 2. При скрещивании между собой растений красноплодной земляники всегда получаются растения с красными ягодами, а белоплодной – с белыми. В результате скрещивания обоих сортов получаются розовые ягоды. Какое потомство получится при опылении красноплодной земляники пыльцой растения с розовыми ягодами?

Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Красные плоды	<i>A</i>	<i>AA</i>
Белые плоды	<i>a</i>	<i>aa</i>
Розовые плоды	<i>A, a</i>	<i>Aa</i>

Растения с красными и белыми плодами при скрещивании между собой не давали в потомстве расщепления. Это указывает на то, что они являются гомозиготными (*AA, aa*).

Скрещивание гомозиготных особей, отличающихся по фенотипу, приводит к образованию у гетерозигот нового фенотипа *Aa* (розовая окраска плодов). Это свидетельствует о том, что в данном случае наблюдается явление промежуточного наследования. Таким образом, растения с розовыми плодами являются гетерозиготными, а с белыми и красными – гомозиготными.

$$P: \text{♀ } AA \times \text{♂ } Aa \\ G: (A) (A) \quad (A) (a) \\ F_1: \quad AA, Aa$$

В результате скрещивания красноплодной и розовоплодной сортов клубники получается 50% красноплодных и 50% розовоплодных потомков.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задача 1. У гороха желтая окраска семян доминантна по отношению к зеленой. От скрещивания гомозиготных желтосемянного и зеленосемянного растений получено 158 семян в F_1 и 3256 – в F_2 . Сколько семян F_1 гомозиготны? Сколько разных генотипов имеют семена F_1 ? Сколько разных фенотипов имеют семена F_2 ? Сколько семян F_2 могут быть гомозиготными? Сколько зеленых семян может быть в F_2 ?

Задача 2. Определите вероятность рождения светловолосых детей в следующих случаях:

- оба родителя гомозиготные темноволосые;
- один гомозиготный темноволосый, другой светловолосый;

- в) один гетерозиготный темноволосый, другой светловолосый;
- г) оба гетерозиготные по признаку темноволосости;
- д) один гомозиготный темноволосый, другой гетерозиготный темноволосый;
- е) оба родителя светловолосые.

Задача 3. От брака женщины с прямыми волосами и мужчины, имеющего волнистые волосы, рождается ребенок с прямыми, как у матери, волосами. Может ли появиться в этой семье ребенок с волнистыми волосами? С курчавыми волосами? Известно, что у гетерозигот волосы волнистые.

Задача 4. Потомство лошадей белой и гнедой мастей всегда имеет золотисто-желтую окраску. У двух золотисто-желтых лошадей появляются жеребята: белый и гнедой. Рассчитайте, какова была вероятность появления таких жеребят, если известно, что белая масть определяется доминантным геном неполного доминирования, а гнедая - рецессивным геном. Будут ли среди потомства этих лошадей золотисто-желтые жеребята? Какова вероятность появления таких жеребят?

Задача 5. Андалузские (голубые) куры - это гетерозиготы, появляющиеся обычно при скрещивании белых и черных кур. Какое оперение будет иметь потомство, полученное от скрещивания белых и голубых кур, если известно, что ген, обуславливающий черное оперение у кур, - это ген неполного доминирования (по отношению к рецессивному гену, ответственному за формирование белого цвета оперения)?

Задача 6. Гетерозиготная женщина со II группой крови вышла замуж за гетерозиготного мужчину с III группой крови. Какие группы крови могут иметь их дети?

Задача 7. У родителей, имеющих третью и первую группы крови, родился ребенок с первой группой крови. Какова вероятность того, что их следующий ребенок будет иметь первую группу крови?

Задача 8. У мальчика группа крови АВ, резус положительный, а у его брата - О, резус отрицательный. Каковы группы крови у родителей?

Задача 9. В роддоме перепутали двух детей. Группа крови одного ребенка - А и резус положительный, а другого - О и резус отрицательный. В одной семье у обоих родителей группа крови АВ, причем у отца резус положительный, а у матери - отрицательный. В другой семье у обоих родителей резус положительный, причем у отца группа крови А, а у матери - В. Можно ли определить, кто чей ребенок?

Задача 10. На одного ребенка резус-отрицательного и имеющего группу крови АВ претендуют две родительские пары:

- а) мать резус-отрицательная с группой крови А и отец резус-положительный с группой крови А;
- б) мать резус-положительная с группой крови В и отец резус-положительный с группой крови А. Какой паре принадлежит ребенок?

МНОЖЕСТВЕННЫЙ АЛЛЕЛИЗМ

Множественный аллелизм – это существование в популяции более двух аллелей данного гена. В популяции оказываются не два аллельных гена, а несколько. Возникают в результате разных мутаций одного локуса. Гены множественных аллелей взаимодействуют между собой различным образом.

Летальные гены – летальными называются аллели, носители которых погибают из-за нарушений развития или заболеваний, связанных с работой данного гена.

Полулетальные гены – это гены, снижающие жизнеспособность особи.

Плейотропия – это явление, при котором один ген может определять несколько разных признаков. Например, у мухи дрозофилы ген, определяющий отсутствие пигмента в глазах, снижает плодовитость и уменьшает продолжительность жизни.

Пенетрантность – частота фенотипического проявления генов: процентное соотношение числа особей, имеющих данный признак к числу особей, имеющих данный ген.

РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Хондродистрофия (нарушение развития скелета) в большинстве случаев зависит от гена с полной пенетрантностью, причем гомозиготы по данному гену погибают до рождения. Супруги больны хондродистрофией. Определите вероятность рождения у них здорового ребенка.

Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Хондродистрофия	A, a	Aa
Хондродистрофия и внутриутробная гибель	A, A	AA
Нормальное развитие скелета	a	aa

Из условия задачи известно, что гомозиготы AA погибают внутриутробно, следовательно, супруги гетерозиготны по гену хондродистрофии.

Генетическая запись брака:

$P: \text{♀ } Aa \times \text{♂ } Aa$

$G: (A) (a) (A) (a)$

$F_1: AA, 2Aa, aa$

Дети с генотипом AA погибают, с генотипом Aa – больны, aa – здоровы. Следовательно, вероятность рождения здоровых детей составляет $1/3$ или 33,3%.

Задача 2. Ангиоматоз сетчатки глаза (развитие множественных опухолевых образований в сетчатке, центральной нервной системе, а также в некоторых внутренних органах и железах внутренней секреции) детерминирован доминантным аутосомным геном, пенетрантность которого – 50%. Какова вероятность (в процентах) рождения больного ребенка в семье, где родители гетерозиготны по данному гену?

Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Ангиоматоз сетчатки	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Норма	<i>a</i>	<i>aa</i>

Генетическая запись брака:

$$\begin{aligned}
 P: & \text{♀ } Aa \times \text{♂ } Aa \\
 G: & (A) (a) (A) (a) \\
 F_1: & AA, 2Aa, aa
 \end{aligned}$$

Вероятность того, что дети в семье будут иметь ангиоматоз, равна $3/4$. Но заболевание проявится только у 50% ($1/2$) детей, имеющих ген ангиоматоза. Вероятность их рождения составит $3/4 \times 1/2 = 3/8$ (37,5%).

Задача 3. По данным шведских генетиков, некоторые формы шизофрении наследуются как аутосомно-доминантные признаки. У гомозигот пенетрантность гена равна 100%, а у гетерозигот – 20%. Определите вероятность рождения больных детей в семье, где оба родителя гетерозиготны.

Решение. Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Шизофрения	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Норма	<i>a</i>	<i>aa</i>

Генетическая запись брака:

$$\begin{aligned}
 P: & \text{♀ } Aa \times \text{♂ } Aa \\
 G: & (A) (a) (A) (a) \\
 F_1: & AA, 2Aa, aa
 \end{aligned}$$

Вероятность рождения гомозиготного по доминантному признаку ребенка равна 25%. Пенетрантность гена у гомозигот составляет 100%, следовательно, все эти дети будут страдать шизофренией.

Вероятность рождения гетерозиготного ребенка равна 50%. Пенетрантность гена у гетерозигот составляет 20%. Следовательно, только $1/5$ часть таких детей будет больна шизофренией ($0,5 \times 0,2 = 0,1 = 10\%$). Таким образом, вероятность рождения в этой семье детей, больных шизофренией, равна 35% (25% детей-гомозигот и 10% детей-гетерозигот по доминантному гену).

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задача 1. Подагра определяется доминантным аутосомным геном. Пенетрантность гена в гетерозиготном состоянии у мужчин составляет 20%, а, у женщин практически равна нулю. Какова вероятность заболевания подагрой у детей в семье гетерозиготных родителей? Какова вероятность заболевания подагрой для детей в семье, где один из родителей гетерозиготен, другой нормален по анализируемому признаку?

Задача 2. Синдром неравномерной пигментации кожи встречается только у женщин. У них рождаются только здоровые сыновья, дочери же бывают или абсолютно здоровы, или с неравномерной пигментацией кожи.

Кроме того, у таких женщин частые выкидыши мужского пола. Какова возможная генетическая природа этого заболевания?

