

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Калмыцкий государственный университет»

Н.Ц. Лиджиева, С.С. Джалсанова

ЗАДАЧНИК ПО ГЕНЕТИКЕ

Учебное пособие

*Допущено Учебно-методическим объединением
по направлению «Педагогическое образование»
Министерства образования и науки РФ
в качестве учебного пособия для высших учебных заведений,
ведущих подготовку по направлению 050100 «Педагогическое образование».*

Элиста 2013

ББК Е04(2Рос.Калм)я73+Е04я73
УДК 575(075.8)
Л 557

Лиджиева, Н.Ц.

Задачник по генетике [Текст]: учеб. пособие / Н.Ц. Лиджиева, С.С. Джалсанова. – Элиста: Изд-во Калм. ун-та, 2013. – 120 с.

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
ФГБОУ ВПО «Калмыцкий государственный университет»*

Учебное пособие содержит методику решения и различные типы задач по разделам курса «Генетика и селекция», в которых традиционно решаются генетические задачи.

Пособие предназначено для студентов и преподавателей биологических и сельскохозяйственных специальностей высших учебных заведений, изучающих основы генетики

Рецензенты:

д-р вет. наук, проф. И.М. Мануйлов;
канд. биол. наук, доц. Б.А. Никитина

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
1. Моногенное аутосомное наследование	5
1.1. Взаимодействие аллельных генов	5
1.2. Плейотропное действие гена	12
1.3. Пенетрантность гена	14
2. Аутосомное независимое наследование	15
2.1. Дигибридное скрещивание	15
2.2. Полигибридное скрещивание	22
2.3. Плейотропное действие и пенетрантность гена	26
2.4. Взаимодействие неаллельных генов	27
3. Пол и наследование признаков, сцепленных с полом	33
3.1. Наследование пола	33
3.2. Наследование признаков, сцепленных с полом	34
3.3. Наследование признаков, контролируемых аутосомными и сцепленными с полом генами	38
3.4. Наследование зависимых от пола и ограниченных полом признаков	41
4. Сцепление и кроссинговер	43
4.1. Наследование при сцеплении и кроссинговере	43
4.2. Локализация гена	48
5. Генетика популяций	53
6. Анализ родословных	56
7. Методика решения генетических задач	62
7.1. Примеры решения задач по моногибридному скрещиванию	69
7.2. Примеры решения задач по дигибридному и полигибридному скрещиванию	76
7.3. Примеры решения задач по взаимодействию неаллельных генов	82
7.4. Примеры решения задач по наследованию признаков, сцепленных с полом	87
7.5. Примеры решения задач по сцеплению и кроссинговеру	96
7.6. Примеры решения задач по генетике популяций	111
7.7. Методика составления родословных	115
7.8. Примеры решения задач по составлению и анализу родословных	116
Список литературы	118
Приложение	119

ПРЕДИСЛОВИЕ

Успешное освоение студентами основ генетики невозможно без решения генетических задач. Они способствуют углублению знаний о закономерностях наследственности и изменчивости организмов, служат хорошей проверкой усвоения материала, давая студентам также возможность самоконтроля. Материалы, использованные для составления задач, демонстрируют прикладное значение генетики в селекционной работе, и их анализ способствует развитию логики генетического мышления.

В сборник включены задачи по генетическому анализу закономерностей наследования при внутривидовой гибридизации. Соответственно в сборнике содержатся задачи по моногибридному, полигибридному, в том числе дигибридному, скрещиваниям, взаимодействию неаллельных генов, по наследованию признаков, сцепленных с полом, наследованию при сцеплении и кроссинговере, наследованию в популяциях.

В отдельный раздел сборника выделена методика решения генетических задач, в котором приведены принятые в генетике требования к записи генов, фенотипов, генотипов, техника выписывания гамет при разных типах наследования, символика, использующаяся при записи схем скрещивания и сами схемы скрещивания. Задачи по рассматриваемым в сборнике темам, исключая генетику популяций, разделены на четыре типа, которые решаются по сходному алгоритму. В разделе "Методика решения задач" подробно рассматриваются особенности выполнения этапов решения каждого из четырех этих типов задач.

Последующие разделы начинаются с приведения решений типовых задач по теме. Авторы надеются, что предлагаемые алгоритмы решения активизируют обсуждение и выработку специалистами-генетиками единых подходов к оформлению и решению генетических задач. Задачи сгруппированы в подразделы, которые освещают определенную генетическую закономерность или явление. В каждом подразделе набор задач располагается последовательно от первого до четвертого типа.

Предлагаемое пособие имеет целью в известной степени восполнить пробел в учебной литературе. Большинство задач были составлены на основе литературных данных, либо позаимствованы из других источников, список которых приведен в конце пособия [1, 2, 3, 5, 6, 13, 15]. Пособие предназначено студентам высших учебных заведений, изучающих основы генетики.

1. МОНОГЕННОЕ АУТОСОМНОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ

1.1. Взаимодействие аллельных генов

1. У томатов нормальный рост растения доминирует над карликовым. Какого роста будут растения первого поколения от скрещивания гомозиготных высоких растений с карликовыми? Какого потомства следует ожидать в возвратных скрещиваниях?

2. У овса ранняя спелость доминирует над позднеспелостью. На опытном участке от скрещивания растений позднеспелого овса с гетерозиготным раннеспелым получено 69132 потомка. Определите, сколько из них позднеспелых?

3. У мышей серая окраска шерсти доминирует над белой. От скрещивания двух гетерозиготных мышей в нескольких пометах получено 64 потомка. Сколько среди них серых, сколько белых?

4. Птицевод подозревает, что некоторые из его виандоттов, имеющие розовидный гребень, гетерозиготны по гену, определяющему розовидную или простую форму гребня. Каким образом можно определить, которые из них действительно являются гетерозиготными?

5. Галактоземия наследуется как аутосомный рецессивный признак. Успехи медицины позволяют предупредить развитие болезни и избежать тяжелых последствий нарушения обмена. Какова вероятность рождения больных детей в семье, где один из супругов гомозиготен по гену галактоземии, но развитие болезни у него предотвращено диетой, а второй гетерозиготен по гену галактоземии?

6. Синдактилия наследуется как доминантный аутосомный признак. Какова вероятность рождения детей со сросшимися пальцами в семье, где один из родителей гетерозиготен в отношении данного гена, а другой имеет нормальное строение пальцев?

7. Отсутствие малых коренных зубов наследуется как доминантный аутосомный признак. Какова вероятность рождения детей с аномалией в семье, где оба родителя гетерозиготны по анализируемому признаку?

8. У львиного зева красная окраска цветков неполно доминирует над кремовой, определяя у гетерозиготных растений бледно-красную окраску. С какой вероятностью появятся растения с розовыми цветками в потомстве следующих скрещиваний: белая \times бледно-красная, красная \times бледно-красная, бледно-красная \times бледно-красная? Каким образом можно достигнуть того, чтобы полученные от скрещивания растения имели только бледно-красные цветки?

9. У пшеницы плотный колос неполно доминирует над рыхлым, определяя у гетерозиготных растений колос средней плотности. При скрещивании растения пшеницы, имеющего плотный колос с растением с рыхлым колосом, все растения имели колосья средней плотности. Какими будут потомки возвратных скрещиваний этих гибридов?

10. У крупного рогатого скота красная масть (PP) неполно доминирует над белой (pp). Имеется чалый бык (Pp) и коровы всех трех мастей. Какова вероятность появления чалого теленка в каждом из трех возможных скрещиваний?

11. У овец длинноухость неполно доминирует над безухостью, определяя у гетерозигот средние размеры уха. Какого потомства следует ожидать от скрещивания безухого барана с длинноухой яркой? От скрещивания особей со средней длиной уха?

12. Доминантный ген D определяет у человека развитие окостеневшего и загнутого мизинца на руке, что представляет известные неудобства. Ген в гетерозиготе вызывает развитие такого мизинца только на одной руке. Оба родителя имеют изогнутый мизинец только на одной руке. Могут ли их дети родиться с изогнутым мизинцем на обеих руках или с нормальными пальцами?

13. У человека редкая рецессивная аллель вызывает наследственную анофтальмию - отсутствие глазных яблок. Доминантная аллель данного гена обуславливает нормальное развитие глаз. У гетерозигот глазные яблоки уменьшены. Мужчина с уменьшенными глазными яблоками, женился на женщине с нормальным развитием глаз. Могут ли у них родиться дети с нормальным развитием глаз?

14. У человека группы крови системы ABO определяются тремя аллелями аутосомного гена I : I^A , I^B , I^O или (i^O). Первые две аллели полностью доминируют над I^O . Различные сочетания этих аллелей в генотипе могут приводить к появлению следующих четырех групп крови: I группа (O) – $i^O i^O$, II группа (A) – $I^A I^A$, $I^A I^O$, III группа (B) – $I^B I^B$, $I^B I^O$, IV группа (AB) – $I^A I^B$.

1) В брак вступили гетерозиготные женщина и мужчина, имеющие вторую и третью группы крови. Какие группы крови могут иметь их дети?

2) Дедушка со стороны матери имеет группу крови AB , а остальные бабушки и дедушки имеют группу крови O . Какова вероятность для данного мальчика иметь группу крови A , B , AB и O ?

3) У мальчика 1 группа крови, а у его сестры 4. Что можно сказать о группах крови и генотипах их родителей? Какие ещё группы крови могут появиться у детей от этого брака?

4) В семье женщины с группой крови AB трое детей с группами крови B , AB , O (см. задачу № 14). Определите генотипы родителей и детей. Нет ли, по вашему мнению, каких-либо сомнительных фактов в условии задачи?

5) В родильном доме перепутали двух мальчиков. Родители одно го из них имеют 1 и 2 группы крови, родители другого - 2 и 4 (см. задачу № 14). Исследование показало, что дети имеют 1 и 2 группы крови. Определите, кто чей сын.

6) В родильном доме в одну и ту же ночь родилось 4 младенца, обладавших группами крови O , A , B , AB (см. задачу № 14). Группы крови четырех родительских пар были: 1) O и O ; 2) AB и O ; 3) A и B ; 4) B и B . Четырех

младенцев нужно с полной достоверностью распределить по родительским парам. Каковы генотипы всех родителей и детей?

15. У человека группы крови по системе MN определяются двумя аллелями аутосомного гена L . Аллель L^M обуславливает наличие антигена M , аллель L^N - антигена N . в крови гетерозигот присутствуют оба антигена.

1) Женщина с группой крови MN и мужчина с группой крови N вступили в брак. Что можно сказать о группе крови их детей?

2) Если родители имеют группы крови M и N , то какие группы крови могут иметь их дети. Дайте аргументированный ответ.

3) В семье один ребенок имеет группу крови M , другой N , третий – MN . Каковы генотипы и группы крови у их родителей?

16. У ржи фиолетовая окраска проростков доминирует над зеленой. При скрещивании растений, имевших фиолетовые всходы, среди потомков 25% оказались с зелеными всходами. Каковы генотипы исходных растений?

17. У кукурузы желтая окраска зерновок доминирует над белой. Напишите генотипы всех растений в следующих скрещиваниях:

1) $P: \text{♀ желтые зерновки} \times \text{♂ белые зерновки} \rightarrow F_1: \text{все потомки с желтыми зерновками};$

2) $P: \text{♀ желтые зерновки} \times \text{♂ белые зерновки} \rightarrow F_1: \frac{1}{2} \text{ с желтыми зерновками}; \frac{1}{2} \text{ с белыми}.$

18. У томатов гибриды первого поколения с гладкими плодами, а при скрещивании их с растениями, имеющими опушенные плоды, в потомстве появляются растения как с гладкими, так и с опушенными плодами. Определите, в каком соотношении?

19. У дрозофилы серая окраска тела доминирует над черной. При скрещивании серых дрозофил между собой 25 % оказались с темной окраской тела. Последних скрестили с родительскими мухами и получили потомство, в котором половина с черным телом. Определите генотипы родительских форм.

20. У свиней белая окраска щетины доминирует над черной. Белая самка, скрещенная с черным хряком, принесла 9 белых и 3 черных поросенка. Какое предположение можно сделать о генотипах скрещенных свиней?

21. У кошек имеется серия множественных аллелей по аутосомному гену C , определяющему окраску шерсти: C - дикий тип, c^s - сиамские кошки (кремовые с черными ушками и лапками), c - белые кошки с красными глазами (альбиносы). Каждая из аллелей полно доминирует над следующими ($C > c^s > c$). От скрещивания серой кошки с сиамским котом родились два котенка: сиамский и альбинос. Какие еще фенотипы могли бы появиться в этом скрещивании? Какое расщепление следует ожидать в потомстве при скрещивании данного сиамского кота с белой красноглазой кошкой?

22. «Куриная» слепота в ряде случаев наследственно обусловлена и определяется доминантным геном. Женщина, страдающая «куриной» слепотой, вышла замуж за здорового мужчину. Все дети (их 6) унаследовали за-

болевание. Родная сестра женщины, также страдающая «куриной» слепотой, вышла замуж за здорового мужчину. От этого брака родилось трое здоровых детей и один с «куриной» слепотой. Каков генотип сестер и их родителей, если известно, что оба они страдают «куриной» слепотой?

23. Кровь большинства людей содержит антиген Rh^+ , который наследуется как аутосомный доминантный признак (резус-положительность). В крови других людей нет антигена Rh^- (резус-отрицательность). Резус - отрицательность наследуется как рецессивный признак. Какие группы крови могут появиться у детей, родившихся от двух резус-положительных родителей? В случае, если один из родителей резус-отрицательный, а другой - резус-положительный?

24. Отсутствие малых коренных зубов определяется доминантным аутосомным геном. От брака родителей, которые имели данную аномалию, родился ребенок, имеющий малые коренные зубы. Какова вероятность рождения второго ребенка без аномалии?

25. У земляники красная окраска плодов неполно доминирует над белой. У гетерозигот плоды розовые. В скрещиваниях получено расщепление по фенотипу 1:1 и 1:2:1. Определите все возможные генотипы и фенотипы исходных растений.

26. От скрещивания безостого сорта ячменя с остистым сортом получили гибридов первого поколения, которые оказались безостыми. Какие фенотипы и генотипы можно ожидать в потомстве возвратных скрещиваний при предположении о моногенном контроле признака?

27. Флоксы с блюдцеобразными цветками образуют только блюдцеобразные цветки, с воронкообразными цветками дают только воронкообразные цветки. При скрещивании этих сортов между собой получают растения с блюдцеобразными цветками. Какое предположение о наследовании формы цветков у флоксов можно сделать? Какие скрещивания необходимо поставить для проверки этого предположения? Какие результаты ожидаете при этом получить?

