

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Елабужский институт (филиал) Федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Кафедра биологии и химии**

С.В.Куланина

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
«Сборник задач по генетике. Часть 2. Взаимодействие
неаллельных генов. Пол и наследование признаков. Сцепленные
гены и кроссинговер»**

Пособие для студентов

Елабуга 2017

УДК 575
ББК 28.04
К90

Печатается по решению редакционно-издательского совета ЕИ КФУ
Протокол № 17 от 28 декабря 2017г.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Чернышова Ф.А., к.б.н., доцент Набережночелнинского филиала Казанского инновационного университета им. В.Г.Тимирязова.

Леонтьев В.В., к.б.н., доцент, зав.кафедрой биологии и химии ЕИ К(П) ФУ

Учебно-методическое пособие «Сборник задач по генетике. Часть 2. Взаимодействие неаллельных генов. Пол и наследование признаков. Сцепленные гены и кроссинговер» предназначено для студентов 3 и 4 курсов кафедры биологии и химии.

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено обеспечить руководство самостоятельной (внеаудиторной) и аудиторной деятельностью студентов, направленной на освоение общих принципов решения генетических задач, развитие у студентов логики генетического мышления и освоение основных приемов генетического анализа.

СОСТАВИТЕЛИ:

Куланина С.В., ассистент кафедры биологии и химии ЕИ КФУ

Принято на заседании кафедры биологии и химии
Протокол № 5 от 08 декабря 2017г.

© Казанский федеральный университет

Взаимодействие неаллельных генов

Взаимодействие неаллельных генов называется **межаллельным**. Различают следующие виды взаимодействия: комплементарность, эпистаз и полимерию.

1. Комплементарное взаимодействие генов

При **комплементарном взаимодействии** генов присутствие в одном генотипе двух доминантных (рецессивных) генов из разных аллельных пар приводит к появлению нового варианта признака.

Типичный пример – развитие слуха у человека. Для нормального слуха в генотипе человека должны присутствовать доминантные гены из разных аллельных пар – D и E. Ген D отвечает за нормальное развитие улитки, а ген E – за развитие слухового нерва. У рецессивных гомозигот (**dd**) будет недоразвита улитка, а при генотипе **ee** – недоразвит слуховой нерв. Люди с генотипами D-ee, ddE-, ddee будут глухими.

Рассмотрим различные варианты комплементарного взаимодействия генов.

- *Аллели второго гена проявляются только при наличии доминантного аллеля гена А.*

Окраска мышей зависит в простейшем случае от двух генов. Мыши с генотипом **aa** лишены пигмента и имеют белый цвет. При наличии доминантного аллеля **A** пигмент вырабатывается, и мышь как-то окрашена. Конкретный цвет определяется вторым геном. Его доминантный аллель **C** обуславливает серый цвет мыши, а рецессивный аллель **c** – черный цвет. Таким образом, если рассматривать гомозиготные варианты, генотип серых мышей – **AACC**, черных – **Aacc**, белых – **aaCC** или **aacc**. При скрещивании серой мыши **AACC** с белой **aacc** в первом поколении все получается по Менделю: все гибриды имеют серый цвет (это гетерозиготы с генотипом **AaCc**). В F₂, как легко проверить, получим 9/16 серых мышей, 3/16 черных и 4/16 белых.

P ♀ Серая × ♂ Серый
 AaCc **AaCc**

♀ \ ♂	AC	Ac	aC	ac
AC	AAСС Серый	AAСс Серый	AaCC Серый	AaCс Серый
Ac	AAСс Серый	AAсс Черный	AaCс Серый	Aacc Черный
aC	AaCC Серый	AaCс Серый	aaCC Белый	aaCс Белый
ac	AaCс Серый	Aacc Черный	aaCс Белый	aacc Белый

(9:3:4)

- Для проявления признака в генотипе должны присутствовать доминантные аллели двух разных генов. Примером такого комплементарного взаимодействия генов является наследование формы плода у тыквы. При наличии обоих доминантных аллелей плоды имеют дисковидную форму, при наличии одного (любого!) доминантного аллеля – сферическую, а при отсутствии доминантных аллелей – удлиненную.

P ♀ Сферическая × ♂ Сферическая
AAbb **aaBB**

F₁ **AaBb**
Дисковидная (100%)

P ♀ Дисковидная × ♂ Дисковидная
AaBb **AaBb**

 	AB	Ab	aB	ab
AB	AAВВ Дисковидн.	AAВb Дисковидн.	AaВВ Дисковидн.	AaВb Дисковидн.
Ab	AAВb Дисковидн.	AAbb Сферическ.	AaВb Дисковидн.	Aabb Сферическ.
aB	AaВВ Дисковидн.	AaВb Дисковидн.	aaВВ Сферическ.	aaВb Сферическ.
ab	AaВb Дисковидн.	Aabb Сферическ.	aaВb Сферическ.	aabb Удлинен.

(9:6:1)

- Для проявления признака в генотипе должны присутствовать доминантные аллели двух разных генов, но каждый доминантный аллель в сочетании с рецессивными аллелями другой пары имеет самостоятельное фенотипическое проявление. Например, у кур гороховидная форма гребня определяется одним доминантным геном, розовидная – другим неаллельным ему, но тоже доминантным геном. Когда эти гены окажутся в одном генотипе, развивается ореховидная форма гребня. В случае если организм оказывается гомозиготным по обоим рецессивным генам, развивается простой листовидный гребень. При скрещивании дигибридов (все с ореховидным гребнем) во втором поколении происходит расщепление в отношении 9:3:3:1. Но здесь нельзя найти независимого расщепления каждого аллеля в отношении 3:1, так как во всех случаях совпадения в генотипе обоих доминантных генов их прямого действия не обнаруживается.

Таким образом, о комплементарном взаимодействии неаллельных генов говорят в том случае, когда два неаллельных гена дают новый признак, то есть имеет место новообразование.

1. У душистого горошка гены С и Р порознь вызывают белую окраску цветов, пурпурная окраска получается при наличии в генотипе обоих доминантных генов. Растение душистого горошка с пурпурными цветами, скрещенное с растением, имеющим белые цветы, в потомстве дает половину растений с пурпурными и половину с белыми цветами. Как это можно объяснить?

Определите возможные генотипы родительских растений.

2. У разводимых в звероводческих хозяйствах норок, цвет меха определяется двумя парами несцепленных неаллельных генов, сочетание которых дает следующие фенотипы: А-вв - бежевый, ааВ- - серый, А-В- - коричневый, аавв - кремовый. Какой цвет норок комплементарный? Какое потомство и в каком соотношении получится при скрещивании гетерозиготных коричневых норок с кремовыми?

3. У европейцев имеет место взаимодействие двух пар неаллельных генов, контролирующих синтез антигенов в Kell-системе крови. Один из генов детерминирует синтез вещества - предшественника этих антигенов и является доминантным X-сцепленным геном. Второй ген является аутосомно-доминантным (его частота в популяциях составляет 0,05 %). Он определяет синтез Kell-антигенов, который возможен только в присутствии гена-предшественника. Рецессивное состояние последнего ведет к развитию акантоцитоза ("колючие" эритроциты) и разрушению эритроцитов (гемолизу). У здоровых родителей родился сын, страдающий акантоцитозом. Определите вероятные генотипы ребенка и родителей, если они являются гомозиготными по локусу Kell-антигена.

4. У человека пигментация волос обусловлена комплементарным действием генов. Ген М контролирует образование черного пигмента и представлен тремя аллелями: M^{bk} , M^{bw} , M^{bd} . Доминирование $M^{bk} > M^{bw} > M^{bd}$. Первый аллель обуславливает синтез значительных, второй - промежуточных и третий - малых количеств пигмента. Последний нельзя путать с аллелем альбинизма, локализуемом в другом локусе. У гомозигот по аллелю альбинизма пигмент вообще не образуется. Кроме вышеуказанных трех аллелей, существует доминантный неаллельный ген R, который контролирует синтез красного пигмента. Рецессивный ген r в гомозиготном состоянии приводит к отсутствию красного пигмента. Сочетание названных аллелей дает весь спектр окраски волос у человека.

$M^{bd} M^{bd} rr$ - блондин,

$M^{bd} M^{bd} RR$ - ярко-рыжий,

$M^{bw} M^{bd} RR$ - темно-рыжий,

$Mbk Mbd rr$ - шатен,

$Mbk m^{bk} rr$ - брюнет,

$M^{bk} M^{bd} Rr$ - каштановый

$M^{bw} M^{bw} Rr$ - каштановый.

а) В семье отец блондин, мать брюнетка. Унаследуют ли дети цвет волос родителей? б) Может ли в семье, где отец брюнет, а мать шатенка, родиться ярко-рыжий ребенок? в) Может ли в семье, где отец имеет каштановые волосы, а мать шатенка, родиться ребенок блондин?

5. При скрещивании безалкалоидных форм узколистного люпина в F1 получили все растения алкалоидные, в F2 произошло расщепление: 530 алкалоидных и 430 безалкалоидных. Как наследуется признак алкалоидности? Определите генотипы исходных растений, гибридов F1 и F2.

6. При скрещивании растений томата с желтыми плодами с растениями с оранжевыми плодами в F1 все растения имели красные плоды, а в F2 наблюдалось расщепление: 132 – с красными, 47 — с желтыми, 49 — с оранжевыми и 14 — с желто-оранжевыми плодами. Как наследуется признак? Определите генотипы исходных растений, F1 и F2.