Задача 3. Ген брахидактилии (короткие и толстые пальцы) B в гомозиготном состоянии приводит к гибели особи. Гетерозиготы жизнеспособны. Определите процент жизнеспособных детей у гетерозиготных родителей.

Задача 4. У мышей ген доминантной желтой пигментации шерсти A обладает летальным действием (мыши с генотипом AA погибают в эмбриогенезе). Его аллель a вызывает черную рецессивную пигментацию и обеспечивает нормальную жизнедеятельность. Скрещены две желтые особи. Какое расщепление по окраске шерсти ожидается в F_1 ?

Задача 5. Арахнодактилия (паучьи пальцы) наследуется как аутосомно-доминантный признак с пенетрантностью 30%. Умение преимущественно владеть левой рукой наследуется как аутосомно-рецессивный признак с полной пенетрантностью. Определите вероятность одновременного проявления обеих аномалий у детей в семье, где оба родителя гетерозиготны по двум признакам.

Задача 6. Какие пары наиболее выгодно скрещивать для получения платиновых лисиц, если платиновость доминирует над серебристостью, но в гомозиготном состоянии ген платиновости вызывает гибель зародыша?

Задача 7. Ген C^m , детерминирующий у человека светлую окраску волос, является рецессивным по отношению к гену темных волос C^D , но в свою очередь, доминирует над геном, обуславливающим рыжий цвет волос C^l . Какой цвет волос может быть у детей, если мужчина блондин, женщина темноволосая, а матери мужчины и женщины рыжеволосые?

Задача 8. Ретинобластома (опухоль сетчатки глаза) обусловлена доминантным геном, пенетрантность которого равна 70%. В медико-генетическую консультацию обратилась беременная женщина. В анамнезе известно, что она и ее муж здоровы, но имеют больного старшего сына. Также установлено, что в родословной женщины случаев ретинобластомы не встречалось, а отец мужа в детстве был оперирован по поводу ретинобластомы. Какова вероятность рождения больного ребенка в данной семье?

Задача 9. Черепно-лицевой дизостоз (преждевременное зарастание швов черепа и незаращение большого родничка) наследуется как аутосомно-доминантный признак с пенетрантностью 50%. Определите вероятность рождения больного ребенка, если один из родителей гетерозиготен по данному признаку, а второй родитель здоров.

Задача 10. У овец серая окраска (A) шерсти доминирует над черной, а рогатость (B) – над комолостью (безрогостью). Гены не сцеплены. В гомозиготном состоянии ген серой окраски вызывает гибель эмбрионов. Какое жизнеспособное потомство (по фенотипу и генотипу) и в каком соотношении можно ожидать от скрещивания дигетерозиготной овцы с гетерозиготным серым комолым самцом? Составьте схему решения задачи. Объясните полученные результаты.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕАЛЛЕЛЬНЫХ ГЕНОВ

Неаллельные гены – это гены, расположенные в различных аллельных парах. Неаллельные гены могут взаимодействовать между собой. При этом либо один ген обуславливает развитие нескольких признаков, либо, наоборот, один признак проявляется под действием совокупности нескольких генов.

Взаимодействие неаллельных генов приводит к возникновению в потомстве дигетерозиготы необычного расщепления по фенотипу: 9:7, 9:6:1, 9:3:3:1 (комплементарность); 13:3, 12:3:1 (доминантный эпистаз); 9:3:4 (рецессивный эпистаз); 15:1 (некумулятивная полимерия), 1:4:6:4:1 (кумулятивная полимерия).

Комплементарность – взаимодействие, при котором два доминантных неаллельных гена взаимно дополняют действие друг друга и обуславливают развитие нового варианта признака.

Эпистаз – взаимодействие, при котором один доминантный ген подавляет действие другого неаллельного гена и не дает ему проявиться фенотипически.

Полимерия – взаимодействие, при котором несколько доминантных неаллельных генов, обозначаемых одной буквой с разными цифровыми индексами, усиливают проявление одного фенотипического признака.

Модифицирующее действие генов проявляется в том, что некоторые гены не определяют какой-либо качественной реакции или признака, а лишь усиливают или ослабляют действие основного гена. Они называются генами – модификаторами. Например, у крупного рогатого скота пегая окраска шерсти определяется рецессивным геном и двумя генами модификаторами.

ЗАДАЧИ

РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Белое оперение определяется двумя парами несцепленных неаллельных генов. В одной паре доминантный ген определяет окрашенное оперение, рецессивный – белое. В другой паре доминантный ген подавляет окраску, рецессивный не подавляет окраску. Определить расщепление по фенотипу в F_2 при скрещивании белых птиц, имеющих генотип $CCII$, с белыми птицами, имеющими генотип $ccii$.

Решение. Оформим условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Окраска пера	C	CC или Cc
Отсутствие окраски	c	cc
Подавление гена окраски	I	Ii или Ii
Отсутствие подавления	i	ii

P: ♀ *CCII* x ♂ *ccii*
 G: (CI) (ci)
 F₁: *Ccli* - 100% - белые
 P₁ *CclixCcli*
 G₁: (CI) (Ci) (cI) (ci) (CI) (Ci) (cI) (ci)
 F₂:

♀ \ ♂	CI	Ci	cI	ci
CI	CCII	CCii	CcII	Ccli
Ci	CCii	CCii	Ccli	Ccii
cI	CcII	Ccli	ccII	ccli
ci	Ccli	Ccii	ccii	ccii

Ответ. F₁ белого цвета, т.к. проявляется закон единообразия и явление доминантного эпистаза. В F₂ происходит расщепление в соотношении 13 белых : 3 окрашенных.

Задача 2. При скрещивании двух растений люцерны с зелёными цветками получено потомство: 85 растений с зелёными, 33 с пурпурными, 32 с жёлтыми и 7 с белыми цветками. Каковы генотипы родительских растений?

Решение. При скрещивании двух одинаковых по фенотипу растений в потомстве выщепляются новые фенотипы, которых не было у родителей, т.е. проявляется взаимодействие генов – комплементарность. Расщепление близко к 9:3:3:1. В потомстве от скрещивания двух растений получено расщепление – значит, родители по доминантному гену были гетерозиготны.

P: ♀ *AaBb* x ♂ *AaBb*
 G: ♀ (*AB*) (*Ab*) (*aB*) (*ab*)
 F₁ ♂ (*AB*) (*Ab*) (*aB*) (*ab*)

F ₁ генотип	фенотип	расщепление
<i>AABB, AABb, AaBB, AaBb</i>	зелёные	9
<i>Aabb</i>	пурпурные	3
<i>aaBB, aaBb</i>	жёлтые	3
<i>aabb</i>	белые	1

Ответ. Генотип родительских растений *AaBb*.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задача 1. При скрещивании двух растений кукурузы с белыми зёрнами получены растения с пурпурными зёрнами. Во втором поколении получено 87 растений с пурпурными и 70 с белыми зёрнами. Как объяснить результаты скрещивания?

Задача 2. Наследование масти у лошадей обуславливается взаимодействием двух неаллельных генов по типу эпистаза. При скрещивании серой и вороной лошадей получен рыжий жеребёнок. Каковы генотипы родителей?

Задача 3. При скрещивании двух растений тыквы с дисковидными и удлиненными плодами получены растения, имеющие дисковидные, круглые и удлиненные плоды. Какая часть потомства должна иметь круглую форму плодов?

Задача 4. Рост человека контролируется тремя парами несцепленных генов, которые взаимодействуют по типу полимерии. Самые низкорослые люди имеют все рецессивные гены и рост 150 см, самые высокие – все доминантные и рост 180 см. Определите рост людей, гетерозиготных по трем парам генов: $A_1a_1A_2a_2A_3a_3$.

Задача 5. У попугайчиков-неразлучников цвет перьев определяется двумя парами несцепленных неаллельных генов. Сочетание двух доминантных генов (хотя бы по одному из каждого аллеля) определяет зеленый цвет. Сочетание доминантного гена из одной пары и рецессивных генов из другой определяет желтый или голубой цвет. Рецессивные особи по обоим парам аллелей имеют белый цвет. При скрещивании зеленых попугайчиков-неразлучников между собой получено потомство их 55 зеленых, 18 желтых, 17 голубых и 6 белых. Определите генотипы родителей и потомства.

Задача 6. Скрестили два растения разных сортов кукурузы, имеющих белую окраску зёрен. У растений F_1 были обнаружены окрашенные зёрна. В F_2 получили 148 растений с окрашенными и 115 с белыми зёрнами. Объясните результаты скрещивания. Напишите формулу расщепления.

Задача 7. У кур встречается четыре формы гребня, обусловленные взаимодействием двух пар генов (R, r и P, p). Ген R – детерминирует розовидный гребень; ген P – гороховидный гребень. При сочетании генов R и P развивается ореховидный гребень. Птицы рецессивные по обоим генам ($rrpp$) имеют простой листовидный гребень.

1) гомозиготная особь с розовидным гребнем скрещена с особью гомозиготной по гороховидному гребню. Какой фенотип будет иметь их потомство в первом и во втором поколениях?