28. Альбиносы у растений летальны, однако у многих видов они довольно часто проявляются (в виде проростков) в потомстве нормальных растений. Как объяснить этот результат? Если альбиносы гибнут, то почему они полностью не исчезают?

29. Комолый бык скрещен с тремя коровами. От скрещивания с рогатой коровой № 1 получен рогатый теленок; с рогатой коровой №2 -комолый теленок; с комолой коровой № 3 -рогатый теленок. Каковы генотипы всех родительских особей? Какого еще потомства можно ожидать во всех трех скрещиваниях?

30. У кроликов известны следующие типы окраски: агути, шиншилла (серая), светлый шиншилла (светло-серая), гималайская и альбинос. Для определения наследования этих окрасок были поставлены скрещивания, результаты которых приведены ниже:

1) при скрещивании кроликов с окраской агути с кроликами любой из названных выше окрасок в первом поколении все потомки имели окраску агути, а во втором поколении от этих скрещиваний наблюдалось расщепление: $\frac{3}{4}$ агути: $\frac{1}{4}$ шиншилла (или гималайский, или альбинос, соответственно);

2) при скрещивании кроликов шиншилла с гималайским или альбиносом в первом поколении все крольчата имеют светло-серую окраску, а во втором поколении расщепление: $\frac{1}{4}$ шиншилла : $\frac{1}{2}$ светло-серых : $\frac{1}{4}$ гималайский или альбинос, соответственно. Как можно это объяснить? Каковы генотипы исходных кроликов в скрещиваниях? Какой результат вы ожидаете получить от скрещивания гималайского кролика с альбиносом?

31. Женщина с карими глазами выходит замуж за кареглазого мужчину, оба родителя которого также кареглазы. От этого брака родился один голубоглазый ребенок. Определите генотипы всех членов семьи, исходя из предположения о моногенном контроле окраски глаз у человека.

32. У Володи и его родного брата Коли глаза серые, а у их сестры Наташи - голубые. Мама этих детей голубоглазая, ее же родители имели серые глаза. Какой цвет глаз у папы Володи, Коли, Наташи? Каковы генотипы всех членов семьи? Дайте аргументированный ответ, исходя из предположения о моногенном контроле признака.

33. Праворукий мужчина женится на женщине-левше, у них родилось 9 праворуких детей. Каковы наиболее вероятные генотипы всех членов семьи, если признак контролируется одним геном?

34. При скрещивании между собой растения арбуза с круглыми плодами всегда дают потомство с круглыми плодами, а растения с длинными плодами – длинные плоды. От скрещивания обоих сортов получаются гибриды с круглыми плодами. От скрещивания двух растений арбуза в равном соотношении встречаются потомки с круглыми и длинными плодами. Каковы генотипы исходных растений?

35. У одного японского сорта бобов при самоопылении растения, дающего светлопятнистые семена, получается потомство, около $\frac{1}{4}$ которого имеет темнопятнистые семена, около $\frac{1}{2}$ светлопятнистые, около $\frac{1}{4}$ - семена, совершенно лишенные пятен. Какое потомство получится от скрещивания растения с тем непятнистыми семенами с растением, имеющим семена, лишенные пятен.

36. При скрещивании желтолистного растения львиного зева с зеленолиственным гибридные растения имеют золотистые листья. Во втором поколении 25% растений с зелеными, 25% с желтыми и 50% с золотистыми листьями. При скрещивании потомков первого поколения с зеленолиственными растениями, получены растения с золотистыми и зелеными листьями в равном соотношении. Как наследуется признак? Каковы генотипы исходных растений?

37. Желтая морская свинка при скрещивании с белой всегда дает кремо-

вых потомков. Скрещивание кремовых между собой дает расщепление 1 желтая: 2 кремовые: 1 белая. Какой тип взаимодействия генов имеет место в данном случае? Какого потомства следует ожидать при скрещивании кремовой морской свинки с белой?

38. От скрещивания гнедых лошадей с альбиносами рождаются жеребята с золотисто-желтой окраской туловища при почти белой гриве и хвосте (так называемая окраска «паломино»). Попытка развести в чистоте лошадей такой окраски не увенчалась успехом. При их скрещивании возникало расщепление в соотношении 1 гнедой : 2 паломино : 1 альбинос. Как это можно объяснить? Как наследуется окраска паломино у лошадей?

39. При разведении в себе черно-белых кур в потомстве $\frac{1}{2}$ цыплят было черно-белых, $\frac{1}{4}$ – черных и $\frac{1}{4}$ чисто белых. Как это можно объяснить? Как наследуется черно-белая окраска оперения?

40. Среди большого числа нормальных растений кукурузы было обнаружено одно карликовое растение, которое скрестили с нормальным растением. В первом поколении от этого скрещивания все растения оказались нормальными, а во втором поколении - 67 нормальных и 19 карликов. Как наследуется карликовость у кукурузы? Как объяснить появление исходного карликового растения? Какой результат вы ожидаете получить от самоопыления карликовых растений?

41. От скрещивания растений ржи с красными ушками на листьях с растениями, имеющими белые ушки, в первом поколении все растения имели красные ушки. Во втором поколении было получено 138 растений с красными ушками и 52 с белыми. Как наследуется признак? Определите генотипы исходных растений. Какая часть растений второго поколения должна иметь гомозиготные генотипы по данному гену?

42. У томатов один сорт имеет гладкие плоды, другой – опушенные. При скрещивании растений этих двух сортов гибриды первого поколения имели гладкие плоды, второго – 174 растения с опушенными плодами и 520 с гладкими. Как наследуется опушенность? Что будет в возвратных скрещиваниях?

43. Найдена форма огурцов с неоткрывающимися цветками, но их можно открыть для искусственного опыления. Дайте символы генов, приведите генотипы родителей в следующих скрещиваниях:

1) закрытые цветки \times открытые цветки $\rightarrow F_1$ все цветки открытые; 2) F_1 \times F_1 \rightarrow 145 растений с открытыми, 59 с закрытыми;

3) закрытые цветки \times F_1 \rightarrow 81 растение с открытыми, 77 – с закрытыми цветками.

44. При скрещивании серых кур с белыми все потомство оказалось серым. В результате второго скрещивания этого серого потомства опять с белыми получено 172 особи, из которых 85 белых и 87 серых. Как наследуется признак? Каковы генотипы исходных форм и их потомков в обоих скрещиваниях?

45. При скрещивании лохмоногого петуха с двумя лохмоногими курицами получили: от первой курицы - 79 лохмоногих и 23 голоногих цыпленка, от второй - 48 лохмоногих цыплят. Каковы генотипы кур и петуха?

46. Две черные самки мыши скрещены с коричневым самцом. Первая самка принесла в нескольких пометах 9 черных и 7 коричневых потомков: вторая же - в общей сложности 17 черных. Как наследуется окраска у мышей? Каковы генотипы родителей?

47. Мистер Смит приобрел у мистера Брауна быка для своего стада черно-пестрых голштин-фризов и получил среди 26 телят 6 красно-пестрых. До этого красно-пестрых животных в его стаде не было. Когда он потребовал возвращения денег, уплаченных за быка, мистер Браун признал частично свою ответственность, но заявил, что виновником является не один лишь бык. Как вы объясните появление красно-пестрых телят в этом случае? Не можете ли вы посоветовать, как использовать в стаде полученных красных телят, половина которых женского пола?

48. Устойчивые к действию ДДТ самцы тараканов скрещивались с самками, чувствительными к данному инсектициду. В первом поколении все особи оказались устойчивыми к ДДТ, а во втором поколении произошло расщепление на 5768 устойчивых и 1919 чувствительных к ДДТ. При скрещивании самок, чувствительных к ДДТ, с гибридными самцами из первого поколения вывелось 3583 устойчивых и 3615 чувствительных тараканов. Какой признак доминирует? Какая часть устойчивых особей из второго поколения всегда будет выщеплять чувствительных потомков?

49. При скрещивании красных (полных альбиносов) и серых разновидностей гольцов в первом поколении все особи имели серую окраску, а во втором – 214 серую и 81 красную. Объясните расщепление. Определите генотипы исходных рыб и гибридов первого поколения. Сколько полных альбиносов должно появиться в третьем поколении среди 350 рыб?

50. От скрещивания растения ржи с яровым типом развития с растениями, имеющими озимый тип развития, в первом поколении все растения были яровыми, а во втором поколении было получено: 387 яровых растений и 134 озимых. Объясните расщепление. Определите генотипы исходных растений.

51. От скрещивания растений редиса с овальными корнеплодами получено 68 растений с круглыми, 130 с овальными и 71 с длинными корнеплодами. При скрещивании растений с длинными и овальными корнеплодами также произошло расщепление на 118 растений с овальными и 122 с длинными корнеплодами. Наконец, от скрещивания растений с круглыми и овальными корнеплодами получено 59 с круглыми и 62 с овальными корнеплодами потомков. Как наследуется форма корнеплода у редиса? Определите генотипы исходных растений во всех скрещиваниях. Какими будут потомки, если скрестить растения с длинными и круглыми корнеплодами?

52. При скрещивании курчавоперых кур с петухами, имеющими нормальное оперение, было получено 84 курчавоперых и 78 нормальных по

оперению цыплят. При дальнейшем скрещивании курчавоперых кур из первого поколения друг с другом было получено следующее потомство: 172 курчавоперых, 80 с нормальным оперением и 72 сильно курчавоперых. Как наследуется курчавоперость у кур? Какого потомства следует ожидать от скрещивания сильно курчавоперых особей с нормальными?

1.2. Плейотропное действие гена

53. У ржи признак зеленые проростки доминирует над альбинизмом. Какое по фенотипу потомство ожидается при скрещивании двух гетерозигот по данному гену?

54. Одна порода кур отличается укороченными ногами, такие куры не разрывают огородов. Признак этот аутосомный доминантный, контролирующий его ген вызывает одновременно также укорочение клюва. При этом у гомозиготных цыплят клюв так мал, что они не в состоянии пробить яичную скорлупу и гибнут, не вылупившись из яйца. В инкубаторе хозяйства, разводящего только коротконогих кур, получено 3000 цыплят. Сколько из них коротконогих? Дайте аргументированный ответ

55. У лисиц платиновая окраска меха обуславливается доминантным аутосомным геном. Нормальная серебристо-черная окраска меха наблюдается при наличии аллели g в гомозиготном состоянии. Аллель G^p обладает плейотропным действием и в гомозиготе легальна. Грузинская окраска меха наблюдается при наличии у лисиц так же летальной в гомозиготе аллели G^g . Компаунды $G^p G^g$ - жизнеспособны, но имеют очень маленькую плодовитость и промежуточную между грузинской и платиновой окраску меха. Жизнеспособность зигот составляет: gg - 1; $G^g g$ - 0,8; $G^p g$ - 0,8; $G^p G^g$ - 0,5.

1) Определите вероятностные фенотипы в потомстве от скрещивания двух платиновых особей.

2) Какого расщепления следует теоретически ожидать в потомстве от скрещивания платиновой самки и серебристо-черного самца?

3) Какая доля потомков окажется жизнеспособной при скрещивании грузинской самки и платинового самца?

56. У мексиканского дога ген, вызывающий отсутствие шерсти в гомозиготном состоянии ведет к гибели потомства. При скрещивании двух нормальных догов часть потомства погибла. При скрещивании того же самца с другой самкой гибели потомства не было. Однако при скрещивании между собой некоторых потомков этих двух скрещиваний опять наблюдалась гибель щенков. Определите генотипы скрещиваемых особей.

57. В 19 веке была популярной коротконогая порода крупного рогатого скота – декстер. Признак определяется доминантной аллелью гена, который в гомозиготе приводит к гибели. При внутрипородном разведении около $\frac{1}{4}$ оказались мертворожденными, а еще $\frac{1}{4}$ - длинноногими. Каковы генотипы коротконогих особей?

58. Одна линия лабораторных мышей отличается белыми пятнами на животе. Признак этот аутосомный доминантный, контролируемый его ген одновременно приводит к формированию раздвоенных позвонков и закрученных хвостов у эмбрионов, приводя в гомозиготе к летальности. Каким будет потомство от скрещивания пятнистых мышей между собой?

59. При скрещивании между собой черных мышей всегда получается черное потомство. При скрещивании между собой желтых мышей $1/3$ потомства оказывается черной, а $2/3$ – желтой. Как это можно объяснить? Как можно проверить правильность вашего предположения генетическими опытами?

60. При скрещивании зеркальных карпов, имеющих всего два ряда чешуи вдоль боковой линии, между собой, уже в первом поколении наблюдалось расщепление: $2/3$ потомков были с двумя рядами чешуи, а $1/3$ - с нормальной чешуей. Какое генетическое объяснение можно предположить для данного расщепления? Какое потомство получится от скрещивания зеркального линейного карпа с обыкновенной самкой?

61. В браке между здоровыми двоюродными братом и сестрой родилось пять детей. Трое из них страдали несхарненным мочеизнурением и погибли в возрасте 14 лет. Каким геном (доминантным или рецессивным) определяется это заболевание? Имеется ли опасность передачи его дальнейшему поколению при браке оставшихся живых здоровых детей со здоровыми лицами, не состоящими в родстве с ними; состоящими в родстве?

62. В семье родилось двое бесчерепных детей, которые умерли сразу после рождения, и один нормальный. В дальнейшем у него родился бесчерепной ребенок. Дать генетическое объяснение этому явлению.

63. Серая окраска ширази у ряда пород овец ценится значительно выше, чем черная. Однако попытки разведения овец с окраской шерсти ширази «в себе» не удавались. Расщепление по гену серой окраски овец по двум хозяйствам составило при рождении ягнят 2081 ширази на 1115 особи с черной окраской. В дальнейшем наблюдалась значительная гибель ягнят ширази, связанная с недоразвитием у них рубца. Это наносило значительный экономический ущерб хозяйствам. Предложите способ, как избежать ущерба, наносимого гибелью части ягнят ширази.

64. У кроликов исследована наследственная аномалия лейкоцитов. Эта аномалия обычно вызывает задержку типичной сегментации ядер некоторых клеток крови. Когда кролики, обнаружившие аномалию, были скрещены с нормальными чистопородными кроликами, в потомстве первого поколения 217 особей имели аномалию и 237 были нормальными. При скрещивании между собой кроликов, имеющих аномалию, в первом поколении обнаружилось расщепление: 223 кролика оказались нормальными, 439 - с аномалией и 239 - крайне ненормальных потомка, которые имели дефектные лейкоциты, сильные уродства скелетной мускулатуры и почти все умерли вскоре после рождения. Как наследуется аномалия крови у кроли-

ков? Как можно объяснить появление потомков с сильными аномалиями во втором скрещивании?