7. При скрещивании растений лука с белыми и желтыми луковичами в F1 получены растения с красными луковичами, а в F2 наблюдалось расщепление: 275 растений с красными, 89 — с желтыми и 116 — с белыми луковичами. Как наследуется данный признак? Определите генотипы исходных растений, F1 и F2.

8. Одна женщина много лет подряд выращивала дома на подоконнике белоплодные баклажаны. Однажды она взяла у знакомого садовода рассаду фиолетовых баклажан и одно из растений скрестила с одним из своих белоплодных. На следующий год из гибридных семян она

вырастила $\frac{5}{8}$ растений с белыми плодами и $\frac{3}{8}$ с фиолетовыми. Какое расщепление по цвету плодов получила бы женщина, если бы она самоопылила принесенное от садовода родительское растение, дававшее фиолетовые плоды? Какой генотип имело ее собственное, взятое для скрещивания растение?

9. У человека известно два вида наследственной слепоты, каждая из которых определяется собственным рецессивным аутосомным геном. Эти гены находятся в разных хромосомах. Определите вероятность рождения ребенка слепым, если мать и отец страдают разными видами наследственной слепоты, имея в виду, что по обоим парам генов они гомозиготны. Определите вероятность рождения слепого ребенка, если известно, что родители его зрячие, но обе бабушки страдают одинаковым видом наследственной слепоты и являются гомозиготными по доминантному аллелю другого гена. В родословных со стороны дедушек наследственной слепоты не отмечено.

10. Глаукома взрослых наследуется несколькими путями. Одна форма определяется доминантным аутосомным геном, другая — рецессивным, тоже аутосомным, не сцепленным с первым геном. Какова вероятность рождения ребенка с аномалией в случае, если оба родителя гетерозиготны по обоим парам патологических генов? Какова вероятность рождения ребенка с аномалией в семье, где один из родителей болен и является гетерозиготным по обоим генам, а другой нормален в отношении зрения и гомозиготен по обоим генам?

11. У человека описаны две формы глухонемоты, которые определяются рецессивными аутосомными несцепленными генами. Какова вероятность рождения детей глухонемыми в семье, где мать и отец страдают одной и той же формой глухонемоты и являются гетерозиготными по второму гену? Какова вероятность рождения глухонемых детей в семье, где оба родителя страдают разными формами глухонемоты и одновременно являются гетерозиготными по другому гену глухонемоты?

11. Одна из форм глухонемоты у человека определяется доминантным геном. Другая форма, вызывающая нарушения звуковоспринимающей системы, наследуется как рецессивный аутосомный признак. Клинически эти формы практически не различимы. Предлагаем Вам историю одной семьи, пораженной глухонемотой, проживавшей в Северной Ирландии.

Пробанд и пять его братьев здоровы. Мать и отец пробанда глухонемые. Родная сестра и два брата отца также глухонемые, а со стороны его матери четыре ее родных брата и сестра здоровы, но имеются также глухонемые сестра и брат. Бабка и дед по материнской линии здоровы, а по отцовской линии страдают глухонемой. У бабки по отцу были еще две девочки и один мальчик — все больные. У деда по отцу 3 сестры и брат были здоровыми и 2 сестры страдали глухонемой. Прабабушка и прадед со стороны этого деда были здоровыми, а со стороны больной бабушки оба страдали глухонемой. Составьте родословную и определите генотипы всех членов семьи. Какова вероятность, что у пробанда родится здоровый сын, если он вступит в брак с женщиной из семьи, благополучной по глухонемоте?

12. У кукурузы нормальный рост определяется двумя доминантными неаллельными генами. Гомозиготность по рецессивным аллелям даже одной пары генов приводит к возникновению карликовых форм. При скрещивании двух карликовых растений кукурузы выросли гибриды нормальной высоты, а при скрещивании этих гибридов в их потомстве было получено 812 нормальных и 640 карликовых растений. Определить генотипы родителей и потомков.

13. У лука ген R определяет красную окраску чешуй, а ген r — желтую. Любая окраска проявляется только при наличии в генотипе доминантного гена C , при его отсутствии чешуи имеют белую окраску. Определить генотипы исходных форм луковиц с белыми и красными чешуями, если все гибридные луковицы имели красную окраску чешуй.

14. Собаки породы кокер-спаниель при генотипе A^*B^* имеют черную масть, при генотипе A^*bb — рыжую, при генотипе aaB^* — коричневую, а при генотипе $aabb$ — светло-желтую. При скрещивании черного кокер-спаниеля со светло-желтым родился светло-желтый щенок. Какое соотношение по масти следует ожидать от спаривания того же черного спаниеля с собакой одинакового с ним генотипа?

15. Окраска бобов может быть пурпурной, желтой и белой. Под действием гена A неокрашенное соединение переводится в пурпурный пигмент. Ген B вызывает превращение пурпурного вещества в желтое. Какое потомство получится от скрещивания растений с генотипами $AaBb$ и $aaBB$?

16. У норки известно два рецессивных гена – **p** и **i**, гомозиготность по каждому из которых, или по обоим одновременно, обуславливает платиновую окраску меха. Дикая коричневая окраска получается при наличии обоих доминантных аллелей **P** и **I**. При каком типе скрещивания двух платиновых норок все их потомство будет коричневым?

17. Среди ферментов, участвующих в образовании хлорофилла у ячменя, имеется два фермента, отсутствие которых приводит к нарушению синтеза этого пигмента. Если нет одного из них, то растение становится белым, если нет другого – желтым. При отсутствии обоих ферментов растение также белое. Синтез каждого фермента контролируется доминантным геном. Гены находятся в разных хромосомах. Какое потомство следует ожидать при самоопылении гетерозиготного по обоим генам ячменя?

18. В первом поколении от скрещивания зелёного и белого волнистых попугайчиков всё потомство оказалось зелёным. В F_2 получилось 28 зелёных, 8 жёлтых, 9 голубых и 3 белых попугая. Каковы генотипы родителей и потомков.

19. От скрещивания белых и серых мышей в потомстве F_1 все особи были чёрными, а в F_2 было 87 чёрных мышей, 37 серых и 45 белых. Как наследуется окраска у этих мышей? Определить генотип родителей и потомков.

2. Эпистаз

При **эпистазе** доминантный (рецессивный) ген из одной аллельной пары подавляет действие доминантного (рецессивного) гена из другой аллельной пары. Подавляющий ген называется супрессором. В качестве примера можно привести окраску оперения у кур. У кур доминантный ген С детерминирует синтез пигмента, а доминантный аллель другого гена I является его супрессором. Поэтому куры с генотипом С-I- имеют белое оперение.

При доминантном эпистазе при скрещивании гетерозигот есть два типа расщепления: 12:3:1; 13:3. При рецессивном эпистазе - 9:3:4.

Пример. У лошадей доминантный ген С определяет серую окраску шерсти. В то же время он является супрессором по отношению к генам В, определяющим вороную масть и в -рыжую масть. То есть, вороная и рыжая масти могут проявляться только в случае рецессивной гомозиготы по гену С. Определите расщепление потомства по фенотипу в случае скрещивания двух дигетерозиготных серых лошадей.

В - вороная масть (В-сс),

в - рыжая масть (ввсс),

С - серый цвет, он же ген-супрессор,

с - ген, не оказывающий ингибиторного действия.

Р ВвСс x ВвСс

ВС, Вс ВС, Вс вС, вс вС, вс

Ф:	ВС	Вс	вС	вс
ВС	ВВСС	ВВсС	ВвСС	ВвсС
Вс	ВВсС	Ввсс	ВвсС	Ввсс
вС	ВвсС	ввСС	ввСС	ввсС
вс	ВвсС	Ввсс	ввсС	ввсс

Фенотипы: серые лошади - 12 частей, вороные - 3 части, рыжие - 1 часть потомков.

1. Чешуя белого лука различным образом реагирует на пары аммония в зависимости от генотипа растения. У растений генотипа *ccii*, утративших фермент, чешуя не окрашивается, а генотипа *C-I-* (в генотипе есть аллель, ответственный за выработку фермента, но одновременно присутствует его ингибитор или супрессор) чешуя в парах аммония делается желтой. При скрещивании между собой растений *ccii* и *CCII* гибриды F_1 имеют белые луковицы, а в F_2 наблюдается расщепление 13 белых: 3 желтых. Как изменится данное расщепление по этому признаку, если на луковицы подействовать парами аммония?

2. Черная кошка в течение ряда лет скрещивалась с белым голубоглазым котом. Потомство, полученное от этой пары, всегда было белым и котята пользовались повышенным спросом у любителей. При скрещивании котят друг с другом признак белой шерсти в потомстве не закреплялся, а всегда наблюдалось расщепление. Удалось проанализировать 59 потомков таких братско-сестринских скрещиваний. Среди них 11 котят были серыми, 4 - черными, а остальные — белыми, голубоглазыми. Объясните появление во втором поколении серых котят.