2) скрещены две особи с ореховидным гребнем гетерозиготные по генам R и P . Определите расщепление в первом поколении.

3) скрещены особи: $RrPp$ с $rrpp$. Установите расщепление в первом поколении.

Задача 8. Глухота у человека может быть обусловлена рецессивными генами d и e , лежащими в разных парах хромосом. Для нормального слуха необходимо наличие обоих доминантных генов. Глухая женщина ($DDee$) вступает в брак с глухим мужчиной ($ddEE$). Будут ли глухими их дети?

Задача 9. Масса плода у одного сорта тыквы определяется тремя парами генов, причем, сочетание $AABBCC$ дает плоды массой 3 кг, а сочетание $aabbcc$ – плоды массой 1,5 кг. Каждый доминантный ген добавляет к массе плода 250 г. При скрещивании 3-килограммовых тыкв с 1,5-килограммовыми все потомки дают плоды массой 2,25 кг. Какой была бы масса плодов у F_2 при скрещивании двух таких растений F_1 ?

Задача 10. У ячменя два фермента со следующими свойствами: при отсутствии одного из них растение оказывается белым, другого - жёлтым, обоих - белым. Образование каждого фермента определяется своими генами, находящимися в разных хромосомах. Какое расщепление по цвету следует ожидать среди потомства самоопыляемого ячменя, гетерозиготного по обоим генам?

ГЕНЕТИКА ПОЛА

Пол – совокупность морфологических, физиологических, биохимических, поведенческих и других признаков организма, обуславливающих воспроизведение (репродукцию) себе подобных. Соматические признаки особей, обусловленные полом, подразделяются на три группы: ограниченные полом, контролируемые полом и сцепленные с полом.

Развитие **признаков, ограниченных полом**, обусловлено генами, расположенными в аутосомах особей обоих полов, которые проявляются только у особей одного пола (ген подагры есть и у мужчин, и у женщин, но проявляет свое действие только у мужчин).

Развитие **признаков, контролируемых полом**, обусловлено генами, также расположенными в аутосомах особей обоих полов, но экспрессивность и пенетрантность их различна у лиц разного пола (развитие волосяного покрова и облысение у человека).

Сцепленными с половыми хромосомами называются признаки, развитие которых обусловлено генами, расположенными в негомологичных участках половых хромосом (гоносомное наследование).

Признаки, развитие которых детерминируют гены, расположенные в негомологичном участке X-хромосомы, называются **сцепленными с X-хромосомой** (дальтонизма, гемофилия, потемнение эмали зубов, мышечная дистрофия Дюшена, недостаточность органического фосфора).

Голандрические признаки детерминируются генами, расположенными в негомологичном участке Y-хромосомы и проявляются у мужчин (облысение, гипертрихоз – оволосение козелков ушной раковины в зрелом возрасте, перепонки на нижних конечностях, ихтиоз – чешуйчатость кожи).

ЗАДАЧИ

РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. У человека гемофилия детерминирована сцепленным с полом рецессивным геном *H*. Мать и отец здоровы. Их единственный ребенок страдает гемофилией. Кто из родителей передал ребенку ген гемофилии?

Решение. Оформим условия задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Нормальная свертываемость крови	X^H	$X^H X^H, X^H X^h, X^H Y$
Гемофилия	X^h	$X^h X^h, X^h Y$

Ген h получен ребенком вместе с X-хромосомой от родителей и проявляется либо в гемизиготном (у сына), либо в гомозиготном (у дочери) состояниях. Родители здоровы, следовательно, в их генотипе обязательно присутствует хотя бы один ген H . Так как у отца всего одна X-хромосома, он имеет только один ген свертываемости крови, а именно H , и не является переносчиком гена гемофилии. Мать, будучи здоровой и имея в одной X-хромосоме ген H , может быть гетерозиготной носительницей гемофилии. Больным ребенком-гемофиликом у таких родителей мог быть только сын, так как свою единственную X-хромосому с геном гемофилии он получает от матери. Дочери, получая X-хромосомы от матери и отца, благодаря отцу всегда будут здоровыми. Однако часть дочерей может быть носительницами гемофилии.

$$\begin{array}{l}
 \text{P:} \quad \quad \quad \text{♀ } X^H X^h \times \quad \quad \quad \text{♂ } X^H Y \\
 \text{G:} \quad \quad \quad (X^H) \quad (X^h) \quad \quad \quad (X^H) \quad (Y) \\
 \text{F}_1 \quad \quad \quad \text{♀ } X^H X^H \quad \text{♂ } X^H Y \quad \text{♀ } X^H X^h \quad \text{♂ } X^h Y \\
 \text{больной ребенок}
 \end{array}$$

Ответ. Таким образом, ген гемофилии ребенок (сын) унаследовал от матери.

Задача 2. У родителей, имеющих нормальное зрение, две дочери с нормальным зрением, а сын – дальтоник. Каковы генотипы родителей?

Решение. Оформим условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Нормальное зрение	X^D	$X^D X^D, X^D X^d, X^D Y$
Дальтонизм	X^d	$X^d X^d, X^d Y$

$$\begin{array}{l}
 \text{P:} \quad \quad \quad \text{♀ } X^D X^d \times \quad \quad \quad \text{♂ } X^D Y \\
 \text{G:} \quad \quad \quad (X^D) \quad (X^d) \quad \quad \quad (X^D) \quad (Y) \\
 \text{F}_1: \quad \quad \quad \text{♀ } X^D X^D \quad \text{♂ } X^D Y \quad \text{♀ } X^D X^d \quad \text{♂ } X^d Y
 \end{array}$$

Ответ. Генотип матери – $X^D X^d$, т.к. только она могла передать сыну ген X^d . Генотип отца – $X^D Y$, т.к. по условию задачи он имеет нормальное зрение.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задача 1. Классическая гемофилия передается как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой, признак.

а). Мужчина, больной гемофилией, женится на женщине, не имеющей этого заболевания. У них рождаются нормальные дочери и сыновья, которые вступают в брак с не страдающими гемофилией лицами. Может ли обнаружиться у внуков гемофилия, и какова вероятность появления больных в семьях дочерей и сыновей?

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

Задача 2. Каким будет ожидаемое отношение генотипов у детей женщины, отец которой страдал гемофилией, если ее муж здоров?

Задача 3. У бронзовых индеек встречается своеобразное дрожание тела (вибрирование), которое оказалось наследственным. Жизнеспособность больных птиц была нормальной, а при их разведении в себе получалось аномальное потомство. Однако когда вибрирующих индюков скрещивали с нормальными индейками, то все потомство женского пола получалось аномальным, а потомки мужского пола – нормальными. Как объяснить это явление?

Задача 4. У одного двудомного цветкового растения встречается иногда рецессивный признак – узкие листья. Ген, определяющий этот признак, локализован в X-хромосоме. Гомозиготное широколистное растение было оплодотворено пыльцой узколистного. Выращенное из полученных семян женское растение было скрещено с широколистным мужским. Какими будут мужские и женские потомки от этого скрещивания? Система определения пола у этого растения такая же, как у дрозофилы и человека.

Задача 5. Отсутствие потовых желез у человека передается по наследству как рецессивный признак, сцепленный с полом. Здоровый юноша женился на девушке, отец которой лишен потовых желез, а мать и ее предки здоровы. Какова вероятность, что дети от этого брака будут страдать отсутствием потовых желез?

Задача 6. Гипертрихоз (рост волос по краю ушной раковины) наследуется как признак, сцепленный с X-хромосомой. Какова вероятность рождения детей с этой аномалией в семье, где отец обладает гипертрихозом?

Задача 7. Какие дети могут родиться от брака гемофилика с женщиной, страдающей дальтонизмом, а в остальном имеющей благополучный генотип?

Задача 8. У здоровой женщины родились сын – гемофилик и дочь – дальтоник. Определите возможные генотипы родителей этих детей. Оцените вероятность рождения следующего ребенка здоровым.

Задача 9. Женщина-альбинос (рецессивный аутосомный ген) вышла замуж за больного гемофилией мужчину. В остальном у мужчины и женщины благополучные генотипы. Какие фенотипы и генотипы будут у их детей?

Задача 10. У канареек сцепленный с полом ген B определяет зеленую окраску оперенья, b – коричневую. Наличие хохолка зависит от аутосомного гена C , его отсутствие – c . Зеленого самца без хохолка скрестили с коричневой хохлатой самкой. Получено следующее потомство: 1 самец коричневый хохлатый, 1 коричневый без хохолка и 2 зеленые хохлатые самки. Каковы генотипы родителей?

СЦЕПЛЕНИЕ И КРОССИНГОВЕР

Явление совместного наследования признаков называют *сцеплением*. Материальной основой сцепления генов является хромосома. Гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются совместно и образуют одну *группу сцепления*. Количество групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом. Явление совместного наследования генов, локализован-

ных в одной хромосоме, называют **сцепленным наследованием**. Сцепленное наследование генов, локализованных в одной хромосоме, называют **законом Моргана**.