65. У серебристо-соболиных норок шерсть серебристая, подпушь светло-голубая. От скрещивания серебристо-соболиного самца с нормальными темными самками получили в потомстве 345 соболиных и 325 темных норок. Величина помета в среднем составила 5,11 щенка. При скрещивании серебристо-соболиных норок между собой было получено 19 особей родительского фенотипа и 10 темных норок при средней величине помета 3,65 щенка. Объясните результаты скрещиваний. Определите генотипы родителей и потомков.

1.3. Пенетрантность гена

66. У человека один аутосомный доминантный ген, обладающий плейотропным действием, контролирует развитие голубой склеры, хрупкость костей и глухоту. Пенетрантность этих признаков различна. Она составляет по голубой склере почти 100%, хрупкости костей -63%, глухоте – 60%. Гетерозиготный обладатель голубой склеры, нормальный в отношении других признаков синдрома, вступает в брак с нормальной женщиной, происходящей из благополучной по этому синдрому семьи. Определите вероятность рождения в этой семье глухих детей с признаками хрупкости костей?

67. Врожденный сахарный диабет обусловлен рецессивным аутосомным геном d с пенетрантностью у женщин – 90%, у мужчин – 70%. Определите вероятность рождения здоровых и больных детей в семье, где оба родителя являлись гетерозиготными носителями этого гена.

68. Подагра определяется доминантным аутосомным геном. По некоторым данным пенетрантность гена в гетерозиготном состоянии у мужчин составляет 20%, а у женщин практически равна нулю. Какова вероятность заболевания подагрой в семье, где один из родителей гетерозиготен по анализируемому признаку, а другой происходит из семьи, где подагра не отмечалась. нормален?

69. Отосклероз наследуется как доминантный аутосомный ген с пенетрантностью 30%. Определите вероятность рождения здоровых и больных детей в семье, где оба родителя гетерозиготны по этому гену.

70. По данным шведских генетиков [16] некоторые формы шизофрении наследуются как доминантные аутосомные признаки. При этом у гомозигот пенетрантность равна 100%, а у гетерозигот - 20%. Определите вероятность заболевания детей в семье, где один из супругов гетерозиготен, а другой имеет рецессивный гомозиготный генотип в отношении анализируемого признака?

71. Ангиоматоз сетчатой оболочки глаз наследуется как доминантный аутосомный признак с пенетрантностью 50 %. Бабушка и дедушка по отцовской линии у здорового мальчика были больны ангиоматозом, его мама

и все ее родственники никогда не болели ангиоматозом. Каковы возможные генотипы отца этого мальчика?

2. АУТОСОМНОЕ НЕЗАВИСИМОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ

2.1. Дигибридное скрещивание

72. У дурмана пурпурная окраска цветков доминирует над белой, а колючие семенные коробочки - над гладкими. Скрещены гомозиготные растения дурмана: 1) растения с пурпурными цветками и колючими коробочками скрещивали с растениями, имеющими белые цветки и гладкие коробочки; 2) растения с пурпурными цветками и гладкими коробочками скрещивали с растениями, имеющими белые цветки и гладкие коробочки. Скрещены между собой гибриды от этих двух скрещиваний. Какое получится потомство?

73. У томатов красная окраска плодов доминирует над желтой, гладкие плоды над опушенными. Обе пары генов находятся в негомологичных хромосомах.

1) Какое потомство можно ожидать от скрещивания гетерозиготных томатов с красными и гладкими плодами с растением, гомозиготным по обоим рецессивным признакам?

2) Из собранного в хозяйстве урожая помидоров оказалось 36 т гладких красных и 12 т красных пушистых. Сколько в урожае хозяйства будет желтых пушистых помидоров, если исходный материал был гетерозиготным по обоим признакам?

74. У овса нормальный рост доминирует над гигантизмом, а раннеспелость над позднеспелостью. Признаки наследуются независимо. Гомозиготное раннеспелое растение с нормальным ростом скрещивается с позднеспелым гигантом. Каким будет потомство первого поколения? Потомства от обоих возвратных скрещиваний?

75. Птицевод подозревает, что некоторые из самок породы его индюков, имеющих бронзовое нормальное оперение, гетерозиготны по генам, определяющим бронзовое или красное, нормальное или волосистое оперение. Каким образом он может определить, которые из них являются действительно дигетерозиготами?

76. У собак черный цвет шерсти доминирует над кофейным, а короткая шерсть - над длинной. Обе пары аллелей не сцеплены. Какую долю черных короткошерстных щенков можно ожидать от скрещивания двух особей, гетерозиготных по обоим признакам?

77. У вредного кровососущего насекомого комара *Culex* ген *Kuf* - укорочение крыла имаго - расположен в третьей группе сцепления, а ген рубиновой окраски глаз *ru* находится во второй хромосоме. Скрещивали

линии комаров с короткими крыльями, но нормальными глазами, с самками, имеющими рубиновые глаза и нормальные крылья. В каком поколении и с какой вероятностью в потомстве от этого скрещивания появятся особи с рубиновыми глазами и укороченными крыльями.

78. У человека кареглазость доминирует над голубыми глазами, а умение владеть преимущественно правой рукой над леворукостью. Наследование признаков независимое.

1) Какими могут быть дети, если отец левша, но гетерозиготен по цвету глаз, а мать голубоглазая, но гетерозиготна в отношении умения владеть руками?

2) Голубоглазый правша, отец которого был левшой, женится на кареглазой левше из семейства, все члены которого в течение нескольких поколений имели карие глаза. Какого потомства и с какой вероятностью в отношении этих двух признаков следует ожидать от этого брака?

79. Наследственная слепота у людей может быть обусловлена многими различными причинами. Известны два вида слепоты, причина каждого из которых – они определяются своим рецессивным геном. Оцените вероятность рождения ребенка слепым, если родители его зрячие, а обе бабушки страдают одинаковым видом наследственной слепоты. А если слепота бабушек обусловлена различными генами? В обоих случаях предполагается, что генотипы дедушек неотягощены генами слепоты.

80. У львиного зева цветки бывают нормальной формы (двугубые) и пилорические (без выраженной губоцветности), а по окраске - красные, розовые и белые. Оба признака определяются несцепленными парами генов. Нормальная форма цветка доминирует над пилорической, а розовая окраска получается от скрещивания красных и белых особей.

1) Какое потомство получится от скрещивания двух гетерозиготных по обоим парам генов растений?

2) Какие соотношения фенотипов и генотипов должны получиться у потомков при скрещивании растений с цветками розовыми пилорической формы и с цветками красными двугубыми?

81. Альбинизм человека - рецессивный аутосомный признак. Талассемия - наследственное заболевание крови, обусловленное действием другого аутосомного гена, наследующегося независимо от гена альбинизма. Ген талассемии в гомозиготе (**tt**) вызывает большую талассемию, обычно смертельную в детском возрасте в гетерозиготе (**Tt**) проявляется менее тяжелая форма - малая талассемия.

1) С какой вероятностью в семье, где родители гетерозиготны по обоим генам, может родиться ребенок альбинос, страдающий малой талассемией?

2) Ребенок альбинос страдает малой талассемией. Каковы наиболее вероятные генотипы его родителей?

82. У человека гены, определяющие группы крови по системе **ABO** (см. задачу № 14) и группы крови по системе **MN** (см. задачу № 15) наследуются независимо.

1) Определите вероятность рождения ребенка похожего на отца у матери с группами крови *MN* и *AB* и отца с группами крови *M* и *O*.

2) У фермера было два сына. Первый родился, когда фермер был еще молод, и вырос красивым сильным юношей, которым отец очень гордился. Второй, родившийся много позже, рос болезненным ребенком, и соседи убеждали фермера подать в суд для установления отцовства. Основанием для иска должно было послужить то, что, являясь отцом такого складного юноши, каким был его первый сын, фермер не мог быть отцом такого слабого создания, как второй. Группы крови у членов семьи таковы: у фермера *O* и *M*, у его жены *AB* и *N*, у первого сына *A* и *N*, у второго сына *B* и *MN*. Можно ли на основании этих данных считать, что оба юноши являются сыновьями этого фермера? Каковы генотипы всех членов семьи?

83. У фигурной тыквы белая окраска плодов доминирует над желтой, а дисковидная форма плодов - над шаровидной. В потомстве от скрещивания двух растений с белыми шаровидными плодами $\frac{3}{4}$ имеют также белые шаровидные плоды и $\frac{1}{4}$ - желтые шаровидные. Каковы генотипы родителей и потомков в данном скрещивании?

84. У флоксов белая окраска цветков доминирует над кремовой, плоский венчик - над воронковидным. Растение с белыми воронковидными цветками скрещено с растением, имеющим кремовые плоские цветки. В потомстве от этого скрещивания $\frac{1}{4}$ растений имеет белые плоские цветки, $\frac{1}{4}$ - белые воронковидные, $\frac{1}{4}$ - кремовые плоские, $\frac{1}{4}$ - кремовые воронковидные. Определите генотипы исходных растений.

85. У душистого горошка зеленая окраска семян доминирует над желтой, высокий рост - над карликовым. При скрещивании высокого растения душистого горошка с зелеными семенами с карликовым растением с желтыми семенами в потомстве получено расщепление: $\frac{1}{4}$ высоких растений с зелеными семенами, $\frac{1}{4}$ - высоких с желтыми семенами, $\frac{1}{4}$ - карликовых с зелеными семенами, $\frac{1}{4}$ - карликовых с желтыми семенами. Каковы генотипы исходных растений?

86. У кур черная окраска оперения доминирует над бурой, наличие хохла над его отсутствием. Бурый хохлатый петух скрещен с черной курицей без хохла. В их потомстве $\frac{1}{2}$ цыплят черных хохлатых, $\frac{1}{2}$ - бурых хохлатых. Каковы генотипы петуха и курицы?

87. У свиней белая щетина доминирует над черной, однопалость доминирует над двупалостью. Два борава № 1 и № 2 имеют однопалые ноги и белую щетину. Боров № 1 при скрещивании с любыми свиноматками дает белых однопалых потомков. Боров № 2 при скрещивании с черными свиньями дает половину белых и половину черных потомков; при скрещивании с двупалыми - половину однопалых и половину двупалых потомков. Объясните разницу между этими животными, укажите их генотипы.

88. У лошадей вороная окраска шерсти доминирует над каштановой, аллюр рысью над аллюром шагом (иноходь). Наследование признаков незави-

симое. От скрещивания вороных кобылы и жеребца, имеющих аллорысью родился иноходец каштановой окраски. Какова вероятность появления в их потомстве вороных рысаков?

89. Мать имеет свободную мочку уха (доминантный признак) и гладкий подбородок, а отец - несвободную мочку уха и треугольную ямку на подбородке (доминантный признак). Сын имеет свободную мочку уха и треугольную ямку на подбородке, а дочь имеет те же признаки, что у матери. Напишите возможные генотипы родителей и детей.

90. У человека праворукость доминирует над леворукостью, ахандроплазия – над нормальным скелетом. Мужчина и женщина, оба правши, страдающие ахандроплазией, вступили в брак. У них родилось трое детей: правша с ахандроплазией, левша с ахандроплазией, правша с нормальным строением скелета. Каковы генотипы родителей?

91. У человека веснушки и свободные мочки ушей наследуются по аутосомно-доминантному типу. Мужчина с веснушками и свободными мочками ушей и женщина с веснушками и приросшими ушными мочками имеют 10 детей: четверых – с веснушками и свободными мочками ушей; троих – без веснушек и со свободными мочками ушей; троих – с веснушками и приросшими ушными мочками. Определите генотипы родителей и детей. Объясните полученное расщепление в первом поколении, согласуется ли оно с теоретически ожидаемым расщеплением?

92. У человека сращение пальцев (синдактилия) и глаукома (нарушение оттока внутриглазной жидкости, приводящее в конечном итоге к потере зрения) определяются аутосомными доминантными генами, локализованными в разных парах хромосом. Женщина, страдающая глаукомой, вышла замуж за мужчину с синдактилией. Мать женщины, также как и многие ее родственники, страдала глаукомой, а отец был свободен от этого заболевания. У матери мужчины была синдактилия, а все ее родственники по линии отца не имели этой аномалии. Определите вероятность рождения ребенка с двумя аномалиями сразу и ребенка с одним из этих наследственных нарушений.

93. У львиного зева растения с широкими листьями неполно доминируют над узкими, определяя у гетерозигот промежуточную ширину листа, с красными цветками полностью доминируют над белыми. Среди потомков скрещивания имеются растения с красными цветками и листьями промежуточной ширины. Каковы возможные генотипы родительских растений?

94. Альбинизм человека - рецессивный аутосомный признак. Талассемия - наследственное заболевание крови, обусловленное действием другого аутосомного гена, наследующегося независимо от гена альбинизма. Ген талассемии в гомозиготе (*tt*) вызывает большую талассемию, обычно смертельную в детском возрасте. В гетерозиготе (*Tt*) проявляется менее тяжелая форма - малая талассемия. Ребенок альбинос страдает малой талассемией. Каковы наиболее вероятные генотипы его родителей?

95. У человека гены, определяющие группы крови по системе *ABO* (см. задачу № 14) и группы крови по системе *MN* (см. задачу № 15) наследуются независимо.

1) У отца с группами крови *M* и *O* имеется ребенок с группами крови *M* и *B*. Какой генотип может быть у матери ребенка?

2) Женщина с группами крови *A* и *N* подает в суд на мужчину, как виновника рождения ребенка с группами крови *O* и *N*. Мужчина имеет группы крови *B* и *M*. Может ли он быть отцом этого ребенка?

3) Родители имеют 2 и 3 группы крови. У них родился ребенок с 1 группой крови и большой серповидноклеточной анемией. Определите вероятность рождения больных детей с 4 группой крови, если у гетерозигот по серповидноклеточной анемии заболевание не носит выраженный характер вследствие неполного доминирования, гомозиготы по серповидноклеточной анемии в большинстве случаев умирают в детстве и этот признак не сцеплен с группами крови.

96. У плодов арбуза корка может быть зеленая или полосатая, форма плода - длинная и круглая. Гомозиготное растение с длинными зелеными плодами скрещено с гомозиготным, имеющим круглые полосатые плоды. В первом поколении все растения имели круглые зеленые плоды. Каким будет потомство второго поколения и потомство обоих возвратных скрещиваний?