3. У кошек доминантный плейотропный ген **В** обуславливает белую окраску шерсти и голубые глаза, а также, как отмечал еще Ч. Дарвин, белые голубоглазые кошки часто бывают глухими. Белая кошка с голубыми глазами скрестилась с котом дикого типа (агути, полосатый). В первом поколении все котята были белые с голубыми глазами. Из 64 котят, полученных в F_2 этого скрещивания, 48 оказались белыми голубоглазыми, 9 — полосатых с белым воротничком и лапками, 3 — «мраморных» с белыми пятнами на теле, 3 — полосатых без белых пятен и одна кошечка вся «мраморная» без белых пятен. Окраска шерсти у всего потомства была дикого типа (агути). Определите генотипы родителей и потомков. Откуда в F_2 появилось такое многообразие признаков?

4. У овса черная окраска семян определяется доминантным геном **А**, а серая окраска — доминантным геном **В**. Ген **А** эпистатичен гену **В**, и последний в его присутствии не проявляется. При отсутствии в генотипе обоих доминантных генов окраска семян белая. При скрещивании двух серосеменных растений получили растения с серыми и белыми семенами в пропорции 3:1. Определить генотипы родителей. Какое расщепление в потомстве было бы получено, если бы скрещивались дигетерозиготные формы?

5. При скрещивании чистых линий собак коричневой и белой масти все

потомство имело белую окраску. Среди потомства полученных гибридов было 118 белых, 32 черных и 10 коричневых собак. Предложите гипотезу, объясняющую эти результаты.

6. Свиньи бывают черной, белой и красной окраски. Белые свиньи несут минимум один доминантный ген **I**. Черные свиньи имеют доминантный ген **E** и гомозиготны по рецессивной аллели **i**. Красные поросята (**eeii**) лишены доминантного гена-подавителя **I** и доминантного гена, определяющего черную окраску. Какое потомство можно ожидать от скрещивания черной гомозиготной свиньи и красного кабана?

7. При скрещивании кур породы белый леггорн ССJJ с петухом породы белый плимутрок ссjj в F2 наряду с белыми появляются окрашенные цыплята в соотношении примерно 13 белых и 3 чёрных. В этом случае доминантный ген J проявляется ингибитором доминантного гена с чёрного оперения, Определите тип наследования.

8. При скрещивании растений одного из сортов тыквы с белыми и жёлтыми плодами всё потомство F1 имело белые плоды, При скрещивании этого потомства между собой в F2 было получено: 204 с белыми плодами, 53 с желтыми и 17 с зелёными. Определить генотип родителей и тип наследования.

9. Окраска мышей определяется двумя парами неаллельных генов. Доминантный ген одной пары обуславливает серый цвет, его рецессивная аллель - чёрный. Доминантная аллель другой пары способствует проявлению цветности, его рецессивная аллель подавляет цветность. При скрещивании серых мышей между собой получили потомство из 58 серых и 19 чёрных мышей. Определите генотипы родителей и потомства.

10. У кроликов окраска «агути» определяется доминантным геном А, а чёрная окраска его рецессивным геном а. Оба признака проявляются только при наличии доминантного гена J, а его рецессивная аллель подавляет цветность. При скрещивании кроликов «агути» с альбиносами получилось расщепление в потомстве: 3 «агути», 1 чёрный и 4 альбиноса. Определить генотипы родителей.

11. При скрещивании белых и голубых кроликов в первом поколении все потомство было черным, а во втором поколении было получено 67 черных кроликов, 27 голубых и 34 белых кролика. Написать схемы скрещивания. Определить тип наследования.

12. У кур пород леггорн и виандот ген С детерминирует окрашенное оперение, а его аллель с – белое. У породы леггорн имеется эпистатический ген J, подавляющий развитие пигмента даже при наличии гена С. Его аллель - ген j позволяет гену С проявить свое действие. Леггорны с генотипом СС имеют белое оперение в связи с эпистазом гена

I над C; виандонты с генотипом $jjss$ имеют белое оперение вследствие отсутствия доминантного аллеля пигментации – C. а) Скрещены белый дигетерозиготный леггорн с пигментированным виандотом. Половина цыплят имеет белое, а половина окрашенное оперение. Определить генотип виандота. б) Скрещены белый дигетерозиготный леггорн с пигментированным виандотом. Среди цыплят обнаружено расщепление в отношении 5 белых к 3 пигментированным. Определить генотип виандота. в) Скрещены две белых особи - белый дигетерозиготный леггорн с белым виандотом. Определить расщепление по фенотипу в первом поколении.

13. У человека синтез эритроцитарных группоспецифических белков – антигенов А и В – определяется доминантными генами I^A и I^B . Неаллельный ген Н контролирует синтез белка – предшественника антигенов А и В. У гомозиготных по рецессивному аллелю людей (hh) антигены А и В не синтезируются. Фенотипически эти люди имеют I группу крови. У супружеской пары, где муж и жена имеют IV группу крови и гетерозиготны по аллелям гена Н, родился ребенок с первой группой крови. Какова вероятность рождения следующих детей с I группой крови?

14. Растение тыквы с белыми удлинненными плодами скрестили с растением, у которого были зеленые дисковидные плоды. В первом поколении от этого скрещивания получили растения с белыми дисковидными плодами, а во втором получили расщепление: 548 растений с белыми дисковидными плодами, 355 — с белыми шаровидными, 61—с белыми удлинненными, 129 — с желтыми дисковидными, 95 — с желтыми шаровидными, 14 — с желтыми удлинненными, 49 — с зелеными дисковидными, 28 — с зелеными шаровидными, 5 — с зелеными удлинненными плодами.

Как наследуется окраска и форма плодов у фигурных тыкв? Определите генотипы родителей, а также соотношение, которое теоретически ожидалось в F_2 . Какое расщепление Вы ожидаете получить в анализирующем скрещивании и какое растение будете использовать в качестве анализатора?

3. Полимерное действие генов

При **полимерии** доминантные гены из разных аллельных пар влияют на степень проявления одного и того же признака. Полимерные гены принято обозначать одной буквой латинского алфавита с цифровыми индексами. Чем больше генов находится в доминантном состоянии, тем ярче выражен признак. Полимерное действие лежит в основе наследования количественных признаков и играет важную роль в эволюции.

Полимерия бывает 2-х видов – **кумулятивная и некумулятивная**.

При кумулятивной (накопительной) полимерии действие аллелей суммируется, проявление признака зависит от числа доминантных аллелей. При некумулятивной – признак контролируется несколькими эквивалентами, но для формирования достаточно хотя бы одного доминантного аллеля.

Биологическое значение полимерии заключается в том, что определяемые этими генами признаки более стабильны, чем кодируемые одним геном. Организм без полимерных генов был бы крайне неустойчив: любая мутация или рекомбинация приводила бы к резкой изменчивости, а это в большинстве случаев невыгодно.

У животных и растений имеется много полигенных признаков, среди них и хозяйственно ценные: интенсивность роста, скороспелость, у кур – яйценоскость, у крупного рогатого скота – количество молока, в плодах – содержание сахаристых веществ и витаминов и т.д.

Многие морфологические, физиологические и патологические особенности человека определяются полимерными генами: рост, масса тела, величина артериального давления. Развитие таких признаков у человека подчиняется общим законам полигенного наследования и очень сильно зависит от влияния условий среды. В этих случаях наблюдается, например, наличие предрасположенности к гипертонической болезни, к ожирению и т.д. Данные признаки при благоприятных условиях среды могут и не проявиться или проявиться в незначительной степени. Это отличие полигенных признаков от моногенных. Изменяя условия среды, можно обеспечить в значительной степени профилактику ряда полигенных заболеваний.

Пример кумулятивной полимерии.

Пигментация кожи у человека. Допустим, что пигментация человека определяется двумя неаллельными генами, действие которых суммируется в разных локусах:

- A_1, A_2 – пигмент,
- a_1, a_2 – нет

P : ♀(негр) $A_1A_1A_2A_2$ X ♂ (бел) $a_1a_1a_2a_2$

F1 $A_1a_1A_2a_2$ - мулат

♀ $A_1a_1A_2a_2$ X ♂ $A_1a_1A_2a_2$

У потомков пигментация кожи варьирует в зависимости от количества доминантных генов.

1/16 – $A_1A_1A_2A_2$ негры (4 доминантных аллеля)

4/16 – $A_1A_1A_2a_2$ (2/16); $A_1a_1A_2A_2$ (2/16) темные мулаты
(3 доминантных аллеля)

6/16 – $A_1A_1a_2a_2$ (1/16); $a_1a_1A_2A_2$ (1/16); $A_1a_1A_2a_2$ (4/16); мулаты
(2 доминантных аллеля)

4/16 – $A_1a_1a_2a_2$ (2/16); $a_1a_1A_2a_2$ (2/16) светлые мулаты
(1 доминантный аллель)

1/16 – $a_1a_1a_2a_2$ белые (нет доминантных аллелей)

Расщепление: 1:4:6:4:1

Пример некумулятивной полимерии.

A_1A_1 – треугольная форма семян растения пастушьей сумки

a_2a_2 – овальная форма семян растения пастушьей сумки

P : ♀(треугольная) $A_1A_1A_2A_2$ X ♂ (овальная) $a_1a_1a_2a_2$

F1 $A_1a_1A_2a_2$ - треугольная

♀ $A_1a_1A_2a_2$ X ♂ $A_1a_1A_2a_2$

F2 $A_1A_1A_2A_2$ –треугольная

$A_1a_1a_2a_2$ – треугольная 15/16

$a_1a_1A_2a_2$ - треугольная

$a_1a_1a_2a_2$ овальная 1/16

расщепление: 15:1.