Различают два варианта локализации доминантных и рецессивных аллелей генов, относящихся к одной группе сцепления:

- **цис-положение**, при котором доминантные аллели находятся в одной из пары гомологичных хромосом, а рецессивные – в другой;
- **транс-положение**, при котором доминантные и рецессивные аллели гена находятся в разных гомологичных хромосомах.

Гены в хромосомах имеют разную силу сцепления. Сцепление генов может быть:

- **полным**, если гены, относящиеся к одной группе сцепления, всегда наследуются вместе;
- **неполным**, если между генами, относящимися к одной группе сцепления, возможна рекомбинация.

Сцепление генов может нарушаться в процессе кроссинговера; это приводит к образованию рекомбинантных хромосом. В зависимости от особенностей образования гамет, различают:

- **кроссоверные гаметы** – гаметы с хромосомами, претерпевшими кроссинговер;
- **некроссоверные гаметы** – гаметы с хромосомами, образованными без кроссинговера.

В честь Т. Моргана единица расстояния между генами названа морганидой. Процент кроссинговера между генами вычисляют по формуле:

$$x = \frac{a + b}{n} \cdot 100\%,$$

где x – процент кроссинговера, a – число кроссоверных особей одного класса, b – число кроссоверных особей другого класса, n – общее число особей, полученных от анализирующего скрещивания.

Величина кроссинговера не превышает 50%, если же она выше, то наблюдается свободное комбинирование между парами аллелей, не отличающееся от независимого наследования. Если между генами происходит одинарный кроссинговер и известно количество кроссоверных особей, то расстояние между генами можно вычислить по формуле. Но между генами может происходить и двойной кроссинговер. Он часто затрудняет оценку истинного расстояния между далеко расположенными друг от друга генами, так как он не всегда обнаруживается.

ЗАДАЧИ

РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. У мышей неаллельные гены, обуславливающие серую окраску тела и нормальную длину шерсти доминируют над генами, контролирующими черную окраску тела и длинную шерсть. Эти неаллельные гены расположены в одной аутосоме и наследуются сцеплено. При скрещи-

вании серых самок, имеющих нормальную длину шерсти с черным длинношерстным самцом в потомстве среди мышат получилось следующее расщепление: 50 – серых с шерстью нормальной длины, 12 – серых длинношерстных, 54 – черных длинношерстных и 14 – черных с шерстью нормальной длины. Определить расстояние между сцепленными генами и процент кроссоверных мышат.

Решение. Оформим условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Серая окраска шерсти	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Черная окраска шерсти	<i>a</i>	<i>aa</i>
Нормальная длина шерсти	<i>B</i>	<i>BB, Bb</i>
Длинная шерсть	<i>b</i>	<i>bb</i>

Исходя из условия задачи, количество мышат, обладающих родительскими признаками, равно 104, т.е. $50 + 54 = 104$. Мышат с рекомбинантными признаками получилось 26, т.е. $12 + 14 = 26$.

Общее количество всех мышат равно 130, т.е. $104 + 26 = 130$.

Отсюда высчитываем общий процент всех полученных кроссоверных мышат: $130 - 100\%$, $26 - X\%$, следовательно, $X = 26 \times 100\% : 130 = 20$.

Таким образом, расстояние между анализируемыми сцепленными генами равно 20 морганидам, поэтому кроссоверных мышат каждого полученного типа, т.е. серых длинношерстных и черных с шерстью нормальной длины, будет по 10 %. Процент некроссоверных мышат составляет 80 % ($100\% - 20\% = 80\%$).

Ответ. Расстояние между сцепленными генами равно 20 морганидам, а процент каждого из двух полученных типов кроссоверных мышат равен 10 %, т.е. всего 20 % кроссоверных мышат.

Задача 2. У дрозофилы доминантные гены, контролирующие серую окраску тела и развитие щетинок, локализованы в одной хромосоме и находятся на расстоянии около 6 морганид. Рецессивные аллели этих генов, обуславливающие черную окраску тела и отсутствие щетинок, находятся в другой гомологичной хромосоме. Какое потомство и в каком процентном соотношении можно ожидать от скрещивания дигетерозиготной серой самки, имеющей развитые щетинки, черным самцом, не имеющим щетинок?

Решение. Оформим условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип
Серая окраска тела	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
Черная окраска тела	<i>a</i>	<i>aa</i>
Развитые щетинки	<i>B</i>	<i>BB, Bb</i>
Отсутствие щетинок	<i>b</i>	<i>bb</i>

Так как расстояние между неаллельными генами равно 6 морганидам, следовательно, у родителей в 94% случаях будут образовываться нормальные гаметы, а в 6% – кроссоверные гаметы. Так, у самки возможно образование 4-х типов гамет (два типа нормальных гамет и два типа кроссо-

верных гамет), из которых по 47% придется на каждый тип нормальных гамет ($94\% : 2 = 47\%$) и по 3% на каждый тип кроссоверных гамет ($6\% : 2 = 3\%$). Поскольку самец рецессивен по обоим парам признаков, то у него образуется один тип гамет, т.е. нормальные и кроссоверные гаметы одинаковы.

Ответ. В потомстве наблюдается расщепление в следующем соотношении: 47% серых мух с щетинками, 47% черных мух без щетинок, 3% серых мух без щетинок и 3% черных мух с щетинками.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задача 1. Определите различия в численном соотношении образующихся гамет у двух организмов, имеющих следующую структуру генотипов: $AB//ab$; $A//a B//b$.

Задача 2. Какие различия в численном соотношении гамет будут наблюдаться у двух организмов с генотипами $D//d E//e$ и $DE//de$ (расстояние между генами D и e в группе сцепления 4,6 морганиды)?

Задача 4. Сколько и какие типы гамет образуются у дрозофил с генотипами: а) ♂ $A//a B//b$; б) ♂ $CD//cd$; в) ♀ $A//a B//b$; г) ♀ $CD//cd$?

Задача 5. Гены A и C расположены в одной группе сцепления, расстояние между ними 5,8 морганид. Определите, какие типы гамет, и в каком процентном соотношении образуют особи генотипа $AC//ac$.

Задача 6. Дигетерозиготная по генам C и D самка дрозофилы скрещена с рецессивным самцом. В потомстве было получено расщепление в соотношении: 43,5% $CcDd$; 6,5% $Ccdd$; 6,5% $ccDd$; 43,5% $ccdd$. Определите: 1) в цис- или транс- положении находятся гены C и D ; 2) расстояние между генами C и D в морганидах.

Задача 7. У дрозофилы во II хромосоме локализованы гены, обуславливающие длину крыльев и ног. Доминантный ген dp^+ обуславливает развитие нормальных крыльев, аллель dp^- – коротких, доминантный ген d^+ – нормальную длину ног, d^- – короткие ноги. От скрещивания дигетерозиготных мух, имеющих нормальные крылья и ноги, с мухами, имеющими оба признака в рецессивном состоянии, получили 840 мух, из которых 27 имели оба доминантных признака и 30 – оба рецессивных (рекомбинантные особи). Определите расстояние между генами dp^+ и d^+ в % кроссинговера.

Задача 8. Скрещивание между гомозиготным серым длиннокрылым самцом дрозофилы и гомозиготной черной самкой с зачаточными крыльями дало в F_1 гетерозиготных потомков с серым телом и длинными крыльями. При возвратном скрещивании самок дрозофилы из поколения F_1 с гомозиготными двойными рецессивными самцами были получены следующие результаты:

родительские фенотипы:	серое тело, длинные крылья	965
	черное тело зачаточные крылья	944
рекомбинантные фенотипы:	черное тело, длинные крылья	206
	серое тело, зачаточные крылья	185

Определите расстояние между генами.

Задача 9. Составьте карту хромосомы, содержащую гены A, B, C, D, E , если частота кроссинговера между генами C и E равна 10%, C и A – 1%, A и E – 9%, B и E – 6%, A и B – 3%, B и D – 2%, E и D – 4%.

Задача 10. Составьте карту хромосомы, содержащую гены A, B, C, D, E , если частота кроссинговера между генами B и C равна 2,5%, C и A – 3,7%, A и E – 6%, E и D – 2,8%, A и B – 6,2%, B и D – 15%, A и D – 8,8%.

ПОПУЛЯЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА

Популяция – совокупность особей одного вида, длительное время занимающих определенный ареал, свободно скрещивающихся между собой и относительно изолированных от других особей вида.

Панмиктическая популяция – нет ограничений к свободному выбору полового партнера.

Непанмиктическая популяция – имеются ограничения к свободному выбору полового партнера.

Закон Харди-Вайнберга: в идеальной популяции соотношение частот генов и генотипов величина постоянная из поколения в поколение.

Если обозначить частоту встречаемости доминантного гена – p , а рецессивного гена – q , то $p+q=1$ (100%).

Частота встречаемости доминантных гомозигот будет равна p^2 , частота встречаемости гетерозигот – $2pq$, частота встречаемости рецессивных гомозигот – q^2 .

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1(100\%)$$

ЗАДАЧИ

РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. В популяции, подчиняющейся закону Харди – Вайнберга, частоты аллелей A и a соответственно равны 0,8 и 0,2. Определите частоты гомозигот и гетерозигот по этим генам в первой генерации.