97. При скрещивании гороха посевного, имеющего желтые гладкие горошины, с таким же растением получилось потомство в соотношении: 3 части с желтыми гладкими горошинами к 1 части с желтыми морщинистыми. Потомки с желтыми морщинистыми семенами вновь скрещивали с растениями, имеющими желтые гладкие семена. В их потомстве произошло расщепление горошин на желтые гладкие и желтые морщинистые в соотношении 1:1. Полученные после второго скрещивания потомки с желтыми морщинистыми семенами вновь скрещивали с желтыми гладкими. Очередное потомство расщеплялось на 3 желтых гладких, 3 желтых морщинистых, 1 зеленый гладкий, 1 зеленый морщинистый. Определите генотипы родителей во всех трех скрещиваниях.

98. Позднеспелое растение овса с нормальным ростом скрещено с раннеспелым гигантом. Все потомки оказались раннеспелыми, но только половина из них имеет нормальный рост. В другом скрещивании родительские растения имели те же признаки, все же потомки имели нормальный рост, но только половина из них была раннеспелой. Определите генотипы исходных растений.

99. У львиного зева растения с широкими листьями при скрещивании между собой всегда дают потомство с широкими листьями, а растения с узкими листьями - потомство только с узкими листьями. Аналогично при скрещивании растений с красными цветками все потомство имеет красные цветки, растения с белыми цветками воспроизводят в потомстве только белые цветки. При скрещивании растения с красными цветками и широкими

листьями с растением, имеющим белые цветки и узкие листья, все потомки имели розовые цветки и листья промежуточной ширины. От скрещивания гибридов первого поколения с растениями, имевшими белые цветки и узкие листья, получили 23 растения с розовыми цветками и листьями средней ширины, 17 - розовоцветковых с узкими листьями, 19 - белоцветковых со средними листьями и 15 белоцветковых с узкими листьями. Почему среди потомков не появилось красноцветковых растений?

100. При скрещивании растений ржи, имеющих восковой налет, с растениями без воскового налета во втором поколении получается расщепление: $\frac{3}{4}$ растений с восковым налетом и $\frac{1}{4}$ - без воскового налета. Во втором поколении от скрещивания растений с нормальными и гофрированными листьями $\frac{3}{4}$ растений имеют нормальные и $\frac{1}{4}$ гофрированные листья. Признаки наследуются независимо. Как наследуется каждый из признаков? Какое расщепление во втором поколении следует ожидать среди 288 растений, если скрестить гомозиготные растения без воскового налета с нормальными листьями с растениями с восковым налетом и гофрированными листьями?

101. От скрещивания гладкошерстного кота серого окраса с черной пушистой кошечкой родилось 5 котят, все серые гладкошерстные. Какие фенотипы, и в каком соотношении наиболее вероятно получить во втором поколении? Какое расщепление можно получить в возвратном скрещивании сына с матерью?

102. У тутового шелкопряда гусеницы могут быть одноцветными или полосатыми. Они могут плести желтые или белые коконы. При скрещивании особей, имевших полосатые гусеницы, плетущие желтые коконы около $\frac{1}{16}$ потомства имели одноцветные гусеницы, плетущие белые коконы. Определите генотипы родителей. Какие ещё потомки могут появиться в этом скрещивании, и в каком соотношении?

103. У собак длинная шерсть и висячие уши - аутосомные признаки, не сцепленные друг с другом. Длинношерстную самку с висячими ушами скрещивали с несколькими самцами, имеющими короткую шерсть и стоячие уши. Все её потомство имело короткую шерсть и висячие уши. Некоторых собак из её потомства скрестили друг с другом. Чему равна вероятность рождения у них щенков с длинной шерстью и висячими ушами?

104. Растение тыквы с белыми шаровидными плодами, скрещенное с растением, имеющим желтые дисковидные плоды, дало всех потомков с белыми дисковидными плодами. Гибриды первого поколения были скрещены с растениями, имеющими желтые шаровидные плоды. В результате этого скрещивания получено 25 потомков с белыми дисковидными плодами, 26 - с белыми шаровидными, 24 - с желтыми дисковидными, 28 - с желтыми шаровидными. Как наследуются признаки? Определите генотипы родителей в обоих скрещиваниях.

105. У дурмана растение с пурпурной окраской цветков и гладкими семенными коробочками было скрещено с растением, имевшим белую окра-

ску цветков и колючие семенные коробочки. Потомки, выросшие из гибридных семян, имели пурпурную окраску цветков и колючие семенные коробочки. Они при возвратном скрещивании с растением, имеющим пурпурную окраску цветков и гладкие коробочки, дали 302 потомка с пурпурными цветками и колючими коробочками и 306 - с пурпурными цветками и гладкими коробочками. Каковы генотипы родительских растений в обоих скрещиваниях?

106. В первом поколении от скрещивания красноколосых безостых растений пшеницы с белоколосыми остистыми все растения оказались красноколосыми безостыми, а во втором поколении произошло расщепление: 159 красноколосых безостых растений, 48 – красноколосых остистых, 57 белоколосых безостых, 16 белоколосых остистых. Как наследуются признаки? Определите генотипы родителей и потомков. Свой ответ аргументируйте.

107. От скрещивания растений ржи без антоциана с нормальным колосом с растениями с антоцианом и ветвистым колосом в первом поколении все растения были с антоцианом и нормальными колосьями. При скрещивании этих гибридов было получено 166 растений с антоцианом и нормальными колосьями, 60 – с антоцианом и ветвистыми колосьями, 47 – без антоциана и с нормальными колосьями и 17 – без антоциана и с ветвистыми колосьями. Как наследуются признаки? Определите генотип исходных растений и гибридов первого поколения. Сколько генотипов можно найти среди потомков второго поколения? Какая часть растений второго поколения может быть гомозиготной по обоим доминантным признакам?

108. При скрещивании рыжих тараканов (прусаков), имеющих узкое тело коричневого цвета (дикий фенотип), с особями оранжевой окраски, но с нормальной шириной тела в первом поколении получено 5330 особей дикого фенотипа. Во втором поколении данного скрещивания наблюдали расщепление: 3242 особи дикого фенотипа, 1085 - с широким коричневым телом, и 1137 - с узким оранжевым телом, 360 - с широким оранжевым телом. Как наследуются форма и окраска тела у тараканов? Выпишите генотипы родителей и потомков.

109. Скрещивали особей из двух пород кур, которые отличались следующими признаками: Павловские куры были лохмоногими и имели черное оперение, а Орловские куры были голоногими и рыжими. В первом поколении от скрещивания обеих пород получено 34 голоногих черных цыпленка. Во втором поколении получилось расщепление: 118 голоногих черных, 47 голоногих рыжих, 49 лохмоногих черных и 15 лохмоногих рыжих цыплят. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных кур.

110. Скрещивались особи из двух пород тутового шелкопряда, которые отличались следующими двумя признаками: одна из них дает одноцветных гусениц, плетущих желтые коконы, а другая – полосатых гусениц, плетущих белые коконы. В первом поколении все гусеницы были полосатыми и плели желтые коконы. Во втором поколении получилось следующее рас-

щепление: 6385 полосатых гусениц, плетущих желтые коконы, 2147 – полосатых с белыми коконами, 2099 – одноцветных с желтыми коконами и 691 – одноцветных с белыми коконами. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных растений. Дайте аргументированный ответ.

111. Скрестив трех голубых андалузских кур, имеющих розовидный гребень, с петухом, обладающим теми же признаками, в первом поколении от двух кур получили расщепление на 69 голубых особей с розовидным гребнем, 30 черных с розовидным гребнем, 10 - черных с простым гребнем, 24 - голубых с простым гребнем, 36 - белых с розовидным гребнем, 11 - белых с простым гребнем. В потомстве, полученном от третьей курицы, все цыплята имели розовидный гребень, при этом у $1/4$ из них было черное оперение, у $1/4$ - белое и $1/2$ -голубое. Определите генотипы исходных кур и петуха. Что получится, если скрестить исходных родителей с особями, которые имеют черную окраску и простой гребень?

2.2. Полигибридное скрещивание

112. У томатов красный цвет плодов доминирует над желтым, гладкая кожура над опушенной, высокий стебель над карликовым. Скрещивается растение томата, гомозиготное по признакам высокого стебля, красной окраски плодов с гладкой кожурой с карликовым растением, имеющим желтые опушенные плоды. Укажите генотипы родительских растений. Определите генотип и фенотип потомства. Какая часть второго поколения от этого скрещивания будет иметь желтые опушенные плоды и карликовый рост? Какая часть второго поколения – красные гладкие плоды и высокий стебель? Какая часть второго поколения будет гомозиготна по всем трем признакам?

113. Скрещивание абердин-ангунского скота с герефордами дает тригетерозигот (***BbPpHh***) - белоголовых комолых телят черной масти. Какая часть животных во втором поколении должна иметь доминантный тригомозиготный генотип? Рецессивный тригомозиготный генотип?

114. У кур белое оперение доминирует над окрашенным, оперенность голени - над голоногостью, гороховидный гребень - над листовидным. Все гены наследуются независимо. Скрещена гомозиготная белая с оперенными ногами и гороховидным гребнем курица с окрашенным голоногим с листовидным гребнем петухом. Какая часть белых оперенных с гороховидным гребнем потомков второго поколения от этого скрещивания не даст расщепление при скрещивании с окрашенными голоногими с простым гребнем птицами?

115. Полидактилия, близорукость и отсутствие малых коренных зубов передаются как доминантные аутосомные признаки. Гены всех трех признаков находятся в разных парах хромосом.

1) Какова вероятность рождения детей без аномалий в семье, где оба ро-

дителя страдают всеми тремя недостатками и гетерозиготны по всем трем парам генов?

2) Определите вероятность рождения детей без аномалий в семье, о которой известно следующее: бабушка по линии жены была шестипалой, а дедушка - близорукий. В отношении других признаков они нормальны. Дочь же унаследовала от своих родителей обе аномалии. Бабушка по линии мужа не имела малых коренных зубов, имела нормальное зрение и пятипалую кисть. Дедушка был нормален в отношении всех трех признаков. Сын унаследовал аномалию матери.

116. Некоторые формы катаракты и глухонемоты передаются как ауто-сомные рецессивные несцепленные между собой признаки. Отсутствие резцов и клыков в верхней челюсти также может передаваться как рецессивный признак, несцепленный с катарактой и глухонемотой.

1) Какова вероятность рождения детей со всеми аномалиями в семье, где оба родителя гетерозиготны по всем трем парам генов?

2) Какова вероятность рождения детей со всеми тремя аномалиями в семье, где один из родителей страдает катарактой и глухонемотой, но гетерозиготен по третьему признаку, а второй супруг гетерозиготен по катаракте и глухонемоте, но страдает отсутствием резцов и клыков в верхней челюсти?

117. У кур белое оперение доминирует над окрашенным, оперенность голени - над голоногостью, гороховидный гребень - над листовидным. При скрещивании белой курицы с оперенной голенью и листовидным гребнем с окрашенным петухом, имеющим гороховидный гребень, и голоногим в потомстве обнаружен окрашенный цыпленок с листовидным гребнем и голыми ногами. Какие еще потомки, и в каком отношении могут появиться в данном скрещивании?

118. У мышей черная окраска шерсти доминирует над коричневой, длинные уши над короткими, жесткая шерсть над мягкой. Черная длинноухая мышь с жесткой шерстью была скрещена с коричневым короткоухим мягкошерстным самцом. Все многочисленные потомки этого скрещивания оказались черными, длинноухими, с жесткой шерстью. Определите возможные генотипы и фенотипы потомков второго поколения.

119. Серый полосатый кот с белым воротничком и белыми лапками скрещивается с серой бесполосой кошкой без белых пятен. В их потомстве кроме серых бесполосых с белыми пятнами котят выщепился черный котенок с белым воротничком и лапками. Как это можно объяснить? Какого потомства следует ожидать от тригетерозиготных серых полосатых кота и кошки, имеющих белые пятна на груди и на лапках?

120. У родителей нормальных в отношении всех трех признаков родился ребенок, страдающий катарактой и глухонемотой и не имеющий резцов и клыков в верхней челюсти (см. задачу № 122). Какова вероятность рождения следующего ребенка абсолютно здоровым?

121. В родильном доме женщина утверждала, что ребенок, которого ей

принесли (1), не ее сын. Кроме этого младенца в тот момент в родильном доме находился еще один ребенок, мальчик (2). Группы крови этой женщины $O MN$ (см. задачи № 14 и № 15), вкуса фенилтиокарбамида (ФТК) она не чувствует (рецессив.). Первый ребенок имеет группы крови A и N , чувствителен к ФТК; второй ребенок имеет группы крови O и M , вкуса ФТК не чувствует. Муж женщины умер, но у нее есть еще трое детей: 1-й – с группами крови A и M , чувствителен к ФТК; 2-й – с группами крови B и N , чувствителен к ФТК; 3-й – с группами крови A и MN , не чувствителен к ФТК. Можете ли вы сказать, какой из двух новорожденных сын этой женщины?

122. Г. Мендель [11] скрестил растения гороха посевного, одно из которых имело гладкие семена, желтую окраску семядолей и серо-коричневую окраску кожуры семян, другое – морщинистые семена, зеленую окраску семядолей и белую кожуру семян. В потомстве от этого скрещивания $1/8$ часть растений имели гладкие желтые с серо-коричневой кожурой семена, $1/8$ – гладкие желтые с белой кожурой, $1/8$ – гладкие зеленые с серо-коричневой кожурой, $1/8$ – морщинистые желтые с серо-коричневой кожурой, $1/8$ – гладкие зеленые с белой кожурой, $1/8$ – морщинистые желтые с белой кожурой, $1/8$ – морщинистые зеленые с серо-коричневой кожурой, $1/8$ – морщинистые зеленые с белой кожурой. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных растений и гибридов первого поколения. Какое скрещивание нужно поставить для проверки вашего предположения, и какие формы вы будете при этом использовать?

123. У овечьей мухи в норме серовато-зеленое тело, коричневые глаза и длинные крылья. Скрещивали нормальных мух с мутантной линией, имевшей желтые глаза, бронзовое тело и редуцированные крылья. В первом поколении вылупились мухи дикого типа, а во втором поколении наблюдалось расщепление: 27 частей имели серовато-зеленое тело, коричневые глаза и длинные крылья, 9 частей – редуцированные крылья, нормальное тело и глаза, 9 частей – желтые глаза, нормальное тело и крылья, 9 частей – бронзовое тело, глаза и крылья нормальные, 3 части – желтые глаза, редуцированные крылья и нормальное тело, 3 части – желтые глаза, бронзовое тело и нормальные крылья, 3 части – бронзовое тело, редуцированные крылья, нормальные глаза, 1 часть – бронзовое тело, желтые глаза, редуцированные крылья. Определите генотипы исходных мух.