1. У растений кукурузы одного сорта в початке 16 рядов зерен, у другого - 8. При скрещивании этих сортов в F1 наблюдается промежуточный фенотип, со средним значением 12 рядов в початке. У растений F2 количество рядов варьирует от 8 до 16, причем примерно у одного из каждых 32 имеется столько же рядов зерен, как и у одного из родителей. Сколько генов определяет данный признак? Напишите генотипы родителей, F1 и ожидаемое соотношение растений по фенотипу.

2. Установлено, что длина цветка у табака контролируется 4 парами генов. У доминантной гомозиготы длина цветка составляет 92 мм, у рецессивной гомозиготы по всем генам – 40. Какая длина цветка будет у растений F1? Какая часть растений F2 будет иметь такую же длину цветка, как гомозиготная родительская форма?

3. Растение тыквы с белыми удлинёнными плодами скрестили с растением с зелеными дисковидными плодами. В F1 все растения были с белыми дисковидными плодами, а в F2 было получено расщепление: 548 растений с белыми дисковидными плодами,

365 »» » шаровидными » ,

61 »» » удлинёнными » ,

129 »»желтыми дисковидными » ,

95 »» » шаровидными » ,

14 »» » удлинёнными » ,

49 »»зелеными дисковидными» ,

28 »» » шаровидными » ,

5 »» » удлинёнными » .

1294

Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных растений.

4. Установлено, что длина цветка у табака контролируется 4 парами генов. У доминантной гомозиготы длина цветка составляет 92 мм, у рецессивной гомозиготы по всем генам – 40. Какая длина цветка будет у растений F1? Какая часть растений F2 будет иметь такую же длину цветка, как гомозиготная родительская форма?

5. От скрещивания оранжевых и шоколадно-коричневых кроликов в F1

все крольчата имели черную окраску. В F₂ получено расщепление:

94 – черных;

33 – голубых;

25 – шоколадно-коричневых;

30 – желтых;

11 – светло-серых;

10 – светло-желтых;

9 – оранжевых;

3 – песочных.

От скрещивания самца песочной окраски с самками из первого поколения родилось 36 крольчат тех же фенотипов, что и в F₂, но в соотношении 1 : 1 : 1 :

1 : 1 : 1 : 1 : 1. Как наследуется признак? Определите генотипы всех особей.

6. Однажды садовод-любитель скрестил между собой два растения персика разных сортов, но оба дававшие белые плоды. Три года он ухаживал за гибридами, а весной четвертого года, когда растения зацвели, садовод переопыллил часть цветков гибридов F₁ пыльцой одного из родителей, а часть цветков самоопыллил. Пришел конец лета и все гибридные растения дали белые плоды. Садовод сохранил косточки плодов, развившихся из переопыленных и самоопыленных цветов. Весной он высадил их в почву и через три года осенью получил следующие результаты своих опытов. Из растений F₂ 241 давало белые персики, 31 - желто-красные, 22 - желтые, 20—красные, 6—ярко-красные. Из растений, полученных в возвратном скрещивании, 40 давали белые персики, 7—желто-красные и 17—желтые.

Садовод удивился, откуда у белоплодных растений могли возникнуть потомки с иной окраской плодов. Не смогли бы Вы объяснить садоводу-любителю, с какой генетической закономерностью он столкнулся в ходе проведения скрещиваний и как, исходя из полученных им результатов, наследуется окраска плодов у персиков.

7. При скрещивании кур и петухов с оперенными ногами из двух разных линий в F₁ все цыплята имели оперенные ноги, а в F₂ 64 цыпленка имели оперенные и 5— голые ноги. Когда скрестили особей из F₁ с голоногими особями из F₂, то получили 37 цыплят с оперенными и 11 с голыми ногами. Как наследуется признак? Определите генотипы исходных петухов и кур.

8. Изучение наследования длины цветка самоопыляющегося табака показало, что этот признак контролируется 4 парами несцепленных генов. Какая часть растений P₂ будет иметь такую же длину цветка,

как и гомозиготные по всем доминантным и рецессивным аллелям родительские формы (длина цветка рецессивной формы 40 мм, доминантной формы — 93 мм)?

9. Высота растения сорго, гомозиготного по рецессивным аллелям четырех генов карликовости, обуславливающих укороченность стебля, равна 40 см. Высота растения, гомозиготного по доминантным аллелям этих четырех генов, равна 240 см. Допустим, что различия в высоте стебля контролируются в равной мере всеми четырьмя аллелями, причем их действие носит количественный и кумулятивный характер. Растение генотипа $A_1A_1A_2A_2A_3A_3a_4a_4$ скрещивали с растением $a_1a_1a_2a_2a_3a_3A_4A_4$. Какова высота стебля у каждой из родительских форм? Какова ожидаемая высота растений F_1 ? Укажите ожидаемые пределы изменчивости высоты у растений и ожидаемую численность растений для каждого класса высоты. Какова ожидаемая средняя высота растений F_2 ?

10. Рост человека контролируется несколькими парами несцепленных генов, которые взаимодействуют по типу полимерии. Если пренебречь факторами внешней среды и условно ограничиться лишь тремя парами генов, то можно допустить, что в какой-то популяции самые низкорослые люди имеют все доминантные аллели и рост 150 см, а самые высокие — все рецессивные и рост 180 см. Определите рост людей, гетерозиготных по всем трем парам генов, контролирующим рост.

11. У человека известно несколько заболеваний, например, склонность к гастритам, в основе которых лежит полигенное наследование, то есть аддитивное действие целого ряда генов. Для таких заболеваний характерно, что частота их у близких родственников большого (пробанда) значительно выше, а при снижении степени родства она быстро падает. Эти заболевания возникают у лиц с полигенным предрасположением, превышающим некий порог, при наличии способствующих факторов внешней среды. Можно ли точно предсказать рождение ребенка с таким заболеванием в семье, где оба родителя имеют полигенную предрасположенность к нему? Какова вероятность рождения ребенка с предрасположенностью к гиперацидному гастриту в семье, где оба родителя страдают этим заболеванием и оба являются гетерозиготными по 7 аддитивным генам, взаимодействующим по принципу кумулятивной полимерии?

ПОЛ И НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ

1. Наследование генов, локализованных в половых хромосомах

У человека, как у большинства других организмов, женщина продуцирует гаметы, содержащие только **X**-хромосомы (**гомогаметные**). Мужчины являются **гетерогаметными** и производят два типа гамет (с **X**- и с **Y**-хромосомой).

P	♀ XX	×	♂ XY
гаметы	X		X, Y
F ₁	♀ XX 50%		♂ XY 50%

У некоторых организмов: птиц, бабочек, отдельных видов рыб и растений (например земляники) гетерогаметными являются женские особи, а мужские – гомогаметными.

Половые хромосомы X и Y не являются полностью гомологичными друг другу. Поэтому наследование признаков, гены которых находятся в негомологичных участках половых хромосом, имеет свои особенности:

1. Отец всегда передает свою **X**-хромосому дочери, а **Y**-хромосому – сыну. Мать передает **X**-хромосому или сыну, или дочери.
2. Признаки, развитие которых определяется генами, расположенными в негомологичных участках **Y**-хромосомы, всегда встречаются у мужчин и никогда не встречаются у женщин.
3. Рецессивные гены, расположенные в **X**-хромосомах, всегда проявляются у мужчин, а у женщин – только в гомозиготном состоянии.
4. Доминантные гены в **X**-хромосомах у женщин могут быть в гомозиготном или гетерозиготном состоянии, а у мужчин – только в гомозиготном.

Пример. Классическая гемофилия передается как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой, признак. Мужчина, больной гемофилией, женился на здоровой женщине (все ее предки были здоровы). У них родилась здоровая дочь. Определить вероятность рождения больного гемофилией ребенка от брака этой дочери со здоровым мужчиной.

Решение

A – нормальная свертываемость, **a** – гемофилия.

1. Мужчина болен гемофилией, следовательно, его генотип – X^aY .
2. Женщина здорова, значит, она несет доминантный ген **A**. Все ее предки были здоровы (чистая линия), следовательно, она не является носительницей, и ее генотип – X^AX^A .
3. Одну X-хромосому дочь получила от матери, другую от отца. Мать могла передать ей только хромосому X^A , а отец – только X^a . Генотип дочери – X^AX^a .
4. Генотип мужа дочери – X^AY , по условию задачи.

Схема брака

P	♀ X^AX^a здорова		×	♂ X^AY гемофилия	
гаметы	⊙ X^A			⊙ X^a ⊙ Y	
F ₁	X^AX^a носитель			X^AY здоров	
гаметы	⊙ X^A	⊙ X^a		⊙ X^A	⊙ Y
F ₂	X^AX^A здорова 25%	X^AX^a носитель 25%		X^AY здоров 25%	X^aY гемофилия 25%

Вероятность рождения больного гемофилией ребенка – 25% (50% мальчиков будут страдать этим заболеванием).