Решение. Частоты генотипов вычисляются по уравнению Харди – Вайнберга: $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, где p – частота доминантного гена, и q – частота рецессивного гена. В данной задаче частота аллеля A равна 0,8, а частота аллеля a равна 0,2. Подставив эти числовые значения в уравнение Харди – Вайнберга, получим следующее выражение:

$$0,8^2 + 2 \times 0,8 \times 0,2 + 0,2^2 = 1 \text{ или } 0,64 + 0,32 + 0,04 = 1.$$

Из уравнения следует, что 0,64 – частота доминантного гомозиготного генотипа (AA), а 0,04 – частота рецессивного гомозиготного генотипа (aa). 0,32 – частота гетерозиготного генотипа (Aa).

Задача 2. В популяции лисиц на 1000 особей встречаются 10 белых особей, остальные рыжие. Определите процентное соотношение рыжих гомозиготных, рыжих гетерозиготных и белых лисиц в данной популяции.

Решение. По уравнению Харди – Вайнберга частоты генотипов равны: $p^2 + 2pq + q^2 = 1$.

Частота белых гомозиготных по рецессивному аллелю особей соста-

вит $q^2 = 0,01 = 1\%$. Отсюда частота рецессивного аллеля q будет равна $0,1$. Поскольку, $p + q = 1$, то частота доминантного аллеля будет равна $p = 1 - q = 1 - 0,1 = 0,9$. Это значит, что частота рыжих доминантных гомозиготных лисиц (составит $0,92$ или $0,81$, а частота рыжих гетерозиготных особей будет равна $2pq$ или $2 \times 0,9 \times 0,1 = 0,18$).

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

Задача 3. Аллель кареглазости доминирует над голубоглазостью. В популяции оба аллеля встречаются с равной вероятностью. Отец и мать кареглазые. С какой вероятностью следует ожидать, что родившийся у них ребенок будет голубоглазым?

Решение. Если в популяции оба аллеля встречаются одинаково часто, то в ней $1/4$ доминантных гомозигот, $1/2$ гетерозигот (и те и другие кареглазые) и $1/4$ рецессивных гомозигот (голубоглазые). Таким образом, если человек кареглазый, то два против одного, что это гетерозигота. Итак, вероятность оказаться гетерозиготой $2/3$. Вероятность передать потомству аллель голубоглазости равна 0 , если организм гомозиготен, и $1/2$, если он гетерозиготен. Полная вероятность того, что данный кареглазым родитель передаст потомству аллель голубых глаз, равна $2/3 \times 1/2$ т.е. $1/3$. Чтобы ребенок был голубоглазым, он должен получить, от каждого из родителей по аллелю голубых глаз. Это произойдет с вероятностью $1/9$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Задача 1. Доля особей aa в большой популяции равна $0,49$. Какая часть популяции гетерозиготна по гену A ?

Задача 2. В популяции дрозофилы частота аллеля b (черная окраска тела) равна $0,1$. Установите частоты серых и черных мух в популяции, а также гомозиготных и гетерозиготных особей.

Задача 3. В популяции лисиц на 1000 особей встречаются 10 белых особей, остальные рыжие. Определите процентное соотношение рыжих гомозиготных, рыжих гетерозиготных и белых лисиц в данной популяции.

Задача 4. В популяции, подчиняющейся закону Харди - Вайнберга, частоты аллелей A и a соответственно равны $0,8$ и $0,2$. Определите частоты гомозигот и гетерозигот по этим генам в первой генерации.

Задача 5. Сахарный диабет (рецессивный признак) встречается среди населения у мужчин с частотой 1 на 200 . Вычислите частоту гетерозигот-носителей.

Задача 6. Серповидноклеточная анемия (рецессивный признак) встречается в популяции людей с частотой $1:700$. Вычислите частоту гетерозигот.

Задача 7. Кистозный фиброз поджелудочной железы поражает индивидуумов с рецессивным гомозиготным генотипом и встречается среди населения с частотой 1 на 2000 . Вычислите частоту носителей.

Задача 8. При обследовании населения города N (100 000 человек) обнаружено 5 альбиносов. Установите частоту встречаемости гетерозиготных носителей гена альбинизма.

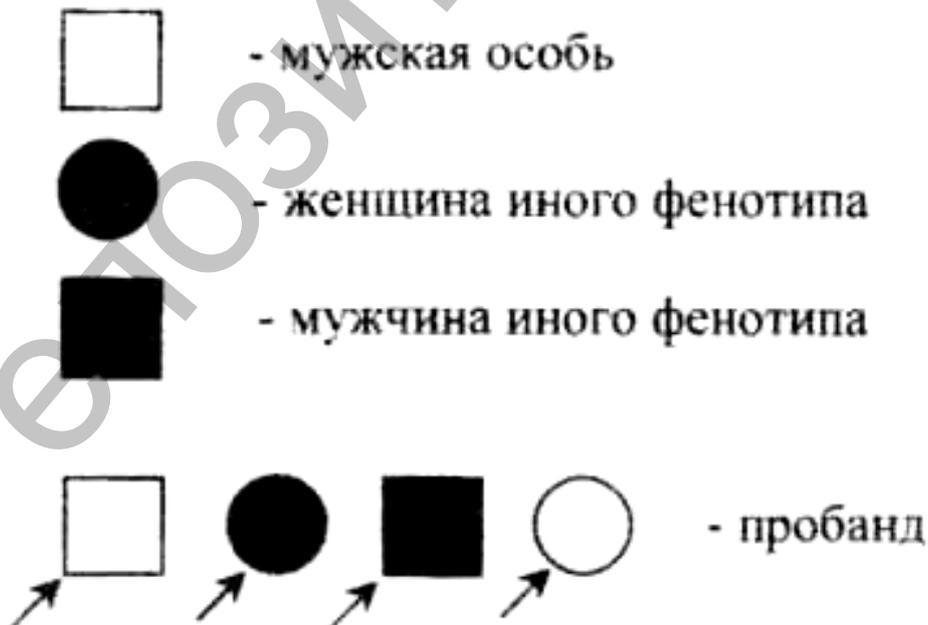
Задача 9. В одной популяции 70% людей способны ощущать горький вкус фенилтиомочевины (ФТМ), а 30% не различают её вкуса. Способность ощущать вкус ФТМ детерминирована доминантным геном *T*. Определите частоту аллелей *T* и *t* и генотипов *TT*, *Tt* и *tt* в данной популяции.

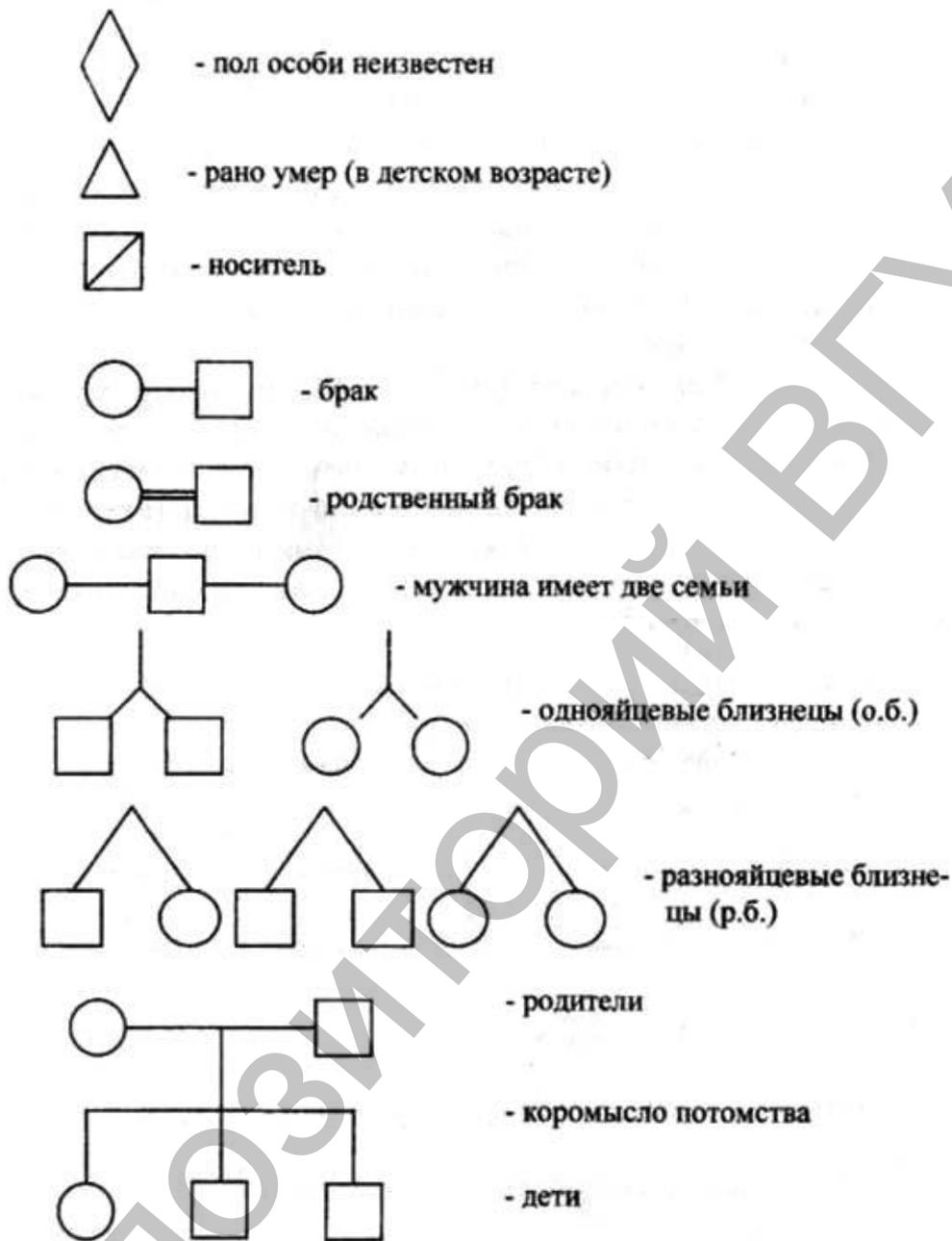
Задача 10. В популяции лисиц на 1000 особей встречаются 10 белых особей, остальные рыжие. Определите процентное соотношение рыжих гомозиготных, рыжих гетерозиготных и белых лисиц в данной популяции.