124. Близорукий (доминантный признак) левша (рецессивный признак) вступает в брак с женщиной, нормальной по обоим признакам. Известно, что у обоих супругов были братья и сестры, страдающие фенилкетонурией, но сами супруги нормальны в отношении этой аномалии. В их семье первый ребенок был нормален в отношении всех трех признаков, второй был близоруким левшой, третий оказался больным фенилкетонурией. Определите генотипы родителей и всех трех детей, а также вероятность того, что четвертый их ребенок будет нормальным по всем трем признакам

125. Растение душистого горошка с зелеными морщинистыми семенами и пазушными цветками было скрещено с растением, имеющим зеленые круглые семена и верхушечные цветки. В первом поколении было получено 59 растений с зелеными морщинистыми семенами и пазушными цветками, 62 – с зелеными круглыми семенами и пазушными цветками, 22 – с желтыми круглыми семенами и пазушными цветками и 20 - с желтыми морщинистыми семенами и пазушными цветками. Объясните расщепление. Каковы генотипы исходных растений и гибридов первого поколения? Какие скрещивания следует поставить для проверки вашей гипотезы?

126. Высокое красно- и круглоплодное растение томата, скрещенное с карликовым желто- и круглоплодным дало в потомстве: 58 высоких с желтыми и круглыми плодами, 61 высоких с красными и круглыми, 62 карликовых желтыми и круглыми плодами, 59 карликовых с красными и круглыми плодами, 19 высоких с желтыми и длинными плодами, 20 высоких с красными и длинными плодами, 21 карликовых с желтыми и длинными плодами, 20 карликовых с красными и длинными плодами. Объясните полученные результаты.

127. Скрестили растение ячменя с двурядными остистыми колосьями, имеющими черные чешуи, с растением с четырехрядными безостыми колосьями и белыми чешуями. В потомстве первого поколения от этого скрещивания получили двурядные безостые колосья с черными чешуями, а во втором поколении произошло расщепление на 279 растений с двурядным безостым колосом с черными чешуями, 92 - с двурядным безостым колосом с белыми чешуями, 99- с двурядным остистым колосом с черными чешуями, 25 - с двурядным остистым колосом с белыми чешуями, 97 - с четырехрядным безостым колосом с черными чешуями, 33 - с четырехрядным безостым колосом с белыми чешуями, 36 - с четырехрядным остистым колосом с черными чешуями, 12 - с четырехрядным остистым колосом с белыми чешуями. Как наследуются изучаемые признаки? Определите генотипы исходных растений и гибридов первого поколения.

128. Длинношерстный сибирский кот с мраморным рисунком и белыми пятнами на шее спарился с короткошерстной кошкой без рисунка и пятен на шее. В первом поколении все котята оказались короткошерстными, без мраморного рисунка, но с белыми пятнами на шее. При скрещивании одной из кошек из первого поколения с короткошерстным, без мраморного рисунка и белых пятен котом в течение нескольких лет получено следующее расщепление: 26 котят без рисунка, но с белыми пятнами, 27 - без рисунка и пятен, 9 - мраморных с белыми пятнами, 8 - мраморных без белых пятен, причем все котята оказались короткошерстными. Определите генотипы всех особей, участвовавших в скрещиваниях.

2.3. Плейотропное действие и пенетрантность гена

129. У некоторых цветковых растений доминантный ген, определяющий красный цвет лепестков, одновременно вызывает красный оттенок стебля и жилок листа. Аллельный ему ген, определяющий белый цвет лепестков не изменяет окраски стебля и жилок листа – они остаются зелеными. Любитель-цветовод решил обзавестись белолепестковыми цветами из-за их тонкого аромата. В цветочном магазине ему сообщили, что семена по колеру не разобраны, и «чистых» белых нет. Тогда цветовод купил три пакета семян из разных хозяйств и высеял по 1000 штук. Осматривая рассаду, он обнаружил, что семена из первого пакета дали всходы растений только с красноватыми жилками, семена из второго пакета дали $\frac{3}{4}$ растений с красноватыми жилками, из третьего с красноватыми жилками была только половина растений. Определите, какие по фенотипу и генотипу были цветы в каждом хозяйстве.

130. У коров породы декстер комолость доминирует над рогатостью, а ген **D** в гетерозиготном состоянии вызывает укороченность головы, ног и улучшает мясные качества породы, чем и отличает декстеров от других пород крупного рогатого скота. Однако в гомозиготном состоянии ген **D** летален и телята оказываются мертворожденными. Рецессивная аллель гена **D** обуславливает нормальное развитие тела животного. Комолые коровы породы декстер покрывались рогатым быком той же породы, в результате чего получено 48 живых телят. Сколько из них, по вашему мнению, должно быть рогатых декстеров, если половина коров были гетерозиготными по гену комолости?

131. От скрещивания кур с простым гребнем и короткими ногами с пестухами, имеющими гороховидный гребень и короткие ноги, в первом поколении все цыплята имели гороховидный гребень, причем $\frac{1}{3}$ из них оказались с нормальными ногами, а $\frac{2}{3}$ - коротконогими. Когда скрестили между собой коротконогих особей из первого поколения, то получили следующий результат: 40 коротконогих особей с гороховидным гребнем, 23 - длинноногих с гороховидным гребнем, 13 коротконогих с простым гребнем и 7 длинноногих с простым гребнем. От скрещивания различающихся по фенотипу особей из первого поколения получили те же фенотипические классы, как и в предыдущем скрещивании, но в соотношении близком к 3:3:1:1. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных птиц и потомков первого поколения.

132. Арахнодактилия наследуется как доминантный аутосомный признак с пенетрантностью 30%. Леворукость - рецессивный аутосомный признак с полной пенетрантностью.

1) Определите вероятность появления обеих аномалий в семье, где оба родителя гетерозиготны по обеим парам генов.

2) Здоровая женщина левша, у которой все предки были здоровы,

выходит замуж за мужчину левшу, у которого предки на протяжении нескольких поколений страдали арахнодактилией и были правшами. С какой вероятностью в этом браке, могут родиться дети левшами с арахнодактилией?

3) Определите вероятность проявления обеих аномалий в семье, где один из родителей гетерозиготен по обоим парам генов, а другой - гомозиготен по доминантным аллелям обоих генов.

4) У здоровых родителей правой рукой родился ребенок левша, больной арахнодактилией. Каковы возможные генотипы родителей?

133. Карий цвет глаз доминирует над голубым и определяется аутосомным геном. Ретинобластома определяется другим аутосомным геном, несцепленным с геном окраски глаз. Пенетрантность ретинобластомы составляет 60 %.

1) Какова вероятность того, что в браке гетерозиготных по обоим генам родителей родятся голубоглазые больные ретинобластомой дети?

2) У кареглазых здоровых в отношении ретинобластомы родителей родился голубоглазый ребенок больной ретинобластомой. Каковы возможные генотипы родителей?

2.4. Взаимодействие неаллельных генов

134. У душистого горошка гены *C* и *F* наследуются независимо и определяют при самостоятельном действии белую окраску цветков. Пурпурная окраска получается только при наличии в генотипе доминантных аллелей обоих генов. При скрещивании растений сорта душистого горошка с пурпурными цветками с растением сорта с белыми цветками, окраска которых обусловлена рецессивными аллелями обоих генов, получено потомство. Определите окраску цветков потомства возвратного скрещивания с исходными растениями.

135. У тутового шелкопряда *Bombyx mori* желтая окраска кокона определяется наличием в генотипе доминантных аллелей двух генов. При наличии в генотипе только одного из этих генов, а также рецессивных гомозигот по обоим генам – окраска кокона белая. С какой вероятностью появятся потомки с белыми коконами при скрещивании двух дигетерозигот?

136. Красная окраска луковицы определяется доминантной аллелью, желтая - рецессивной аллелью одного гена. Однако проявление гена окраски возможно лишь при наличии доминантной аллели другого несцепленного с ним гена, рецессивная аллель которого подавляет окраску, и луковицы оказываются белыми.

1) Каким будет потомство от скрещивания двух дигетерозиготных растений?

2) Какую долю составят потомки с желтыми луковицами при скрещивании краснолуковичного гомозиготного растения с растением, имеющим дигетерозиготный генотип?

137. У лука устойчивость к антракнозу наследуется по типу эпистаза. Ген A обуславливает устойчивость к антракнозу, ген a – чувствительность к нему. Ген S – супрессор доминантной аллели гена A , ген s – нейтрален в своем действии. Какие результаты по фенотипу и генотипу получают в потомстве от скрещивания дигетерозиготных растений, если наследование данных неаллельных генов независимое?

138. Цвет кожи у человека определяется взаимодействием нескольких пар полимерных генов, причем темный цвет кожи доминирует над белым.

1) Негритянка и белый мужчина, различающиеся по трем парам генов, имеют детей. С какой вероятностью в этом браке могут появиться негры, мулаты и белые?

2) Какую долю составят белые, мулаты и негры среди детей, если родители имеют тригетерозиготные генотипы?

139. Высота растения сорго гомозиготного по рецессивным аллелям четырех генов карликовости 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 четырьмя независимо наследующимися полимерными генами, причем их действие носит кумулятивный характер. Растение генотипа $A_1A_1 A_2A_2 A_3A_3 a_4a_4$ скрещивали с растением генотипа $a_1a_1 a_2a_2 a_3a_3 A_4A_4$. Какова высота стебля у каждого из родительских форм, у гибридов первого поколения. Укажите ожидаемые пределы изменчивости высоты растений у потомков второго поколения и ожидаемую частоту растений для каждого класса высоты. Какова ожидаемая средняя высота растений второго поколения?

140. У тыквы два неаллельных аутосомных гена, наследующихся независимо, определяют сферическую форму плодов. Дисковидная форма плодов получается только при наличии обоих этих генов. Удлиненную форму плодов имеют рецессивные гомозиготы по обоим генам.

1) При скрещивании дисковидных тыкв с растениями, имеющими удлиненные плоды, в потомстве получено соотношение: $\frac{1}{4}$ - с дисковидными плодами, $\frac{1}{2}$ - со сферическими, $\frac{1}{4}$ - с удлиненными. Определите генотипы скрещиваемых растений,

2) При скрещивании дисковидных тыкв со сферическими получено потомство, наполовину состоящее из растений с дисковидными плодами, наполовину - со сферическими. Определите генотипы исходных растений.

141. Форма гребня у кур определяется сочетанием двух пар неаллельных генов, несцепленных друг с другом. Доминантная аллель одного гена определяет розовидный гребень, его рецессивная аллель – простой. Доминантная аллель другого гена отвечает за гороховидный гребень, рецессивная – за простой. Доминантные аллели обоих генов, находясь в одном генотипе, определяют ореховидный гребень.

1) В потомстве курицы с ореховидным гребнем и петуха с простым гребнем $\frac{1}{4}$ цыплят имеет ореховидный гребень, $\frac{1}{4}$ - розовидный, $\frac{1}{4}$ - гороховидный и $\frac{1}{4}$ - простой. Определите генотипы родителей.

2) Курица с розовидной формой гребня, скрещенная с петухом, имеющим гороховидный гребень, выводит 6 цыплят с ореховидной формой гребня и 5 - с розовидной. Определите генотипы родителей.

142. Цветовые вариации в окраске лошадей определяются сочетаниями трех пар несцепленных неаллельных генов. Различным мастям соответствуют следующие фенотипические радикалы: *A-B-E-* - саврасая, *A-B-ee* - мышастая, *A-bbE-* - булано-саврасая, *aaB-E-* - гнедая, *A-bbee* - соловая, *aaB-ee* - бурая, *aabbE-* - буланая, *aabbee* - рыжая.

1) При скрещивании бурой кобылы с буланным жеребцом родился рыжий жеребенок. Каких мастей жеребята могут появиться ещё в данном скрещивании, и с какой вероятностью?

2) При скрещивании двух гнедых лошадей в разные годы отмечали рождение гнедых, бурых, буланных и рыжих жеребят. Определите генотипы родителей.

143. У овса цвет зерен определяется двумя парами несцепленных между собой генов. Доминантная аллель одного гена определяет черный цвет, другого - серый. Аллель черного цвета подавляет аллель серого цвета. Рecessивные аллели обоих генов обуславливают белую окраску. При скрещивании белозерного овса с чернозерным в потомстве половина растений с черными зернами, половина - с серыми. Определите генотипы скрещиваемых особей.

144. Так называемый бомбейский феномен состоит в том, что в семье, где отец имел первую группу крови, а мать – третью, родилась девочка с первой группой. Она вышла замуж за мужчину со второй группой крови, и у них родились две девочки: первая - с четвертой, вторая - с первой группой. Появление в третьем поколении девочки с четвертой группой крови от матери с первой группой крови вызвало недоумение. Однако в литературе было описано несколько подобных случаев. По сообщению В. МакКьюсика [9], некоторые генетики склонны объяснить это явление редким recessивным эпистатическим геном, способным подавлять действие гена, определяющего группы крови по системе АВО (см. задачу № 14). Принимая эту гипотезу:

1) Определите вероятность рождения детей с 1 группой крови в семье дочери из третьего поколения, если она выйдет замуж за такого же по генотипу мужчину, как она сама.

2) Определите вероятные группы крови у детей в семье второй дочери второго поколения, если она выйдет замуж за мужчину с 4 группой крови, но гетерозиготного по редкому эпистатическому гену.

145. Рост человека контролируется несколькими парами несцепленных генов, которые взаимодействуют по типу полимерии. Если пренебречь факторами среды и условно ограничиться лишь тремя парами генов, то можно допустить, что в какой-то популяции самые низкорослые люди имеют все recessивные полимерные гены и рост 150 см, самые высокорослые - все

доминантные полимерные гены и рост 180см. Низкорослая женщина вышла замуж за мужчину среднего роста. У них было четверо детей, которые имели рост 165 см, 160 см, 155 см и 150 см. Определите генотипы родителей и их рост.

146. Две линии кукурузы, имеющие семена с неокрашенными зернами, при скрещивании друг с другом дают в первом поколении семена с окрашенным алейроном, а во втором поколении получили расщепление: 9 частей потомков с окрашенными семенами, 7 частей с неокрашенными. Определите генотипы родителей и потомков. Как получить генотип, который будет служить анализатором для любого генотипа, встречающегося в этом скрещивании?

147. 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?