1. У дрозофилы доминантный ген красной окраски глаз (W) и рецессивный ген белой окраски (w) находятся в X -хромосомах. Белоглазая самка скрещивалась с красноглазым самцом. Какой цвет глаз будет у самцов и самок в первом и втором поколении?
2. При скрещивании самки дрозофилы с нормальными крыльями и самца, имеющего обрезанные на концах крылья, в F_1 все особи оказались дикого фенотипа, а во втором поколении получили 53 мухи с нормальными закругленными крыльями и 17 — с обрезанными, причем все 17 особей оказались самцами. В реципрокном скрещивании самки с обрезанными крыльями и нормального самца уже в первом поколении выщепилось 42 самца с обрезанными крыльями и 40 нормальных самок. Как наследуется форма крыла у дрозофилы? Какого расщепления следует ожидать во втором поколении реципрокного скрещивания?
3. Рecessивный ген дальтонизма локализован в X -хромосоме. От брака женщины с нормальным зрением, родственники которой страдали дальтонизмом, и мужчины с нормальным зрением, у отца которого была цветовая слепота, родились три дочери с нормальным зрением и два сына с цветовой слепотой. Каковы генотипы родителей и потомства? От кого из родителей мальчики получили ген дальтонизма?
4. У человека цветовая слепота обусловлена рецессивным геном, сцепленным с X -хромосомой. Нормальное зрение определяется доминантным аллелем этого гена. От брака родителей с нормальным зрением родился ребенок с цветовой слепотой. Определить генотипы всех членов семьи.
5. Отсутствие потовых желез у людей — рецессивный признак, сцепленный с X -хромосомой. Мужчина, у которого отсутствуют потовые железы, женился на женщине, в семье которой никогда не встречалось это заболевание. Какова вероятность рождения у них детей с подобной аномалией?
6. У дрозофилы есть пара аллельных генов, один из которых определяет развитие нормальных круглых глаз, а другой — полосковидных глаз. Скрещивается самка, имеющая полосковидные глаза, с круглоглазым самцом. Все потомство F_1 имеет полосковидные глаза. Возвратное скрещивание самок из F_1 с родителем привело к появлению потомства F_2 , в котором половина самок и половина самцов имело полосковидные глаза, а другая половина — круглые. Объясните характер наследования данного признака.

7. Классическая гемофилия передается как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой признак. Мужчина, больной гемофилией, женится на женщине, не имеющей этого заболевания. У них рождаются нормальные дочери и сыновья, которые все вступают в брак с лицами, не страдавшими гемофилией. Обнаружится ли у внуков вновь гемофилия и какова вероятность появления больных в семье дочери и в семье сына?

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

8. Потемнение зубов – доминантный признак, сцепленный с X-хромосомой. У родителей, имеющих темные зубы, родилась дочь с темными и сын с белыми зубами. Какова вероятность рождения детей с белыми зубами в этой семье?

9. Ангидрозная эктодермальная дисплазия (отсутствие потоотделения, нарушение терморегуляции) передается у людей как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой признак. Юноша, не страдающий этим недостатком, женится на девушке, отец которой лишен потовых желез, а мать и ее предки здоровы. Какова вероятность того, что дети от этого брака будут страдать отсутствием потовых желез?

Нормальная женщина выходит замуж за мужчину, больного ангидрозной эктодермальной дисплазией. У них рождаются больная девочка и здоровый сын. Определите вероятность рождения следующего ребенка без аномалии.

10. Роза и Алла — родные сестры и обе, как и их родители, страдают ночной слепотой. У них есть еще сестра с нормальным зрением, а также брат и сестра, страдающие ночной слепотой. Роза и Алла вышли замуж за мужчин с нормальным зрением. У Аллы было две девочки и четыре мальчика, страдающие ночной слепотой. У Розы — два сына и дочь с нормальным зрением и еще один сын, страдающий ночной слепотой. Попробуйте определить генотипы Розы и Аллы, их родителей и всех детей. Составьте родословную семьи. Какова вероятность появления у Розы и Аллы внуков, страдающих ночной слепотой, при условии, что все их дети вступят в брак с лицами, нормальными в отношении зрения?

11. Гипоплазия эмали (тонкая зернистая эмаль, зубы светло-бурого цвета) наследуется как сцепленный с X-хромосомой доминантный признак. В семье, где оба родителя страдали отмеченной аномалией, родился сын с нормальными зубами. Определите вероятность того, что следующий из их детей также будет с нормальными зубами.

12. Девушка, имеющая нормальное зрение, отец которой был дальтоником, выходит замуж за мужчину с нормальным зрением, отец которого также был дальтоником. Какое зрение может быть у потомства от этого брака?

13. У кошек рыжая окраска шерсти контролируется геном O , локализованным в X-хромосоме; аналогичного локуса в Y-хромосоме нет. Кошки с генотипом $O/+$ имеют черепаховую окраску из чередующихся черных и рыжих пятен. Какое потомство ожидается от следующих скрещиваний:

№	Самка	Самец	№	Самка	Самец
1	Черная	Рыжий	4	Черепаховая	Черный
2	Рыжая	Черный	5	Черная	Черный
3	Черепаховая	Рыжий	6	Рыжая	Рыжий

Почему так редки черепаховые коты? Напишите возможный генотип черепахового кота.

14. У одного двудомного цветкового растения встречается иногда рецессивный ген «узкие листья», локализованный в X-хромосоме. Гомозиготное широколистное растение было оплодотворено пыльцой узколистного. Выращенное из полученных семян женское растение обладало широкими листьями и было скрещено с широколистным мужским. Какими будут мужские и женские потомки от этого скрещивания и от дальнейших скрещиваний этих потомков с гомозиготными широколистными растениями? Система определения пола у этого растения такая же, как у дрозофилы и у человека.

15. При скрещивании серых самок аквариумных рыбок «гуппи» с пестро окрашенным самцом в первом поколении получены серые самки и пестрые самцы в соотношении 1:1. Такое же соотношение наблюдалось во всех последующих поколениях. Как объяснить полученные результаты?

16. У мужчины по краю ушной раковины сильно развит волосной покров. У его отца, деда и прадеда уши также были волосатыми. В отличие от известного утверждения братьев Стругацких («Понедельник начинается в субботу»), этот признак никак не сказывался на их умственных способностях. У двух сыновей мужчины уши волосатые, а у дочери края ушной раковины лишены волосного покрова. Составьте родословную данной семьи и определите характер наследования признака, если известно, что со стороны супруги

мужчины ни у кого в родословной признак волосатых ушей никогда не проявлялся.

17. Перепончатопалость передается через Y-хромосому. Определить возможные фенотипы детей от брака перепончатопалого мужчины и нормальной женщины.

18. 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?

19. При скрещивании двух канареек получились зеленые самцы и коричневые самки. Цвет оперения сцеплен с X-хромосомой. Каков внешний вид родительской пары?

20. У дрозофилы гены длины крыльев и окраска глаз сцеплены с полом. Нормальная длина крыла и красные глаза доминируют над миниатюрными крыльями и белыми глазами.

а) Каким будет потомство F1 и F2 при скрещивании между самцом с миниатюрными крыльями и красными глазами и гомозиготной самкой с нормальными крыльями и белыми глазами? Объясните ожидаемые результаты.

б) Скрещивание между самкой из полученного выше поколения и белоглазым самцом с миниатюрными крыльями дало следующие результаты:

самцы и самки с нормальными крыльями и белыми глазами	35,
самцы и самки с нормальными крыльями и красными глазами	17,
самцы и самки с миниатюрными крыльями и белыми глазами	18,
самцы и самки с миниатюрными крыльями и красными глазами	36.

Объясните появление этих фенотипов и их численные соотношения.

21. Рецессивные гены, кодирующие признаки гемофилии и дальтонизма, сцеплены с X-хромосомой. Мужчина, больной гемофилией, женится на здоровой женщине, отец которой был дальтоником, но не гемофиликом. Какое потомство получится от брака их дочери со здоровым мужчиной?

22. В X-хромосоме человека могут располагаться рецессивные гены, определяющие развитие гемофилии и дальтонизма. Женщина имеет отца, страдающего гемофилией, но не дальтонизмом, и здоровую по

признаку гемофилии (гомозиготную) мать-дальтоника. Эта женщина выходит замуж за здорового мужчину. Какова вероятность рождения у нее ребенка с одной аномалией, если предположить, что кроссинговер между генами гемофилии и дальтонизма отсутствует?

23. У овец ген **P** обуславливает комолость, а ген **P'** – рогатость. Доминирование этой пары аллелей зависит от пола. У баранов рогатость доминирует над комолостью, а у овец комолость доминирует над рогатостью. Какое потомство F_1 можно ожидать от скрещивания рогатой овцы с комолым бараном?

24. Облысение, начинающееся со лба, является признаком, доминантным у мужчин и рецессивным у женщин (поэтому лысые мужчины встречаются чаще). Признак кодируется аутосомным геном. Облысевший мужчина (гетерозиготный по гену лысости) женился на женщине с нормальными волосами, мать которой была лысой. Определить возможные генотипы потомства.

25. У мужчин аутосомный ген лысости **S** выступает как доминантный, а у женщин он рецессивен. Женщина, имеющая лысого брата, выходит замуж за лысого мужчину. Отец женщины также был лысым. У них родился нормальный сын и рано облысевшая дочь, которая вышла замуж за нормального мужчину. Какова вероятность рождения сына, склонного к раннему облысению, у этой пары?