АНАЛИЗ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ ПО РОДОСЛОВНЫМ

Анализ родословных основан на законах, установленных Г. Менделем и Т. Морганом. При работе с родословными необходимо помнить, что дети у человека рождаются по одному (в норме) и в разное время, поэтому нельзя подсчитывать расщепление 3:1. Ключом для анализа любой родословной при определении генотипа является фенотип. Генотип рецессивного фенотипического признака – *aa*, доминантного – *AA* или *Aa*. О втором гене генотипа при доминантном наследовании признака судят по потомству. Если в потомстве нет расщепления, то у родителей ген был в гомозиготном состоянии *AA*, если получено расщепление, то родители гетерозиготны – *Aa*. Если второй ген в генотипе при доминантном наследовании признака установить нельзя, пишут *A_*.

При записи родословных используются следующие условные обозначения:





Пробанд – человек, с которого начинается исследование определенной семьи: сибсы - потомки одних и тех же родителей (братья и сестры).

При построении родословных необходимо соблюдать следующие правила:

- а) необходимо выяснить по собранному материалу число поколений;
- б) построение родословной начинается с пробанда;
- в) каждое поколение нумеруется римскими цифрами слева;
- г) символы, обозначающие особей одного поколения, располагаются на горизонтальной линии и могут нумероваться арабскими цифрами. Например, I₁ - первое поколение, первая особь; III₄ – третье поколение, четвертая особь и т. д.

При решении задач на анализ родословных в первую очередь определяют ключ начала решения. Ключом к решению задачи являются такие родители, которые фенотипически одинаковы, но у потомков выплещается иной фенотип. В таком случае определяем, что признак родителей доминантный, а вновь появившийся признак у потомка рецессивный. Родители гетерозиготны.

Существуют следующие критерии основных типов ядерного наследования.

Аутосомно-рецессивное наследование:

- 1) признак встречается относительно редко, не в каждом поколении;
- 2) если признак имеется у обоих родителей, то этот признак имеют все их дети;
- 3) признак встречается и у детей, родители которых не имеют изучаемого признака;
- 4) мужчины и женщины с изучаемым признаком встречаются с приблизительно одинаковой частотой.

Аутосомно-доминантное наследование:

- 1) признак встречается часто, в каждом поколении;
- 2) признак встречается у детей, у которых хотя бы один из родителей имеет изучаемый признак;
- 3) мужчины и женщины с изучаемым признаком встречаются с приблизительно одинаковой частотой.

Сцепленное с Y-хромосомой или голандрическое наследование:

- 1) признак встречается часто, в каждом поколении;
- 2) признак встречается только у мужчин;
- 3) признак передается по мужской линии: от отца к сыну и т.д.

Рецессивное сцепленное с X-хромосомой наследование:

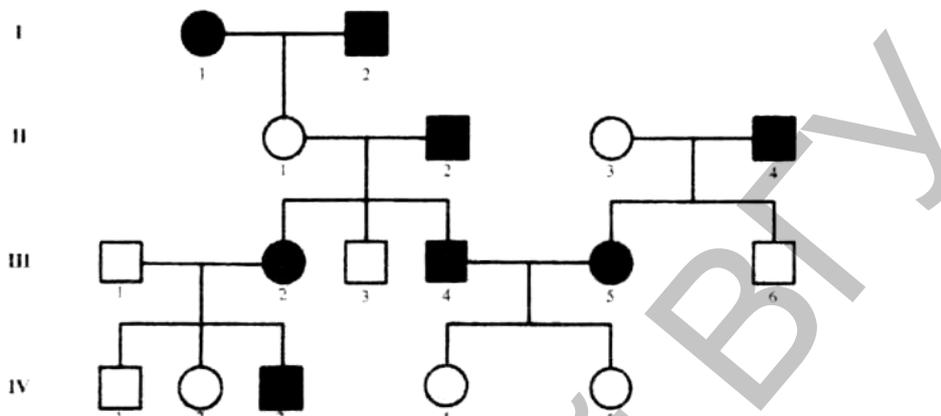
- 1) признак встречается относительно редко, не в каждом поколении;
- 2) признак встречается преимущественно у мужчин, причем у их отцов признак обычно отсутствует, но имеется у дедов (прадедов) по материнской линии;
- 3) у женщин признак встречается только тогда, когда он имеется и у их отца.

Доминантное сцепленное с X-хромосомой наследование:

- 1) признак встречается часто, в каждом поколении;
- 2) признак встречается у детей, у которых хотя бы один из родителей имеет изучаемый признак;
- 3) признак встречается и у мужчин, и у женщин, но женщин с таким признаком приблизительно в два раза больше, чем мужчин;
- 4) если изучаемый признак имеет мужчина, то все его дочери будут иметь этот признак, а у всех его сыновей этот признак будет отсутствовать.

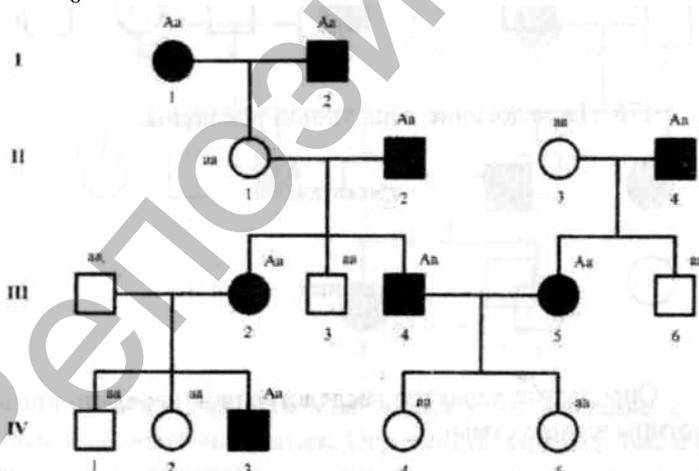
ЗАДАЧИ РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача 1. Определите характер наследования признака и генотипы членов семьи:



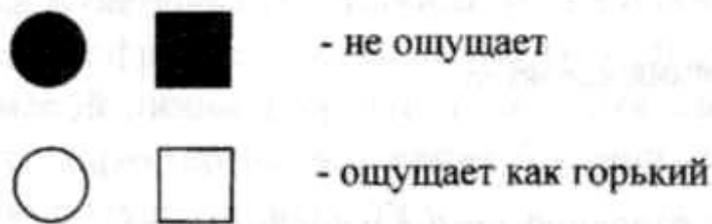
Решение. Ключевыми парами будут родители I_1 и I_2 , III_4 и III_5 . Они имеют одинаковый фенотип, а их дочери с иным фенотипом. Значит, родители – доминантные гетерозиготы, дочери – рецессивные гомозиготы. Фенотип: правша – доминантный, левша – рецессивный. Переписываем родословную и заполняем ее (см. схему ниже).

Генотип мужчины II_2 определяем по фенотипу его сына III_3 . Фенотип сына рецессивный (левша). Значит, отец гетерозиготен. Генотип женщины III_2 гетерозиготен (определяем по фенотипу сына IV_1 и дочери IV_2 , которые левши). Ее сын IV_3 гетерозиготен, так как он получил от матери доминантный ген, а от отца – рецессивный. Мужчина II_4 гетерозиготен, так как его сын III_6 – левша.