148. От скрещивания темных и белых карпов в первом поколении все потомки оказались темными, во втором поколении произошло расщепление: 9 частей темных, 3 - белых, 3 - оранжевых, 1 - белых. Как наследуется признак?

149. При скрещивании серых гуппи с нормальным спинным плавником с белыми, имеющими длинный спинной плавник - "шарф", в первом поколении получили серых рыб с плавником "шарф", а во втором поколении получили расщепление; 27 частей потомков серых с плавником "шарф", 9 - голубых с плавником "шарф", 9 - светлых с плавником "шарф", 3 - белых с плавником "шарф", 9 - серых с нормальным плавником, 3 - голубых с нормальным плавником, 3 - светлых с нормальным плавником и 1 - белых с нормальным плавником. Определите генотипы исходных рыб. Что получится в анализирующем скрещивании гибридов первого поколения, и каких рыб вы будете использовать в качестве анализатора? Что получится, если скрестить голубых и белых рыб из второго поколения с плавниками типа "шарф" между собой?

150. Во втором поколении от скрещивания белых и голубых кроликов получили расщепление: $\frac{9}{16}$ черных, $\frac{3}{16}$ голубых и $\frac{4}{16}$ белых особей. От скрещивания кроликов, имеющих шерсть обычной длины, с ангорскими (длинная шерсть) во втором поколении получили $\frac{3}{4}$ особей с шерстью обычной длины и $\frac{1}{4}$ -с длинной шерстью. Как наследуется окраска шерсти и ее длина у кроликов? Какова вероятность получения черных кроликов с длинной шерстью от скрещивания между собой гетерозиготных особей?

151. При скрещивании двух сортов тыквы, имеющих белые и зеленые

плоды, первое поколение белоплодное, а во втором поколении получается расщепление на 12/16 белоплодных к 3/16 желтоплодным и 1/16 с зелеными плодами. Определите характер наследования окраски и генотипы всех форм. Как называется такой тип наследования?

152. От скрещивания белого петуха с окрашенными курами в первом поколении было получено 3/8 окрашенных и 5/8 белых цыплят. Объясните расщепление, определите генотипы исходных птиц.

153. При скрещивании краснозерных и белозерных растений пшеницы 3/4 потомства первого поколения имели красные зерна, 1/4 - белые. В другом скрещивании в потомстве краснозерных растений 7/8 имели красные зерна, 1/8 - белые. Объясните результаты и определите генотипы родителей в обоих скрещиваниях.

154. У пастушьей сумки стручок может быть треугольной и округлой форм. При скрещивании растения с треугольным стручком с растением, имеющим округлый стручок, в первом поколении всегда треугольные стручки. Во втором поколении одного скрещивания 15 частей потомства имели треугольные стручки, 1 часть - округлые. Во втором поколении другого скрещивания 3 части потомства имели треугольные стручки, 1 часть - округлые. Определите генотипы исходных растений.

155. Овца и баран имеют тонины шерсти 30 мкм, потомство их подобно по этому признаку. Другая родительская пара с такой же тониной шерсти в течение нескольких лет дала следующее потомство: 1/16 - с толщиной 26 мкм, 4/16 - 28 мкм, 6/16 - 30 мкм, 4/16 - 32 мкм, 1/16 - 34 мкм. Каковы генотипы первой и второй родительских пар?

156. При скрещивании сортов перца, имеющих желтые и коричневые плоды, в первом поколении получены растения с красными особо горькими на вкус плодами. При скрещивании гибридов первого поколения между собой среди 322 потомков было получено 182 растения с красными плодами, 59 - с коричневыми плодами, 20 - с зелеными плодами и 61 растение с желтыми плодами. Предложите гипотезу для объяснения этих результатов.

157. От скрещивания растений люцерны с пурпурными и желтыми цветками в первом поколении все цветки были зелеными, а во втором поколении произошло расщепление: 169 с зелеными цветками, 64 с пурпурными, 67 с желтыми и 13 с белыми. Как наследуется признак? Определите генотипы исходных растений. Что получится, если скрестить растения первого поколения с белоцветковым растением?

158. От скрещивания белых кур породы плимутрок со светлыми петухами породы брама были получены черные цыплята. При скрещивании потомков первого поколения между собой во втором поколении 50 цыплят имели черную окраску, 16 - светлую окраску и 22 - белую окраску. При скрещивании гибридов первого поколения с исходными светлыми петухами 29 цыплят имели черную окраску и 23 - светлую окраску; при скрещивании их с исходными белыми курами 12 цыплят имели черную окраску, 8 - бе-

люю. Объясните полученные результаты. Определите генотипы исходных петухов и кур.

159. При скрещивании собак коричневой и белой масти все многочисленное потомство оказалось белой масти. Среди потомства большого числа скрещиваний между собой собак первого поколения оказалось 40 белых, 10 черных и 4 коричневых. Как наследуется окраска шерсти у собак? Каковы генотипы родителей и потомков? Что получится от скрещивания гомозиготных черных и белых собак?

160. От скрещивания белых кур и петухов двух пород - леггорн и шелковистых - в первом поколении получили белых цыплят, а во втором поколении получили расщепление на 172 белых и 33 черных цыпленка. В обратном скрещивании гибридов первого поколения с белыми шелковистыми получили 146 белых и 53 черных цыпленка, а в обратном скрещивании гибридов первого поколения с леггорнами - 128 белых. Как наследуется окраска у кур? Определите генотипы исходных пород. Объясните результаты всех скрещиваний.

161. От скрещивания альбиносов и окрашенных золотых рыбок в первом поколении все рыбы оказались окрашенными, а во втором поколении произошло расщепление на 201 окрашенных и 16 альбиносов. Как наследуется признак? Определите генотипы исходных рыб и гибридов первого поколения. Какое скрещивание следует поставить для проверки вашего предположения?

162. При скрещивании двух сортов левкоя, один из которых имел махровые красные цветки, а второй - махровые белые, в первом поколении все гибриды имеют простые красные цветки, во втором поколении наблюдали расщепление на 68 растений с махровыми белыми цветками, 275 - с простыми красными, 86 - с простыми белыми и 213 - с махровыми красными. Как наследуется окраска и форма цветков у левкоя. Определите генотипы исходных растений.

163. Скрещивали два сорта земляники - безусый с красной ягодой и безусый с белой ягодой. В первом поколении растения усатые с красной ягодой. Во втором поколении 331 растение усатые с красной ягодой, 98 - усатые с белой ягодой, 235 - безусые с красной ягодой, 88 - безусые с белой ягодой. Определите генотипы исходных сортов и характер наследования окраски ягоды и усатости.

164. Скрещивали два сорта льна, один из которых имеет розовую окраску цветков с нормальными лепестками, другой - белую окраску цветков с нормальными лепестками. Растения первого поколения имели розовые цветки с нормальными лепестками. Во втором поколении наблюдали расщепление на 40 растений с цветками розовыми с нормальными лепестками, 8 - розовоцветковых с гофрированными лепестками, 4 - белоцветковых с гофрированными лепестками, 14 - белоцветковых с нормальными лепестками. Как наследуются окраска цветков и форма лепестков у льна?

165. Имея две формы пшеницы (безостую с черными колосьями и остистую с красными колосьями), селекционер скрестил их, чтобы получить безостую красноколосую форму. В первом поколении от этого скрещивания растения были безостыми с черными колосьями. Во втором поколении произошло расщепление на 714 растений безостых с черными колосьями, 181 - безостых с красными колосьями, 58 - безостых с белыми колосьями, 231 - остистых с черными колосьями, 61 - остистых с красными колосьями, 20 - остистых с белыми колосьями. Сколько генов контролируют изучаемые признаки? Каковы генотипы исходных форм? Какая часть безостых красноколосых растений второго поколения гомозиготна?

166. При скрещивании двух пород кур, из которых одна имела белое оперение и хохол, а вторая также белая, но без хохла в первом поколении все цыплята оказались белыми хохлатыми. Во втором поколении получено расщепление на 39 белых хохлатых, 4 рыжих без хохла, 12 белых без хохла и 9 рыжих хохлатых цыпленка. Объясните, как наследуются анализируемые признаки?

167. При скрещивании растений пшеницы с красным плотным колосом с растениями, имеющими белый рыхлый колос, в первом поколении у растений были красные колосья средней плотности. Во втором поколении 185 растений имели красный плотный колос, 360 - с красным колосом средней плотности, 182 - красный рыхлый колос, 12 - белый плотный колос, 25 - с белый колос средней плотности, 10 - с белый рыхлый колос. Как наследуются признаки? Каковы генотипы исходных растений? Как можно проверить правильность вашего предположения?

3. ПОЛ И НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ, СЦЕПЛЕННЫХ С ПОЛОМ

3.1. Наследование пола

168. Диплоидные самцы наездника *Habrobracon* очень редко обладают жизнеспособной спермой. Если самец такого типа скрещивается со своей сестрой, то какое расщепление по половым типам следует ожидать? Имейте в виду, что у браконид, так же, как у медоносных пчел, в норме самцы - гаплоидны, а самки - диплоидны, причем последние способны откладывать как оплодотворенные, так и неоплодотворенные яйца.

169. Искусственным путем было вызвано превращение самок мексиканского аксолотля в самцов. У аксолотлей самки являются гетерогаметными. Превращенные в самцов особи, будучи скрещены с нормальными самками, дали 1588 самцов и 509 самок. Чем объяснить подобное соотношение полов?

170. У курицы вследствие заболевания яичник дегенерировал, а из пра-

вой гонады развился семенник. В результате эта особь стала функционировать как самец. Какое соотношение по полу следует ожидать от скрещивания такой особи с нормальной курицей?

171. Обработка эстрогенами куриных яиц до инкубации вызывает полное превращение мужского пола в женский. При этом превращенные в курочек петушки сохраняют признаки самки в последующем развитии. Какое расщепление по полу следует ожидать в потомстве от скрещивания нормальных самцов с такими самками при предположении, что они имеют нормальную плодовитость?

172. Исследования Ямамото показали, что пол у зубатого карпика "медаки" можно переопределить, добавляя в корм малькам половые гормоны. В эксперименте по скрещиванию переопределенных в самок самцов с нормальными самцами было получено расщепление на 94 самки и 315 самцов. Как вы объясните полученные данные?

3.2. Наследование признаков, сцепленных с полом

173. У дрозофилы желтая окраска тела определяется рецессивной аллелью гена, сцепленного с полом. Самка дрозофилы с желтым телом скрещена с серым самцом. Какими будут потомки возвратных скрещиваний?

174. Серебристую курицу из породы белый виандот скрестили с золотистым (коричневым) петухом породы леггорн. Определите численное соотношение расщепления по генотипу и фенотипу. Указанный признак сцеплен с полом, доминантный ген серебристой окраски находится в одной хромосоме, рецессивный ген золотистой окраски – в другой гомологичной X-хромосоме.

175. У дрозофилы ген *l* является летальным, рецессивным и локализованным в X-хромосоме. Каким будет численное соотношение полов от скрещивания гетерозиготной самки с нормальным самцом?

176. У кур встречается сцепленный с полом рецессивный ген, который вызывает гибель цыплят до вылупления. Нормальная самка, скрещенная с гетерозиготным по летальному гену самцом, дала 120 живых цыплят. Какое количество среди них самок и самцов?

177. У кошек черную окраску шерсти контролирует доминантная аллель гена, находящегося в X-хромосоме, рыжую - его рецессивная аллель. Гетерозиготные по этому гену кошки имеют черепаховую окраску из чередующихся черных и рыжих пятен. Какое потомство следует ожидать при скрещивании черной кошки с рыжим котом? С черным котом?

178. У человека дальтонизм - рецессивный, сцепленный с полом признак. Женщина, страдающая цветовой слепотой, имеет нормальных по зрению мать и брата. Какова вероятность того, что её первый сын будет дальтоником?

179. Мужчина, много лет работавший в радиобиологической лаборато-

рии, стал отцом сына - гемофилика. Случаев этого заболевания не было как в его роду, так и в роду его жены. Можно ли рассматривать возникновение аномалии как результат облучения отца ребенка? Известно, что гемофилия определяется рецессивным геном, локализованным в X-хромосоме.

180. Отсутствие потовых желез у людей наследуется как рецессивный, сцепленный с полом признак. Юноша, не страдающий этим заболеванием, женится на здоровой девушке, отец которой лишен потовых желез, а мать и её предки здоровы. Какова вероятность того, что сыновья и дочери от этого брака будут страдать отсутствием потовых желез? Если жены сыновей и мужа дочерей будут здоровыми, то будут ли здоровы их дети?

181. В некоторых случаях часть X-хромосомы оказывается генетически инертной, а Y-хромосома несет те или иные гены. У человека в Y-хромосоме может находиться ген, определяющий развитие перепонки между вторым и третьим пальцами ног. Определите, какими будут в отношении данного признака дети и внуки мужчины, имеющего перепонки между пальцами и женщины, у которой этих перепонки нет.

182. У человека есть наследственное аллергическое заболевание - геморрагический диатез, вызываемый рецессивной аллелью. Аллели гена, отвечающие за этот признак, находятся и в X-, и в Y- хромосомах. Какими будут дети и внуки больного мужчины и гомозиготной здоровой женщины?

183. У дрозофилы желтая окраска тела определяется рецессивной аллелью гена, сцепленного с полом. При скрещивании самки дикого типа с самцом, имеющим желтую окраску тела, в потомстве половина самцов имели серое тело, половина - желтое. Какой будет окраска тела у самок из первого поколения?

184. У молодых цыплят нет заметных половых признаков, а между тем экономически целесообразно устанавливать для будущих петушков и курочек различные режимы кормления. Как можно использовать для раннего выявления пола то обстоятельство, что ген, определяющий окраску у кур локализован в X-хромосоме, причем рябая окраска доминирует над черной и различие между окрасками заметно сразу же после вылупления?

185. Кошка принесла котят, один из которых имеет черепаховую окраску, второй - черную. Какими могут быть генотип и фенотип самой кошки и отца котят? Что вы можете сказать о поле этих котят?

186. Белый цвет кокона бабочек тутового шелкопряда – доминантный признак. Признак «окраска кокона» - сцепленный с полом. При скрещивании бабочки с темными коконами с самцом, имеющим белые коконы, получили 62 особи с белыми коконами и 60 с темными.

187. У человека гемофилия - рецессивный, сцепленный с полом признак. Отец и сын страдают гемофилией, а мать - здорова. Каковы наиболее вероятные генотипы родителей и ребенка?

188. У человека дальтонизм - рецессивный, сцепленный с полом признак.