26. Черная кошка принесла котят, у одного из которых черепаховая окраска шерсти, а у трех – черная. Что можно сказать о генотипе котят? Каков их пол?

2. Наследование признаков, контролируемых аутосомными и сцепленными с полом генами

Отличие этих задач от задач на ди- и полигибридное скрещивание в том, что при их решении также следует учитывать особенности наследования признаков, сцепленных с полом. Гены, локализованные в половых хромосомах, обозначаются соответствующими индексами около символов **X** и **Y**, а гены соматических хромосом – строчными и заглавными латинскими буквами.

Пример.

Ген доминантного признака шестипалости (**A**) локализован в аутосоме. Ген рецессивного признака дальтонизма (**d**) расположен в **X**-хромосоме. От брака шестипалого мужчины-дальтоника и здоровой женщины родился шестипалый сын-дальтоник и здоровая дочь. Каковы генотипы родителей и детей?

Решение

1. Женщина имеет нормальную кисть, следовательно, ее генотип по признаку шестипалости – **aa**. У нее нормальное зрение (**X^D**), но ее сын – дальтоник (**X**-хромосому он получил от матери). Поэтому генотип женщины – **aaX^DX^d**.
2. У мужчины шестипалая кисть, значит, он несет ген **A**, но его дочь здорова (**aa**), поэтому генотип мужчины по признаку шестипалости – **Aa**. Мужчина страдает дальтонизмом, то есть несет рецессивный ген **d** в своей единственной **X**-хромосоме. Генотип мужчины – **AaX^dY**.
3. Подобным образом по генотипам родителей можно определить генотипы детей: дочь – **aaX^DX^d**, сын – **AaX^dY**.

A – шестипалость, **a** – нормальная кисть, **D** – нормальное зрение, **d** – дальтонизм.

P	♀ aaX^DX^d норм. кисть, носитель	×	♂ AaX^dY шестипалый, дальтоник									
гаметы	aX^D, aX^d		AX^d, aX^d, AY, aY									
F₁	<table border="1"><tr><td>AaXDXd шестипалый, носитель</td><td>aaXDXd норм. кисть, носитель</td><td>AaXdXd шестипалый, дальтоник</td><td>aaXdXd норм. кисть, дальтоник</td></tr><tr><td>AaXDY шестипалый, здоровый</td><td>aaXDY норм. кисть, здоровый</td><td>AaXdY шестипалый, дальтоник</td><td>aaXdY норм. кисть, дальтоник</td></tr></table>				AaXDXd шестипалый, носитель	aaXDXd норм. кисть, носитель	AaXdXd шестипалый, дальтоник	aaXdXd норм. кисть, дальтоник	AaXDY шестипалый, здоровый	aaXDY норм. кисть, здоровый	AaXdY шестипалый, дальтоник	aaXdY норм. кисть, дальтоник
AaXDXd шестипалый, носитель	aaXDXd норм. кисть, носитель	AaXdXd шестипалый, дальтоник	aaXdXd норм. кисть, дальтоник									
AaXDY шестипалый, здоровый	aaXDY норм. кисть, здоровый	AaXdY шестипалый, дальтоник	aaXdY норм. кисть, дальтоник									

Ответ:

Генотип матери – **aaX^DX^d**, отца – **AaX^dY**, дочери – **aaX^DX^d**, сына – **AaX^dY**.

1. Женщина-правша с карими глазами и нормальным зрением выходит замуж за голубоглазого мужчину-правшу дальтоника. У них родилась дочь с голубыми глазами, левша и дальтоник. Какова вероятность того, что следующий ребенок у них будет иметь такие же признаки, если

известно, что карий цвет глаз и преимущественное владение правой рукой – доминантные признаки, гены которых расположены в разных аутосомах, а дальтонизм кодируется рецессивным, сцепленным с X-хромосомой геном?

2. Гемофилия – рецессивный признак, сцепленный с X-хромосомой. Альбинизм – рецессивный аутосомный признак. У супружеской пары, нормальной по этим признакам, родился ребенок с обеими аномалиями. Какова вероятность рождения в этой семье здорового ребенка?

3. Женщина с нормальным зрением, оба родителя которой имели нормальное зрение, выходит замуж за мужчину с нормальным зрением. От этого брака родилась дочь с нормальным зрением и сын-дальтоник. И дочь, и сын вступили в брак с нормальными в отношении зрения людьми. У дочери родилось два сына, один из которых оказался дальтоником. Все дети сына — три мальчика и две девочки — были нормальными в отношении зрения. Составьте родословную этой семьи. Каковы генотипы всех лиц, упомянутых в задаче? Какое зрение может быть у правнуков, если в дальнейшем все партнеры в браках будут иметь нормальное зрение?

4. Мужчина с голубыми глазами и нормальным зрением, оба родителя которого имели серые глаза и нормальное зрение, женится на нормальной по зрению женщине с серыми глазами. Родители женщины имели серые глаза и нормальное зрение, а голубоглазый брат был дальтоником. От этого брака родилась девочка с серыми глазами и нормальным зрением и два голубоглазых мальчика, один из которых оказался дальтоником. Составьте родословную и определите генотипы всех членов этой семьи.

5. Женщина с группой крови А и нормальной свертываемостью крови (здоровая) выходит замуж за здорового мужчину с группой крови В. От этого брака родилось T_{Pr}^I ребенка: Катя — здоровая, с группой крови А; Витя - здоровый, с группой крови 0; Глеб — гемофилик, с группой крови А. Известно, что родители женщины были здоровы, мать имела группу крови 0, а отец — АВ. У мужчины отец и мать здоровы, их группы крови А и В, соответственно. Объясните, от кого Глеб унаследовал гемофилию. Определите генотипы всех членов семьи. Составьте родословную этой семьи.

6. У человека отсутствие потовых желез проявляется как сцепленный с полом рецессивный признак. Альбинизм обусловлен аутосомным рецессивным геном. У одной супружеской пары, нормальной по этим

признакам, родился сын с обеими указанными аномалиями. Укажите вероятные генотипы отца и матери. Какова вероятность того, что у второго сына также проявятся обе эти аномалии? Какова вероятность того, что их третьим ребенком будет нормальная девочка?

7. Гипертрихоз (повышенная волосатость ушной раковины) передается через **Y**-хромосому. Полидактилия – доминантный аутосомный признак. В семье, где отец страдал гипертрихозом, а мать – полидактилией, родилась нормальная дочь. Какова вероятность рождения в этой же семье ребенка с обеими аномалиями?

8. У человека аниридия (один из видов слепоты) зависит от доминантного аутосомного гена, летального в гомозиготном состоянии, а оптическая атрофия (другой вид слепоты) – от рецессивного, сцепленного с полом гена, находящегося в **X**-хромосоме. Мужчина с оптической атрофией и аниридией женился на женщине с аниридией, гомозиготной по аллелю, отвечающему за отсутствие оптической атрофии. Определите возможные фенотипы потомства от этого брака.

9. Гипоплазия зубной эмали наследуется как сцепленный с **X**-хромосомой доминантный признак, шестипалость – как аутосомно-доминантный. В семье, где мать шестипалая, а у отца гипоплазия зубной эмали, родился пятипалый здоровый мальчик. Напишите генотипы всех членов семьи по этим признакам. Объясните, почему у сына не проявились доминантные признаки родителей? Возможно ли у них рождение ребенка с двумя аномалиями одновременно?

10. Способность различать вкус фенилтиомочевины (ФТМ) обусловлена доминантным аутосомным геном **T**. Люди, не различающие вкус данного вещества, имеют генотип **tt**. Дальтонизм – рецессивный признак, сцепленный с **X**-хромосомой. Женщина с нормальным зрением, различающая вкус ФТМ, вышла замуж за дальтоника, неспособного различать вкус фенилтиомочевины. У них родилась дочь, страдающая дальтонизмом и различающая вкус ФТМ, и четыре сына, ни один из которых не страдал дальтонизмом. Двое из них различали вкус ФТМ, а двое – не различали. Каковы генотипы родителей и детей?

11. У дрозофилы имеются две пары альтернативных признаков: серая и желтая окраска тела, нормальная и зачаточная форма крыльев. Скрещивается гомозиготная самка с желтым телом и нормальными крыльями с гомозиготным самцом, имеющим серое тело и зачаточные крылья. Все самки получают серыми с нормальными крыльями, а все

самцы – желтыми с зачаточными крыльями. Какой признак сцеплен с полом, а какой нет? Какие признаки доминируют?

12. Здоровый (негемофилик) мужчина с группой крови АВ женился на здоровой женщине с группой крови 0, отец которой страдал гемофилией. Определите их генотипы. Какие фенотипы можно ожидать в потомстве этих супругов и с какой вероятностью?

13. У населения Средиземноморских стран распространен один из видов анемии — талассемия, которая обуславливается аутосомным рецессивным геном, вызывающим в гомозиготе наиболее тяжелую форму заболевания — большую талассемию, обычно смертельную для детей. В гетерозиготе проявляется менее тяжелая форма — малая талассемия.

Женщина-дальтоник с малой талассемией вышла замуж за человека с нормальным зрением и также с малой талассемией. Определите генотипы этих двух людей. Укажите возможные фенотипы и генотипы детей от такого брака. Какой части детей угрожает смерть от талассемии?