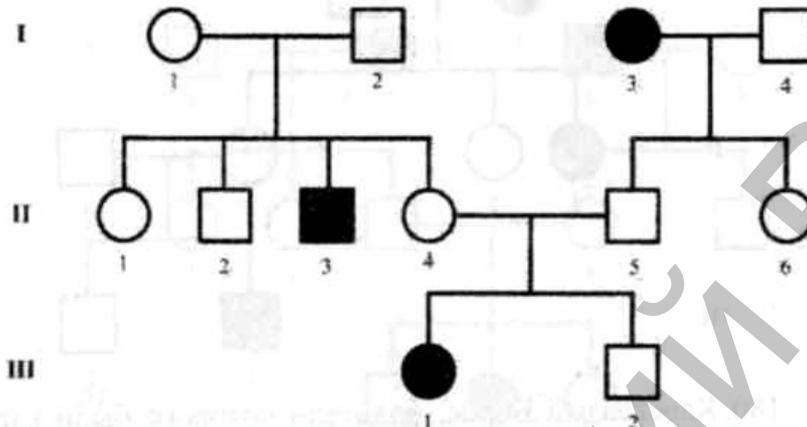


ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

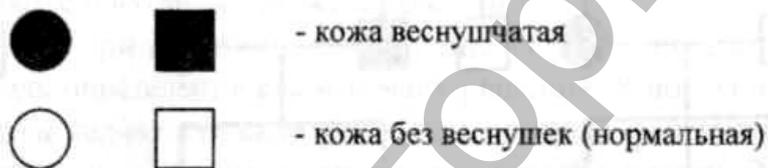
Задача 1. Родословная семей по способности ощущать вкус фенилтиомочевины:



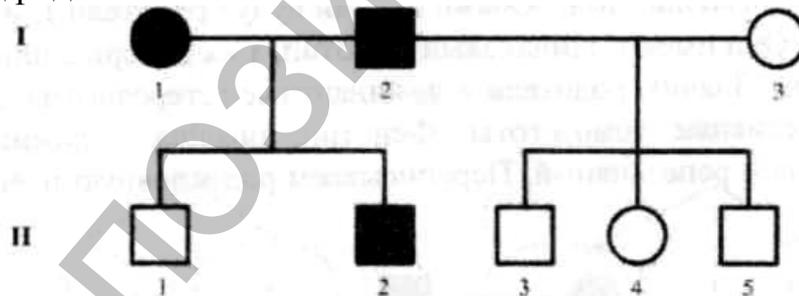
Определите наследование признака и генотипы членов родословной:



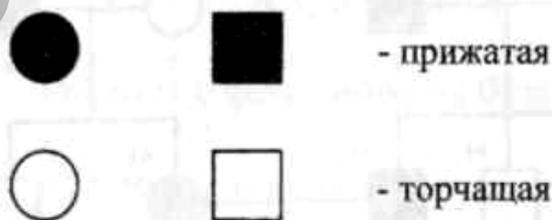
Задача 2. Наследование веснушчатости:



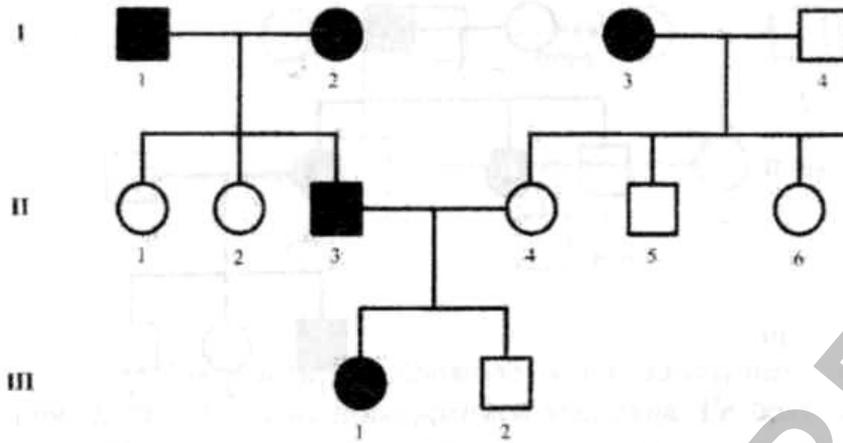
Определите характер наследственной передачи признака и генотипы всех лиц родословной:



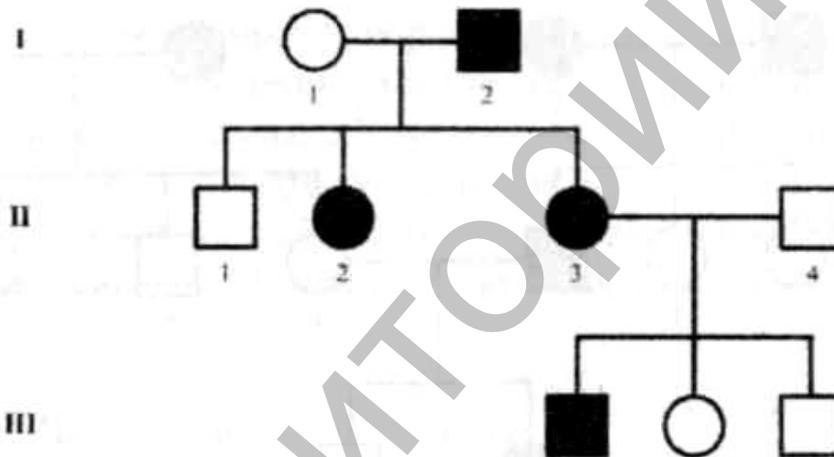
Задача 3. Наследование типа ушной раковины:



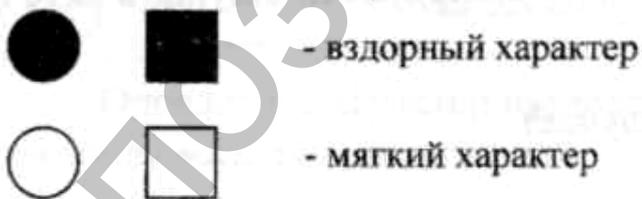
Определите характер наследственной передачи признака и генотипы членов семьи:



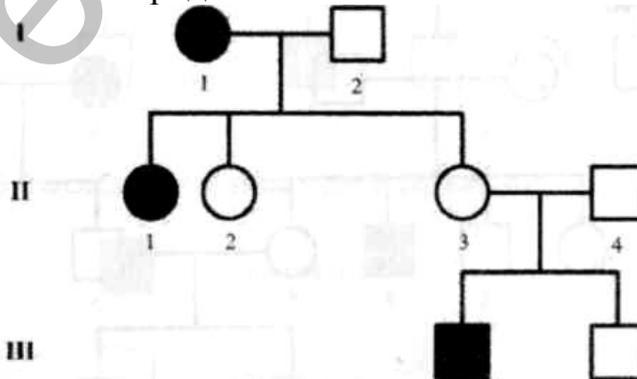
Задача 4. Шестипалый мужчина женился на женщине с нормальным количеством пальцев. Определите характер наследования признаков и генотипы всех лиц, показанных на родословной.



Задача 5. Наследование характера.



Укажите на родословной этой семьи генотипы всех ее членов.

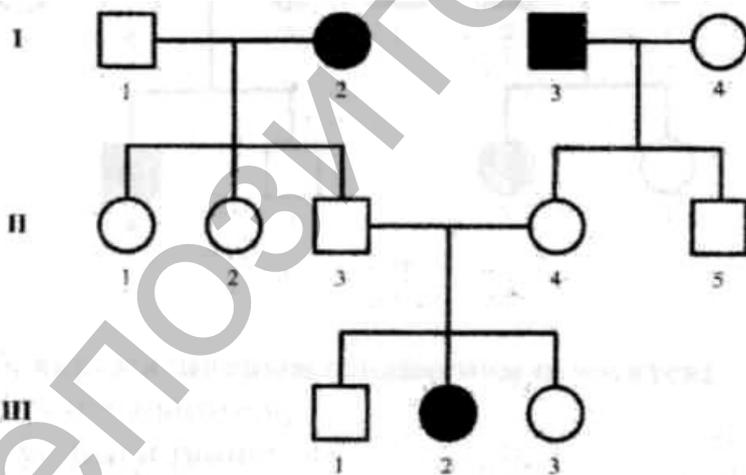


Задача 6. Кареглазый Борис, родители которого были кареглазыми, женился на голубоглазой Вере, также имевшей кареглазых родителей. У них родился голубоглазый мальчик Антон. Определите генотипы членов семьи.

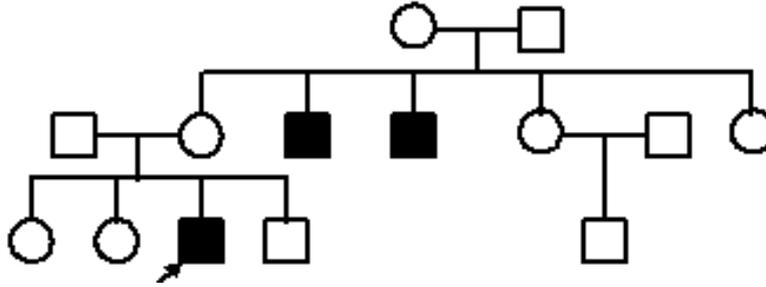


Задача 7. Составьте родословную семьи со случаем шизофрении. Лиза – больная шизофренией женщина. Ее брат, сестра и отец – здоровы. Со стороны отца имеются следующие родственники: дядя – больной шизофренией, а две тети – здоровы. Одна тетя имеет трех здоровых дочерей, второго здорового сына. Дедушка и бабушка со стороны отца здоровы; сестра бабушки болела шизофренией. Мать Лизы, дядя, дедушка и бабушка по материнской линии здоровы; у дяди два здоровых ребенка. Определите характер наследования болезни и укажите генотипы возможно большего числа лиц.