1) От двух нормальных по зрению родителей родилась дочь с нормальным зрением. Впоследствии она вышла замуж за мужчину-дальтоника, который имел нормальных по зрению брата и сестру. От этого брака родилась одна дочь - дальтоник. Родители хотят знать, какова вероятность рождения у них других детей-дальтоников. Определите генотипы всех членов семьи.

2) Мужчина, страдающий цветовой слепотой, женится на женщине с нормальным зрением, в роду которой данное заболевание не отмечалось. У них рождаются дочери и сыновья, которые вступают в брак с людьми, имеющими нормальное зрение. Какова вероятность появления внуков с цветовой слепотой?

189. Гипоплазия эмали наследуется как сцепленный с X-хромосомой доминантный признак. В семье, где оба родителя страдали отмеченной аномалией, родился сын с нормальными зубами. Какова вероятность рождения второго сына вновь без аномалии?

190. Гипертрихоз наследуется как сцепленный с Y-хромосомой признак, который проявляется к семнадцати годам жизни. Одна из форм ихтиоза наследуется как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой признак. В семье, где женщина нормальна по обоим признакам, а муж является обладателем только гипертрихоза, родился мальчик с признаками ихтиоза. Определите вероятность проявления у этого мальчика гипертрихоза. Определите вероятность рождения в этой семье детей без обеих аномалий и какого они будут пола?

191. Пыльцой мужского растения дремы с зелеными листьями опыляют цветки женских растений с желто-зелеными листьями. В первом поколении женские растения имеют зеленые листья, а мужские – желто-зеленые. В обратном скрещивании все гибридные растения были зеленые. Как это можно объяснить? Какого потомства во втором поколении от этих скрещиваний вы ожидаете получить? Определите генотипы исходных растений.

192. Две красноглазые длиннокрылые особи дрозофилы при скрещивании между собой дали следующее потомство: самок: $\frac{3}{4}$ красноглазых длиннокрылых, $\frac{1}{4}$ красноглазых с зачаточными крыльями; самцов: $\frac{3}{8}$ красноглазых длиннокрылых, $\frac{3}{8}$ белоглазых длиннокрылых, $\frac{1}{8}$ красноглазых с зачаточными крыльями, $\frac{1}{8}$ белоглазых с зачаточными крыльями. Объясните расщепления. Как наследуются данные признаки? Каковы генотипы родителей?

193. При скрещивании серых самок аквариумных рыбок гуппи с пестро окрашенным самцом в первом поколении получены серые самки и пестро окрашенные самцы в соотношении 1:1. То же наблюдалось во втором и третьем поколениях. Объясните полученные результаты. Определите генотипы исходных рыб.

194. При скрещивании золотистых петухов породы род-айленд с суссекскими курами, обладающими серебристым оперением, наблюдали крисс-кросс-наследование: в первом поколении все петухи оказались сереб-

ристыми, все куры -золотистыми. Как наследуется окраска оперения? Каких результатов следует ожидать в первом поколении реципрокного скрещивания? Во втором поколении прямого и обратного скрещиваний?

195. У дрозофилы при скрещивании самки с полосковидными глазами с нормальным самцом в первом поколении все самцы и самки имели полосковидные глаза. В реципрокном скрещивании в первом поколении самки имеют полосковидные глаза, а самцы - нормальные глаза. Как наследуется признак? Каким должно быть потомство второго поколения в обоих скрещиваниях?

196. Новая порода тутового шелкопряда, выведенная путем искусственного мутагенеза, отличается одной важной особенностью: самки откладывают два сорта яиц – темной и светлой окраски. При этом из темных яиц развиваются только самки, которые передают этот признак только дочерям. Определите, почему указанный новый признак наследуется только по женской линии?

197. При скрещивании белоглазых самок дрозофилы с красноглазыми самцами получено равное соотношение самцов с белыми глазами и самок с красными глазами. Кроме того, в потомстве от этого скрещивания обнаружено две самки с белыми глазами и один самец с красными глазами. Как можно объяснить появление необычных самок и самцов? Как проверить правильность вашего предположения?

198. При скрещивании кошки, имеющей черепаховую окраску шерсти (трехцветные), с рыжим котом в нескольких пометах получено 18 черепаховых и 14 рыжих кошек, 16 рыжих и 17 черных котов. Скрещивание черепаховой кошки с черным котом дало 10 черепаховых и 13 черных кошек, 11 рыжих и 8 черных котов. Объясните результаты.

199. При скрещивании петуха с желтыми ногами с курицей, имеющей зеленые ноги, в первом поколении все петушки и курочки имели желтые ноги, а в реципрокном скрещивании курочки были с зелеными, а петушки с желтыми ногами. Во втором поколении прямого скрещивания 152 цыпленка обоих полов имели желтые ноги и 49 курочек - зеленые. Как наследуется признак? Определите генотипы исходных птиц. Какое расщепление вы ожидаете получить во втором поколении обратного скрещивания?

200. При скрещивании белого самца аквариумной рыбки медаки с красной самкой в первом поколении все самцы и самки оказались красными, а во втором – 117 красных обоего пола и 43 белых самца. В обратном скрещивании в первом поколении появилось 197 белых самцов и 230 красных самок. Как наследуется признак? Определите генотипы исходных рыб. Какое расщепление вы ожидаете получить во втором поколении обратного скрещивания среди 200 потомков?

201. В потомстве рано оперившегося петуха с поздно оперившейся курицей обнаружено 20 поздно оперившихся петушков и 22 рано оперившихся курочки. В реципрокном скрещивании и петушки и курочки оперялись

поздно. Как наследуется признак? Какие результаты вы ожидаете получить во втором поколении прямого и обратного скрещиваний?

202. У человека одна из специфических форм рахита не поддается лечению витамином D и характеризуется недостатком фосфора в крови. В потомстве от браков 14 мужчин больных этой формой рахита со здоровыми женщинами родились 21 дочь и 18 сыновей. Все дочери страдали недостатком фосфора в крови, все сыновья были здоровы. Какова генетическая обусловленность этого заболевания? Чем оно отличается от наследования гемофилии?

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

203. У человека альбинизм – рецессивный аутосомный признак, а гемофилия определяется рецессивным геном, локализованным в X-хромосоме. Здоровый мужчина альбинос женился на здоровой женщине, отец которой страдал гемофилией, а мать была альбиносом. Определите вероятность рождения в этой семье детей с различными фенотипами?

204. У человека близорукость доминирует над нормальным зрением, а дальтонизм наследуется сцепленно с полом по рецессивному типу. Близорукий мужчина - дальтоник, мать которого не имела близорукости, женился на женщине с нормальным зрением, сестра которой была дальтоником. Какова вероятность рождения в этой семье детей: а) с одной аномалией, б) с двумя аномалиями одновременно.

205. Одна из форм агаммаглобулинемии наследуется как рецессивный аутосомный признак, другая – как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой. Определите вероятность рождения больных детей в семье, где известно, что мать гетерозиготна по обеим парам генов, а отец здоров и имеет лишь доминантные аллели анализируемых генов.

206. Атеросклероз наследуется как доминантный аутосомный признак с пенетрантностью 30 %. Гипертрихоз наследуется как признак, сцепленный с Y-хромосомой, с полным проявлением к 17 годам. Определите вероятность одновременного появления обеих аномалий у детей в семье, где жена нормальна и гомозиготна, а муж имеет обе аномалии, но мать его была нормальной гомозиготной женщиной.

207. У кур полосатая окраска оперения определяется доминантным, сцепленным с полом геном **B**, черная - геном **b**; темная окраска кожи зависит от аутосомного гена **S**, белая - от гена **s**, розовидный гребень зависит от аутосомного гена **R**, листовидный - от гена **r**. Аутосомный ген **C** в гетерозиготном состоянии обуславливает коротконогость, а в гомозиготном - имеет летальный эффект, рецессивные гомозиготы по данному гену имеют нормальную длину ног.

1) Петух, гетерозиготный по всем четырем аллелям скрещивается с чер-

ной белокожей курицей, имеющей листовидный гребень и нормальную длину ног. Какую долю среди потомков составят особи, имеющие признаки исходных кур?

2) Полосатый белокожий петух с листовидным гребнем и короткими ногами скрещивается с черной белокожей курицей с листовидным гребнем и нормальными ногами. Какими могут быть потомки первого поколения от этого скрещивания?

3) Черного темнокожего петуха с розовидным гребнем скрестили с полосатой темнокожей курицей с листовидным гребнем. Оба родителя коротконогие, среди цыплят 6 полосатых темнокожих петушков, 2 полосатых белокожих петушка, 5 черных темнокожих курочек, 2 черные белокожие курочки. Все цыплята с розовидным гребнем. Каковы генотипы родительских особей? Сколько цыплят из 15 родившихся теоретически должны быть коротконожками?

208. У человека способность свертывать язык в трубочку - доминантный аутосомный признак, дальтонизм - рецессивный, сцепленный с полом признак. Здоровые мужчина и женщина, способные свертывать язык в трубочку, имеют здорового сына, не способного свертывать язык в трубочку. Отец женщины страдал дальтонизмом. Какова вероятность того, что у них родится здоровый сын, способный свертывать язык в трубочку.

209. У человека отсутствие потовых желез проявляется как рецессивный, сцепленный с полом признак. Альбинизм обусловлен рецессивным аутосомным геном. У одной супружеской пары, нормальной по этим признакам, родился сын с обеими указанными аномалиями. Каковы генотипы родителей? Какова вероятность того, что их третьим ребенком будет нормальная по обоим признакам девочка?

210. Женщина с группой крови *A* (см. задачу № 14) и с нормальной свертываемостью крови (см. задачу № 192) 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 *O*, Глеб - гемофилик, с группой крови *A*. Известно, что родители женщины были здоровы, мать имела группу крови *O*, а отец - *AB*, у мужчины отец и мать здоровы, их группы крови *A* и *B* соответственно. Объясните, от кого Глеб унаследовал гемофилию. Определите генотипы всех членов семьи.

211. У человека дальтонизм определяется сцепленным с *X*-хромосомой рецессивным геном. Талассемия наследуется как аутосомный доминантный признак и наблюдается в двух формах: у гомозигот тяжелая форма, часто заканчивается смертью, у гетерозигот менее тяжелая. Женщина с нормальным зрением и легкой формой талассемии в браке со здоровым мужчиной, но дальтонином, имеет сына дальтоника с легкой формой талассемии. Какова вероятность рождения следующего сына без аномалии.

212. Кареглазая женщина с нормальным зрением выходит замуж за мужчину с таким же фенотипом. У них родился голубоглазый мальчик с

цветовой слепотой и кареглазая девочка с нормальным зрением. Какова вероятность рождения голубоглазого мальчика с нормальным зрением, если дальтонизм – признак, сцепленный с полом, а голубоглазость – рецессивный аутосомный признак?

213. Потемнение зубов может определяться двумя доминантными генами, один из которых расположен в аутосомах, другой - в X-хромосоме. В семье родителей, имеющих темные зубы, родились дочь и сын с нормальным цветом зубов. Определите вероятность рождения в этой семье следующего ребенка тоже без аномалий, если удалось установить, что темные зубы матери обусловлены лишь геном, сцепленным с X-хромосомой, а темные зубы отца -аутосомным геном, по которому он гетерозиготен.

214. У канареек сцепленный с полом ген **B** определяет зеленую окраску оперения, ген **b** - коричневую. Наличие хохолка зависит от аутосомного гена **C**, его отсутствие - гена **c**. Зеленого самца без хохолка скрещивают с коричневой самкой с хохолком. Получено следующее потомство: 1 самец коричневый хохлатый, 1 коричневый без хохла и 2 зеленые хохлатые самки. Каковы генотипы родителей?

215. Женщина правша с карими глазами и нормальным зрением выходит замуж за мужчину правшу, голубоглазого и дальтоника. У них родилась голубоглазая дочь левша, страдающая дальтонизмом. Какова вероятность того, что следующий ребенок в этой семье будет левшой и дальтоником, если известно, что карий цвет глаз и умение преимущественно владеть правой рукой - доминантные, несцепленные между собой аутосомные признаки, а дальтонизм - рецессивный, сцепленный с X-хромосомой признак? Какой цвет глаз возможен у больных детей?

216. У человека ген, отвечающий за гипертрихоз, передается через Y-хромосому, а полидактилия – доминантный аутосомный признак. В семье, где отец имел гипертрихоз, а мать – полидактилию, родилась нормальная в отношении обоих признаков дочь. Какова вероятность того, что следующий ребенок будет так же без аномалий?

217. Две красноглазые длиннокрылые особи дрозофилы при скрещивании между собой дали следующее потомство: самок – $\frac{3}{4}$ красноглазых длиннокрылых, $\frac{1}{4}$ - красноглазых с зачаточными крыльями; самцов - $\frac{3}{8}$ красноглазых длиннокрылых, $\frac{3}{8}$ белоглазых длиннокрылых, $\frac{1}{8}$ красноглазых с зачаточными крыльями, $\frac{1}{8}$ белоглазых с зачаточными крыльями. Как наследуются признаки? Каковы генотипы родителей?

218. Черепаховая (черная с рыжими пятнами) кошка скрестилась с белым голубоглазым котом. В помете было 6 котят: 1 кошка белая голубоглазая, 1 кошка черепаховая, 1 кошка рыжая, 1 котик белый голубоглазый, 1 котик рыжий и 1 котик черный. Возвратно скрестили отца с черепаховой дочерью и получили трех белых голубоглазых котят, одного рыжего самца и одну трехцветную 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. Определите генотипы родителей и потомков всех рассмотренных скрещиваний.

219. При скрещивании самки дрозофилы с полосковидными глазами и черной окраской тела с самцами дикого типа все потомство первого поколения имеет полосковидной формы глаза и серое тело, а во втором поколении наблюдали расщепление: самки - $\frac{3}{4}$ с полосковидными глазами и серым телом, $\frac{1}{4}$ с полосковидными глазами и чёрным телом; самцы - $\frac{3}{8}$ с полосковидными глазами и серым телом, $\frac{3}{8}$ с круглыми глазами и серым телом, $\frac{1}{8}$ с полосковидными глазами и черным телом, $\frac{1}{8}$ с круглыми глазами и черным телом. Как наследуются признаки?

220. От скрещивания белого самца аквариумной рыбки медаки с коричневой самкой в первом поколении все самцы и самки оказались коричневыми, а во втором поколении - 248 коричневых, 57 голубых, 53 красных и 21 белых. Пол определить у этих рыбок удастся не раньше, чем в годовалом возрасте. Через год среди выживших рыб распределение их по полу и окраске оказалось следующее: самки - 147 коричневых и 35 красных; самцы - 73 коричневых, 56 голубых, 20 красных и 19 белых. Как наследуется признак? Определите генотипы исходных рыб. Что получится, если скрестить гомозиготного коричневого самца с белой самкой?