14. Способность различать вкус фенилтиокарбамида (ФТК) доминирует над неспособностью различать вкус данного вещества. Признак не сцеплен с полом.

Женщина с нормальным зрением, различающая вкус ФТК, вышла замуж за дальтоника, неспособного различать вкус ФТК. У них было две дочери, не страдавшие дальтонизмом и различающие вкус ФТК, и четыре сына, ни один из которых не страдал дальтонизмом, причем два различали вкус ФТК, а два — не различали. Каковы генотипы родителей и детей? Определите вероятность гетерозиготности матери по гену дальтонизма.

15. Пигментный ретинит (прогрессирующее сужение поля зрения и усиливающаяся ночная слепота, нередко приводящая к полной слепоте) может наследоваться тремя путями: как аутосомный доминантный признак, как аутосомный рецессивный и как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой. Определите вероятность рождения больных детей в семье, где мать больна пигментным ретинитом и является гетерозиготной по всем трем парам генов, а отец здоров и нормален по всем трем признакам.

16. Отосклероз (поражение стремечка, приводящее к глухоте) наследуется как доминантный аутосомный признак с пенетрантностью

30%. Гипертрихоз (вырастание волос на краю ушной раковины) наследуется как признак, сцепленный с Y-хромосомой с полным проявлением к 17 годам. Определите вероятность проявления одновременно обеих аномалий у детей в семье, где жена нормальна и гомозиготна, а муж имеет обе аномалии, но мать его была нормальной гомозиготной женщиной.

17. Женщина с группой крови *A* и нормальной свертываемостью крови (здоровая) выходит замуж за здорового мужчину с группой крови *B*. От этого брака родилось три ребенка: Катя — здоровая, с группой крови *A*, Витя — здоровый с группой крови *0*, Глеб — гемофилик с группой крови *A*. Известно, что родители женщины были здоровые, мать имела группу крови *0*, а отец *AB*. У мужчины отец и мать здоровы, группы крови *A* и *B* соответственно. Объясните, от кого Глеб унаследовал гемофилию. Определите генотипы всех членов семьи.

18. Черепаховая (двухцветная черная с рыжими пятнами) кошка скрестилась с белым голубоглазым котом. В помете было 6 котят: 1 кошка белая голубоглазая, 1 кошка черепаховая (двухцветная), 1 кошка рыжая, 1 котик белый голубоглазый, 1 котик рыжий и 1 котик черный. Возвратно скрестили отца с рыжей дочерью и получили трех белых голубоглазых котят, одного рыжего самца и одну трехцветную (с черными, рыжими и белыми пятнами) кошечку. Возвратно скрестили мать с белым голубоглазым сыном и получили двух белых голубоглазых котят, самца и самку, двух черных, самца и самку, и одну двухцветную черепаховую кошечку. Объясните характер наследования окраски шерсти у кошек. Напишите генотипы родителей и потомков всех рассмотренных скрещиваний.

19. Пробанд — юноша, страдающий ночной слепотой. У него сестра и брат с нормальным зрением. Мать пробанда имеет пять братьев и одну сестру. У сестры матери нормальное зрение. Она состоит в браке с нормальным по зрению мужчиной и имеет сына с цветовой слепотой. Три брата матери страдают одновременно ночной и цветовой слепотой, один брат — только ночной слепотой и один брат только цветовой слепотой. Бабка и дед пробанда по линии матери имеют нормальное зрение. У бабки один брат с ночной слепотой и еще один брат и пять сестер с нормальным зрением. Все сестры бабки замужем за мужчинами с нормальным зрением. У двух сестер бабки по одному сыну, страдающему одновременно ночной и цветовой слепотой. У третьей сестры — два сына с цветовой слепотой и дочь с нормальным зрением, имеющая от брака с мужчиной с нормальным зрением сына

тоже с нормальным зрением. У четвертой сестры четыре сына с ночной слепотой и три сына с нормальным зрением. У пятой сестры один сын с ночной слепотой и две дочери с нормальным зрением. Обе дочери пятой сестры замужем за нормальными в отношении зрения мужчинами и имеют по два сына с нормальным зрением. Прабабушка (мать бабушки со стороны матери пробанда) и ее супруг с нормальным зрением. Сестра прабабушки, также с нормальным зрением, была замужем за нормальным в отношении зрения мужчиной и имела дочь с нормальным зрением, от брака которой с нормальным мужчиной есть внук с цветовой слепотой и внучка с нормальным зрением. Составьте родословную семьи и определите генотипы родителей прабабушки. Какова вероятность рождения детей с нормальным зрением в семье пробанда при условии, если он вступит в брак с женщиной, происходящей из семьи, благополучной по анализируемым заболеваниям?

20. Известно, что у некоторых организмов, например, у птиц, гетерогаметными (**ZW**) являются женские особи, а мужские – гомогаметные (**ZZ**). У кур полосатость окраски обусловлена сцепленным с **Z**-хромосомой доминантным геном **B**, а отсутствие полосатости – его рецессивным аллелем **b**. Наличие гребня на голове определяется доминантным аутосомным геном **C**, а его отсутствие – рецессивным аллелем **c**. Две полосатых, имеющих гребешки птицы были скрещены и дали двух цыплят – полосатого петушка с гребешком и неполосатую курочку, не имеющую гребешка. Определить генотипы родительских особей.

21. Способность различать вкус фенилтиомочевины (ФТМ) обусловлена доминантным аутосомным геном **T**. Люди, не различающие вкус данного вещества, имеют генотип **tt**. Дальтонизм – рецессивный признак, сцепленный с **X**-хромосомой. Женщина с нормальным зрением, различающая вкус ФТМ, вышла замуж за дальтоника, неспособного различать вкус фенилтиомочевины. У них родилась дочь, страдающая дальтонизмом и различающая вкус ФТМ, и четыре сына, ни один из которых не страдал дальтонизмом. Двое из них различали вкус ФТМ, а двое – не различали. Каковы генотипы родителей и детей?

СЦЕПЛЕННЫЕ ГЕНЫ И КРОССИНГОВЕР

Число признаков организма многократно превышает число хромосом. Следовательно, в одной хромосоме располагается множество генов. Наследование признаков, гены которых находятся в одной паре гомологичных хромосом, называется **сцепленным наследованием (закон Моргана)**.

Гены, расположенные в одной хромосоме, образуют **группу сцепления**. Число групп сцепления равно гаплоидному числу хромосом. При решении этого типа задач необходимо уметь определять типы гамет понимая механизмы кроссинговера и учитывать тот факт, что при **сцепленном наследовании** доминантные и рецессивные гены могут находиться в одной из гомологичных хромосом (транс-положение) или в разных гомологичных хромосомах (цис-положение).

Перед решением задач на **сцепленное наследование** целесообразно сравнить результаты анализирующего скрещивания при **независимом и сцепленном наследовании**:

Независимое наследование

A – желтая окраска, **a** – зеленая окраска,
B – гладкие семена, **b** – морщинистые семена.
P ♀ AaBb × ♂ aabb
желт., зелен.,
глад. морщ.

G AB, Ab, aB, ab ab

F ₁	AaBb	Aabb	aaBb	aabb
	Желт.	Желт.	Зелен.	Зелен.
	глад.	морщ.	глад.	морщ.
	25%	25%	25%	25%

Сцепленное наследование (кроссинговер отсутствует)

A – серое тело, **a** – черное тело,
B – нормальные крылья, **b** – короткие крылья.

P	♀ AaBb	×	♂ aabb
G	AB, ab		ab
F ₁	AaBb	aabb	
	серые, норм. 50%	черные, корот. 50%	

При неполном сцеплении гомологичные хромосомы могут обмениваться аллельными генами. Причиной этого является кроссинговер, который, в свою очередь, является результатом того, что при мейозе гомологичные хромосомы конъюгируют и могут обмениваться участками.

В результате этого при скрещивании дигетерозигот с генотипом $\frac{AB}{ab}$ с гомозиготами по рецессиву, имеющими генотип $\frac{ab}{ab}$, в потомстве, наряду с обычными, появляется некоторое количество особей, образовавшихся в результате слияния кроссоверных гамет (рекомбинантов), имеющих генотип $\frac{Ab}{ab}$ или $\frac{aB}{ab}$.

При составлении схем кроссинговера следует помнить, что основное количество гамет будут составлять некроссоверные, а кроссоверные гаметы будут встречаться в небольших количествах.

Пример.

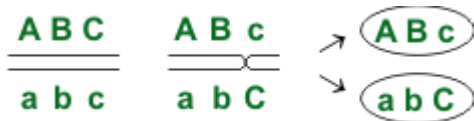
Написать возможные варианты кроссинговера между генами в группе сцепления $\frac{ABC}{abc}$.

Решение

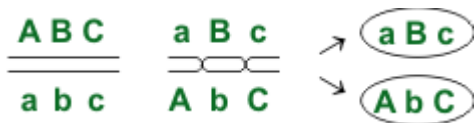
1) Одиночный кроссинговер между генами A и B:



2) Одиночный кроссинговер между генами B и C:



3) Двойной кроссинговер между генами A и C:



Пример.

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.

Решение.

У организма данного генотипа наблюдается неполное сцепление генов. Некроссоверные гаметы — AC и ac, кроссоверные — Ac и aC. Количество каждой из кроссоверных гамет будет $5,8 : 2 = 2,9\%$, а каждой из некроссоверных — $(100 - 5,8) : 2 = 47,1\%$.