Задача 8. Рассмотрите приведенную ниже родословную. Определите характер наследования голубоглазости и, по возможности, укажите генотип родителей и потомства.



Задача 9. Пробанд – мужчина, страдающий гемофилией (см. рис.). Две его старшие сестры, его младший брат и его родители имеют нормальную свертываемость крови. Два младших брата матери страдают гемофилией, а две ее младшие сестры здоровы. У ее первой сестры муж и сын здоровы. Бабушка и дедушка пробанда со стороны матери имели нормальную свертываемость крови.



Чему равна вероятность рождения у пробанда здорового ребенка в браке со здоровой женщиной, в генотипе которой нет патологических аллелей?

Задача 10. Пробанд болен врожденной катарактой. Он состоит в браке со здоровой женщиной и имеет больную дочь и здорового сына. Отец пробанда болен, а мать здорова и имеет здоровую сестру и здоровых родителей. Дедушка по линии отца болен, а бабушка здорова. Пробанд имеет по линии отца здоровых родных тетю и дядю. Дядя женат на здоровой женщине. У них три здоровых сына. Составьте родословную семьи, определите тип наследования признака и генотипы указанных в родословной лиц.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

Наследование признаков

а) Полное и неполное доминирование

Полное доминирование		Признак, проявляющийся у гетерозигот при неполном доминировании
доминантный признак	рецессивный признак	
Т О М А Т Ы		
Пурпурный стебель	Зеленый стебель	
Красная окраска плода	Желтая окраска плода	
Двугнездные плоды	Многогнездные плоды	
Шаровидная форма	Грушевидная форма	
Т Ы К В А		
Белые плоды	Желтые плоды	
Круглые плоды	Удлиненные плоды	
К У К У Р У З А		
Зеленые растения	Альбиносы	
Г О Р О Х		
Красные цветки	Белые цветки	
Желтые семена	Зеленые семена	
Гладкие семена	Морщинистые семена	
Высокий рост	Карликовый рост	
З Е М Л Я Н И К А		
Красные плоды (АА)	Белые плоды	Розовые плоды
Нормальная чашечка (АА)	Листовидная чашечка	Промежуточная чашечка
Л Ь В И Н Ы Й З Е В		
Красные цветки (АА)	Белые цветки	Розовые цветки
О В Е С		
Нормальный рост	Высокий рост	
Раннеспелость	Позднеспелость	
Ч Е Л О В Е К		
Темные волосы	Светлые волосы	
Не рыжие волосы	Рыжие волосы	
Курчавые волосы	Гладкие волосы	
Карие глаза	Голубые (серые) глаза	
Веснушки на лице	Отсутствие веснушек	
Нормальная пигментация	Альбинизм	
Раннее облысение (муж.)	Нормальный срок облысен.	
Белая прядь волос	Одноцветность волос	
Черная кожа	Белая кожа	

Нормальная кожа	Отсутствие потовых желез	
Близорукость	Нормальное зрение	
Дальнозоркость	Нормальное зрение	
Свободные ушные мочки	Приросшие ушные мочки	
Толстые губы	Тонкие губы	
Большие глаза	Маленькие глаза	
Длинные ресницы	Короткие ресницы	
«Римский» нос	Прямой нос	
Низкий рост	Высокий рост	
Полидактилия	Нормальное число пальцев	
Группа крови А, В и АВ	Группа крови 00	
Гипертония	Нормальное давление	
Нормальное свертывание крови	Гемофилия	
Нормальное содержание сахара в крови	Сахарный диабет	
Нормальный слух	Врожденная глухота	
Нормальное состояние	Фенилкетонурия	
Дрожательный паралич	Нормальное состояние	
МУХА ДРОЗОФИЛА		
Серое тело	Черное тело	
Нормальные крылья	Закрученные, зачаточные, загнутые крылья	
КУРЫ		
Оперенные ноги	Гладкие ноги	
Розовидный гребень	Листовидный гребель	
Черное оперение (АА)	Белое оперение (аа)	Голубое оперение (Аа)
КРУПНЫЙ РОГАТЫЙ СКОТ		
Красная шерсть (АА)	Белая шерсть (аа)	Чалая шерсть (Аа)
Черная шерсть	Красная шерсть	
Комолость (безрогость)	Рогатость	
Белая голова	Сплошная окраска	
КРОЛИК		
Серая окраска меха	Черная окраска меха	
Черная окраска меха	Белая окраска меха	
Мохнатый мех	Гладкий мех	
МОРСКАЯ СВИНКА		
Темный мех (шиншилла) (АА)	Белый мех (аа)	Полутемный мех (Аа)
Вихрастая шерсть	Гладкая шерсть	

б) Признаки, определяемые двумя взаимодействующими генами

Два неаллельных доминантных гена ($A_B_$)	Один доминантный ген ($A_bb, aaB_$)	Рецессивный ген ($aabb$)
Л Ю Ц Е Р Н А		
Зеленые цветки	Пурпурные и желтые цветки	Белые цветки
Т Ы К В А		
Дисковидные плоды	Круглые плоды	Удлиненные плоды
Л О Ш А Д Ъ		
Серая масть	Воронья масть	Рыжая масть
К У К У Р У З А		
Пурпурные семена	Белые семена	Белые семена
Д У Ш И С Т Ы Й Г О Р О Ш Е К		
Пурпурные цветки	Белые цветки	Белые цветки
К У Р Ы		
Ореховидный гребень	Розовидный и гороховидный гребень	Листовидный гребень

в) Количественные закономерности образования гамет и расщепления гибридов при разных типах скрещивания

Учитываемые факторы	Типы скрещивания			
	моногибридное	дигибридное	тригибридное	полигибридное
Число типов гамет, образуемых гибридом F_1	2^1	2^2	2^3	2^n
Число зигот при образовании F_2	4^1	4^2	4^3	4^n
Число фенотипов в F_2	2^1	2^2	2^3	2^n
Число генотипов в F_2	3^1	3^2	3^3	3^n
Расщепление по фенотипу	$(3+1)^1$	$(3+1)^2$	$(3+1)^3$	$(3+1)^n$
Расщепление по генотипу	$(1+2+1)^1$	$(1+2+1)^2$	$(1+2+1)^3$	$(1+2+1)^n$

г) Типы неаллельных взаимодействий генов

Типы взаимодействия	Расщепление признаков в F_2	Примеры
Комплементарность – взаимодействие двух неаллельных генов в доминантном состоянии, ведущее к проявлению нового признака	9:3:3:1	Наследование окраски оперения у попугайчиков
	9:6:1	Наследование формы плодов у тыквы
	9:7	Наследование окраски цветов у душистого горошка

<p>Эпистаз – взаимодействие неаллельных генов, при котором происходит подавление действия аллеля одного гена аллелем другого гена</p>	<p>12:3:1 13:3 9:3:4</p>	<p>Доминантный эпистаз Расщепление по масти у лошадей Наследование окраски оперения у кур Рецессивный эпистаз Наследование окраски семян у фасоли</p>
<p>Полимерия – взаимодействие нескольких неаллельных генов с одинаковым действием</p>	<p>1:4:6:4:1 (15:1) 15:1</p>	<p>Кумулятивная полимерия Наследование окраски зерен у пшеницы Некумулятивная полимерия Наследование формы стручков у пастушьей сумки</p>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гончаренко, Г.Г. Основы генетической инженерии: учеб. Пособие / Г.Г. Гончаренко. – Мн.: Выш. шк., 2005.
2. Каминская, Э. А. Сборник задач по генетике / Э.А. Каминская. Мн.: Выш. школа, 1982.
3. Кочергин, Б. Н., Кочергина, Н. А. Задачи по молекулярной биологии и генетике. Мн.: Народная асвета, 1982.
4. Песецкая, Л. Н. Сборник задач по генетике: пособие для учащихся общеобразовательных учреждений с рус. яз. обучения / Л. Н. Песецкая. – 2-е изд., переработ. и дополн. – Минск.: Сэр-Вит, 2008.
5. Писарчик, Г. А., Писарчик, А. В. Сборник задач по генетике / Г. А. Писарчик, А. В. Писарчик. – 2-е изд. Минск : Аверсэв, 2008.

Учебное издание

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ГЕНЕТИКЕ

Методические рекомендации

Составители:

ДМИТРУК Людмила Борисовна

ЛУКОМСКИЙ Андрей Викторович

Технический редактор *Г.В. Разбоева*

Компьютерный дизайн *И.В. Волкова*

Подписано в печать 16.09.2013. Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 2,85. Уч.-изд. л. 2,23. Тираж экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение – учреждение образования
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

ЛИ № 02330/110 от 30.01.2013.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.