Пример.

У томатов высокий рост стебля доминирует над карликовым, а шаровидная форма плода над грушевидной, гены высоты стебля и формы плода сцеплены и находятся друг от друга на расстоянии 20 морганид. Скрещено гетерозиготное по обоим признакам растение с карликовым, имеющим грушевидные плоды. Какое потомство следует ожидать от этого скрещивания?

Решение.

Признак	Ген	Генотип
Высокий рост стебля	A	AA, Aa
Карликовость	a	aa

Шаровидная форма плода	B	BB, Bb
Грушевидная форма плода	b	bb

Из условий задачи ясно, что один родитель $AB||ab$, второй $ab||ab$. Имея в виду, что гены роста и формы плодов сцеплены, решаем, что первый родитель должен образовывать два типа гамет в равных количествах: AB и ab , второй – только ab . Однако в условии задачи сказано, что расстояние между генами роста и формы плода равно 20 морганидам. Это означает, что образуется 20% кроссоверных гамет: 10% Ab и 10% aB . Остальные 80% гамет некриссоверные: 40% AB и 40% ab . При слиянии этих гамет с гаметами второго родителя (ab) образуется потомство: 40% $AaBb$, 40% $aabb$, 10% $Aabb$ и 10% $aaBb$, т.е. 40% высокого роста с круглыми плодами, 40% карликовых с грушевидными плодами, 10% высокого роста с грушевидными плодами и 10% карликовых с круглыми плодами. При решении задачи мы приняли, что у одного (гетерозиготного) родителя гены A и B находились в одной хромосоме, гены a и b – в другой. Но у гетерозиготного родителя могло бы быть и иначе. Кроссинговер мог произойти где-то в предыдущих поколениях. Тогда гены A и b были бы в одной хромосоме, а гены a и B – в другой. Генотип родителя можно записать так: $Ab||aB$. В этом случае количественные соотношения гамет были бы другими: 40% Ab , 40% aB , 10% AB и 10% ab . При скрещивании с $aabb$ потомство было бы иное: 40% $Aabb$, 40% $aaBb$, 10% $AaBb$ и 10% $aabb$.

1. Написать возможные типы гамет, образующиеся у организма с

AB

генотипом **ab** при наличии кроссинговера.

2. Написать возможные варианты гамет, образующиеся у организма с

AB

CD

генотипом **ab** **cd** при наличии кроссинговера.

3. Гомозиготная самка дрозофилы с желтыми волосками (*straw* — *stw*), узкими крыльями (*Jammed* — *J*) и коричневыми глазами (*sepia* — *se*) скрещена с самцом дикого фенотипа. Какими будут гибриды

первого поколения? Какое потомство получится от скрещивания самца F_1 с рецессивной гомозиготной самкой? Гены stw и J находятся во второй хромосоме, а ген se — в третьей.

4. Аня и Ася — однойцовые сестры-близнецы. Вася и Ваня — однойцовые братья-близнецы. Вася женился на Асе, а Ваня на Ане. В обеих семьях родились сыновья. Будут ли эти мальчики похожими друг на друга как однойцовые близнецы? Почему?

5. У крыс темная окраска шерсти доминирует над светлой, розовый цвет глаз — над красным. Оба признака сцеплены. В лаборатории от скрещивания розовоглазых темношерстных крыс с красноглазыми светлошерстными получено потомство: светлых красноглазых — 24, темных розовоглазых — 26, светлых розовоглазых — 24, темных красноглазых — 25. Определите расстояние между генами на генетической карте.

6. У кроликов ген рецессивной белой пятнистости сцеплен с геном, обуславливающим другой рецессивный признак - шерсть ангорского типа. Сила сцепления между этими генами - 14 % кроссинговера. Гомозиготного короткошерстного пятнистого кролика скрещивают с ангорским непятнистым. Определите генотипы исходных кроликов и в какой фазе — «притяжения» или «отталкивания» — находятся в данном скрещивании гены. Какое расщепление будет наблюдаться в анализирующем скрещивании особей из F_1 ?

7. При скрещивании самок дрозофил, дигетерозиготных по генам А и В, с рецессивными по обоим генам самцами получены следующие расщепления по фенотипу:

1. АВ : Аb : аВ : ab = 25% : 25% : 25% : 25%.

2. АВ : Аb : аВ : ab = 47% : 3% : 3% : 47%.

В каком случае наблюдается свободное комбинирование, а в каком — сцепленное наследование? Определить расстояние между генами А и В для случая сцепленного наследования. Обозначить расположение генов в хромосомах для всех случаев.

8. Гены А, В и С находятся в одной группе сцепления. Между генами А и В кроссинговер происходит с частотой 7,4%, между генами В и С — с частотой 2,9%. Определить взаиморасположение генов А, В, С в хромосоме, если расстояние между генами А и С составляет 10,3 морганиды.

9. При скрещивании особи, дигетерозиготной по генам А и В, с

рецессивной гомозиготной особью получено расщепление по фенотипу на $A_B_;$ $A_{bb};$ $aaB_;$ $aabb$ в процентном соотношении 25 : 25 : 25 : 25. Определить, наследуются ли эти гены сцеплено или здесь наблюдается их свободная комбинация. Поясните свой ответ.

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

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

12. У мух дрозофил признаки окраски тела и формы крыльев сцеплены. Темная окраска тела рецессивна по отношению к серой, короткие крылья – к длинным. В лаборатории скрещивались серые длиннокрылые самки, гетерозиготные по обоим признакам, с самцами, имеющими черное тело и короткие крылья. В потомстве оказалось серых длиннокрылых особей 1394, черных короткокрылых – 1418, черных длиннокрылых – 287, серых короткокрылых – 288. Определите расстояние между генами.

13. Самку дрозофилы, гетерозиготную по рецессивным генам темной окраски тела и миниатюрных крыльев, скрестили с самцом, который имел темное тело и миниатюрные крылья. От этого скрещивания было получено:

249 мух с темным телом и нормальными крыльями,

20 мух с нормальной окраской тела и нормальными крыльями,

15 мух с темным телом и миниатюрными крыльями,

216 мух с нормальной окраской тела и миниатюрными крыльями.

Считаете ли вы, исходя из этих данных, две эти пары генов сцепленными или несцепленными? Если вы решили, что они сцеплены, то укажите, какое из двух приведенных ниже утверждений правильно описывает их сцепление у самки:

а) гены темной окраски тела и миниатюрных крыльев лежат в одной хромосоме, а гены нормальной окраски тела и нормальных крыльев – в ее

гомологе. Во время мейоза произошли кроссинговеры.

б) гены темной окраски тела и нормальных крыльев лежат в одной хромосоме, а гены нормальной окраски тела и миниатюрных крыльев – в ее гомологе. Во время мейоза произошли кроссинговеры.

14. У кроликов ген рецессивной белой пятнистости голландского типа (d) сцеплен с рецессивным геном, вызывающим длинный волосяной ангорский покров ($/$). Величина кроссинговера между ними равна 14 %. Допустим, что гомозиготного по короткошерстности пятнистого кролика скрещивают с ангорским дикого типа (непятнистым). Обозначьте генотипы родителей и F_1 . Какие фенотипы должны быть получены, если провести возвратное скрещивание кроликов F_1 с ангорскими пятнистыми кроликами? Каково их соотношение среди 86 потомков от такого скрещивания?

15. Джон Спок, второй помощник командира трансгалактического звездолета «*Enterprise*», был сыном двух планет: Вулкании и Земли. Его отец был вулканиецем и имел заостренные уши (P), сердое с правой стороны (R) и недоразвитые надпочечники (A) — все признаки доминантны по отношению к земным аллелям. Мать его была землянкой. Гены A и R расположены на одной хромосоме на расстоянии 20 единиц карты. Ген P лежит в другой группе сцепления. Если Джон женится на дочери Земли, то какова вероятность того, что:

- 1) Ребенок будет иметь тот же набор признаков, что и его отец?
- 2) Первый ребенок будет иметь недоразвитые надпочечники, а остальные два признака — земные?
- 3) Что у них родится два ребенка: один по всем признакам землянин, а другой вулканиец?

Учтите, что пенетрантность гена P - 90 %, R -85 %, а гена A -100 %.

Литература

1. Инге-Вечтомов С. Г. Генетика с основами селекции.– М., 1989.
2. Медицинская генетика. (п/р Н.П. Бочкова), М., Мастерство, 2001.
3. Заяц Р.Г., Бутвиловский В.Э., Рачковская И.В., Давыдов В.В. Общая и медицинская генетика. Лекции и задачи. Ростов-на-Дону: Феникс, 2002г.
4. Барабанщиков Б.И., Сапаев Е.А. Сборник задач по генетике. Изд-во Каз. университета.
5. Глазер В.М., Ким И.А., Орлова Н.Н., Удина И.Г., Алтухов Ю.П. Задачи по современной генетике. КДУ, 2005г.
6. Песецкая Л.Н., Гончаренко Г.Г., Острейко Н.Н. Сборник задач по генетике: Учебно-методическое пособие. – Гомель, 2002. - 114 с.
7. Сборник задач по генетике с решениями (http://licey.net/free/6-biologiya/20-sbornik_zadach_po_genetike_s_resheniyami/)