221. При скрещивании курчавоперого петуха с зелеными ногами с курами, имевшими нормальное оперение и желтые ноги, в первом поколении все петушки оказались курчавоперыми с желтыми ногами, а курочки - курчавоперыми с зелеными ногами. Во втором поколении появились петушки и курочки четырех фенотипов: 73 курчавоперые с желтыми ногами, 71 курчавоперые с зелеными ногами, 21 с нормальным оперением и желтыми ногами, 18 с нормальным оперением и зелеными ногами. Как наследуются признаки? Каковы генотипы исходных птиц? Какой результат можно ожидать в первом и втором поколениях обратного скрещивания?

222. Скрещивается белая курица с бурым петухом. В первом поколении все цыплята черные, а во втором поколении получено следующее расщепление: среди петушков 61 черных и 19 бурых, среди курочек 10 бурых, 32 черных и 41 белых. Как наследуется окраска оперения у кур?

3.4. Наследование зависимых от пола и ограниченных полом признаков

223. У мужчин аутосомный ген лысости выступает как доминантный, а у женщин он рецессивен. Кареглазый лысый мужчина, отец которого не имел лысины и был голубоглазым, женился на голубоглазой женщине, отец и все братья которой были лысые. Каков вероятный фенотип детей от этого брака?

224. У айрширской породы крупного рогатого скота окраска пятен на теле обуславливается одной парой аллелей. При генотипе *MM* пятна обоих

полов черные, а при генотипе *mm* - пятна бурые. От скрещивания коровы с бурыми пятнами и быка с черными пятнами родилось 6 телят, из них три бычка с черными и три телочки с бурыми пятнами на теле. В реципрокном скрещивании родилось 5 телят: 2 самки с бурыми пятнами и 3 самца с черными. Во втором поколении при скрещивании бычка первого поколения из первой группы с коровами из второй было получено расщепление: 7 бычков с черными пятнами, 2 бычка с бурыми, 3 телочки с черными и 9 телочек с бурыми. Как наследуется окраска пятен на теле айрширского скота? Напишите генотипы особей, участвовавших в скрещиваниях.

225. У овец белая окраска шерсти доминирует над черной, рогатость доминирует над комолостью у самцов, но рецессивна у самок.

1) В скрещивании от рогатого черного барана и рогатой белой ярки родилась рогатая черная ярка. Каковы генотипы исходных животных?

2) Рогатый белый баран скрещивался с четырьмя ярками (№1-4). При скрещивании его с комолой черной яркой № 1 родилась рогатая белая ярка, при скрещивании с комолой белой яркой № 2 - комолой черная ярка, при скрещивании с рогатой черной яркой № 3 - рогатая белая ярка, при скрещивании с комолой белой яркой № 4 - комолый черный ягненок и рогатая белая ярка. Каковы генотипы всех родителей? Каких ещё потомков можно ожидать от дальнейших скрещиваний этого барана с ярками № 1 и № 3?

3) Рогатый черный баран, скрещенный с комолой белой яркой, дал следующее потомство: самцов - $\frac{3}{8}$ рогатых белых, $\frac{3}{8}$ рогатых черных, $\frac{1}{8}$ комолых белых и $\frac{1}{8}$ комолых черных; самок - $\frac{1}{8}$ рогатых белых, $\frac{1}{8}$ рогатых черных, $\frac{3}{8}$ комолых белых и $\frac{3}{8}$ комолых черных. Каковы генотипы исходных животных?

226. У дорсетской породы овец самки и самцы имеют рога, но у баранов они гораздо крупнее. Особи обоих полов у другой породы овец - суффольской - комолые. При скрещивании между собой представителей этих двух пород все особи мужского пола оказываются рогатыми, а самки комолыми. При возвратном скрещивании самца из первого поколения с яркой дорсетской породы все бараны оказались рогатыми, а у ярок наблюдалось расщепление рогатых и комолых в соотношении 1:1. В возвратном скрещивании барана из первого поколения с яркой суффольской породы все самки оказались комолыми, а у самцов наблюдалось расщепление комолых и рогатых в соотношении 1:1. Какое расщепление по признаку комолости следует ожидать от скрещивания барана из первого поколения с его семью сестрами?

227. У крупного рогатого скота комолость доминирует над рогатостью, окраска контролируется одним геном с неполным доминированием, окраска гетерозиготных животных чалая. Рогатый черный баран, скрещенный с комолой белой яркой, дал следующее потомство: самцов - $\frac{1}{4}$ рогатых белых, $\frac{1}{4}$ рогатых черных, $\frac{1}{4}$ комолых белых и $\frac{1}{4}$ комолых черных; самок - $\frac{1}{2}$ комолых белых и $\frac{1}{2}$ комолых черных. Каковы генотипы исходных животных?

4. СЦЕПЛЕНИЕ И КРОССИНГОВЕР

4.1. Наследование при сцеплении и кроссинговере

228. Самка дрозофилы из линии *cinnabar* (*cn* - ярко-красные глаза) скрещена с самцом из линии *black* (*b* - черное тело). Какое расщепление по фенотипу можно ожидать во втором поколении и анализирующем скрещивании гибридов первого поколения, если расстояние между генами равно 10 сантиморганов?

229. У дрозофилы белые глаза и скомканные крылья обусловлены рецессивными генами, локализованными в половой хромосоме. Расстояние между ними 15% кроссинговера. Каким будет потомство от скрещивания гомозиготной красноглазой длиннокрылой самки дрозофилы с белоглазым комкокрылым самцом? Каким будет потомство от скрещивания самки первого поколения с белоглазым комкокрылым самцом? Каким будет потомство от скрещивания самца первого поколения с белоглазой комкокрылой самкой?

230. У дрозофилы доминантный ген, определяющий «лопастную» форму глаз, располагается в той же аутосоме, что и рецессивный ген укороченности тела. Гомозиготную самку с укороченным телом и «лопастными» глазами скрестили с нормальным самцом. Какими окажутся гибриды первого поколения, и каким будет потомство второго поколения, если расстояние между генами равно 0,5 % кроссинговера?

231. У человека локус резус-фактора сцеплен с локусом, определяющим форму эритроцитов, и находится от него на расстоянии 3 процента кроссинговера. Резус-положительность и эллиптоцитоз определяются доминантными аутосомными генами. Один из супругов гетерозиготен по обоим генам, при этом резус-положительность он унаследовал от одного из родителей, а эллиптоцитоз - от другого. Второй супруг резус-отрицательный и имеет эритроциты нормальной формы. Определите процентные соотношения фенотипов детей в этой семье.

232. Катаракта и полидактилия у человека обусловлены доминантными аутосомными тесно сцепленными (то есть не обнаруживающими кроссинговера) генами. Однако сцепленными могут быть и другие аллели этих двух генов.

1) Женщина унаследовала катаракту от своей матери, а полидактилию от отца. Муж ее нормален в отношении обоих признаков. Чего скорее можно ожидать у их детей одновременного появления катаракты и полидактилии, отсутствия обоих этих признаков или наличие только одной аномалии - катаракты или полидактилии?

2) Какое потомство можно ожидать в семье у родителей, гетерозиготных по обоим признакам, если известно, что матери обоих супругов страдали только катарактой, а отцы - только полидактилией?

3) Какое потомство можно ожидать в семье, где муж нормален, а жена гетерозиготна по обоим признакам, если известно, что мать жены также страдала обеими аномалиями, а отец ее был нормален?

233. У дрозофилы во второй хромосоме в локусе 48,5 находится ген черного цвета тела, а в локусе 54,5 - ген пурпурного цвета глаз. Оба гена рецессивны. В X-хромосоме в локусе 51,5 расположен рецессивный ген, определяющий увеличенные размеры фасеток глаз. Определите вероятные фенотипы потомства от возвратного скрещивания гетерозиготной по всем генам самки, полученной от скрещивания самки из линии дикого типа с рецессивным тригомозиготным самцом.

234. В опытах на крысах установили, что расстояние между генами *Cu* и *s* равно 43,5% кроссинговера, между *Cu* и *b* - 45,2 %, между *s* и *b* - 7% кроссинговера. Определите точное расстояние между генами *Cu* и *b*. Определите вероятные фенотипы потомков от скрещивания гетерозиготной по всем генам самки с самцом, имеющим рецессивный тригомозиготный генотип.

235. У кукурузы ген скрученных листьев и ген карликовости находятся в третьей хромосоме на расстоянии 18 сантиморганов. Оба гена рецессивны. Ген устойчивости к ржавчине и ген узких листьев находятся в десятой хромосоме на расстоянии 24 сантиморганов. Оба гена доминантные.

1) Гибридное по всем четырем генам растение, полученное от скрещивания доминантной и рецессивной тетрагомозигот, скрещивается с рецессивным по всем четырем признакам растением. Какое потомство можно ожидать от этого скрещивания?

2) Гибридное по генам скрученности листьев и карликовости, неустойчивое к ржавчине и широколистное растение скрещивалось с гетерозиготным по генам устойчивости к ржавчине и ширине листьев, карликовым, имеющим скрученные листья растением. Оба растения были получены от скрещивания гомозиготных форм. Какое потомство можно ожидать от этого скрещивания?

236. У человека гены гемофилии и дальтонизма расположены в X-хромосоме на расстоянии 9,8 сантиморганов. Оба гена рецессивны. Ген синдрома дефекта ногтей и коленной чашечки находится в аутосоме, а на расстоянии 10 морганид от него расположен ген, определяющий группы крови по системе *ABO* (см. задачу № 14). Ген синдрома дефекта ногтей и коленной чашечки доминантен.

1) Женщина с группой крови *AB* и гетерозиготная по остальным анализируемым признакам выходит замуж за мужчину с группой крови *O* и нормального по всем остальным анализируемым признакам. Определите вероятность рождения в семье детей без исследуемых заболеваний и их группы крови, если известно, что отец женщины страдал одновременно гемофилией и цветовой слепотой, имел дефект ногтей и группу крови *A*.

2) Женщина с группой крови *A* и гетерозиготная по остальным анализируемым признакам выходит замуж за мужчину с группой крови *B*, дальто-

ника и нормального по всем остальным анализируемым признакам. Определите вероятность рождения детей в этой семье без анализируемых заболеваний и их группы крови, если известно, что у матерей супругов была группа крови *O* и обе страдали только цветовой слепотой.

237. У кукурузы мучнистость эндосперма доминирует над восковидностью, фиолетовая окраска проростков – над зеленой. Гены, контролирующие эти признаки, локализованы в 9 хромосоме, расстояние между ними – 12% кроссинговера. Какой фенотип и генотип будут иметь растения первого поколения от скрещивания гомозиготных растений с мучнистым эндоспермом и зеленой окраской проростков с растением, имевшим восковидный эндосперм и фиолетовые проростки? Какое расщепление по фенотипу вы ожидаете получить во втором поколении этого скрещивания?

238. У томатов высокий рост стебля доминирует над карликовым, шаровидная форма плодов - над грушевидной. Скрещено гомозиготное высокое растение с шаровидными плодами с гомозиготным карликовым, имеющим грушевидные плоды. Во втором поколении получено расщепление на 1650 высоких растений с шаровидными плодами, 230 высоких с грушевидными плодами, 220 карликовых с шаровидными плодами, 400 карликовых с грушевидными плодами. Объясните полученные результаты. Каким будет потомство возвратного скрещивания с растением, имеющим карликовый рост и грушевидные плоды?

239. У гороха стелющаяся форма стебля доминирует над кустистой, окрашенные цветки над белыми. При скрещивании растений гороха со стелющимися окрашенными цветками с кустистыми белыми цветками, все потомки первого поколения были стелющимися с белыми цветками. Во втором поколении этого скрещивания 15% составили кустистые растения с белыми цветками. Определите вероятностные генотипы и фенотипы потомков второго поколения.

240. Для скрещивания были взяты дрозофилы: нормальная самка и самец с желтым телом, обрезанными крыльями и гранатовыми глазами. В первом поколении были получены 4 класса мух: самки дикого типа, самки с обрезанными крыльями, самцы дикого типа и самцы с обрезанными крыльями. Если желтое тело - признак рецессивный по отношению к серому, гранатовые глаза - по отношению к темно-красным, а обрезанные крылья - по отношению к длинным и все три гена *y*, *gn*, *ct*, локализованы в X-хромосоме, каковы наиболее вероятные генотипы родительских форм?

241. От скрещивания самцов дрозофилы с темно-коричневыми глазами и волосатым телом (оба признака рецессивные) с самками дикого типа в первом поколении все мухи были дикого типа. В возвратном скрещивании самок из первого поколения с исходным самцом получили расщепление: 1264 мухи дикого типа, 8 – с красными глазами и волосатым телом, 5 – с темно-коричневыми глазами и нормальным телом и 1277 – с темно-коричневыми глазами и волосатым телом. Определите генотипы исходных мух и гибри-

дов первого поколения, если гены сцеплены. Какое расщепление вы ожидаете получить в потомстве от скрещивания гибридов первого поколения между собой?

242. Гладкая форма семян кукурузы доминирует над морщинистой, окрашенные семена доминирует над неокрашенными. Оба признака сцеплены. При скрещивании растений 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. Какое расщепление по фенотипу получится при самоопылении окрашенных гладких потомков?

243. У томата высокий рост растения доминирует над низким, гладкий эпидермис – над шероховатым. От скрещивания двух растений получили расщепление: 208 высоких гладких, 9 высоких шероховатых, 6 низких гладких, 195 низких шероховатых растений. Объясните расщепление. Определите генотипы исходных растений и их фенотип.

244. 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 красноглазых - 25, светлых розовоглазых - 24, темных розовоглазых - 26. Определите расстояние между генами.

245. Два дигетерозиготных медленно оперяющихся петуха с серебристым окрасом были скрещены с быстро оперяющимися золотистыми курами. В первом скрещивании получили 70 медленно оперяющихся серебристых потомков, 28 медленно оперяющихся золотистых, 21 быстро оперяющихся серебристых и 59 быстро оперяющихся золотистых. Во втором скрещивании получили 12 медленно оперяющихся серебристых потомков, 29 медленно оперяющихся золотистых, 26 быстро оперяющихся серебристых и 9 быстро оперяющихся золотистых. Как наследуются признаки? Объясните результаты скрещиваний и разницу между ними.

246. Растение китайской примулы с коротким пестиком и кремовой окраской цветков, скрещенное с растением, имеющим длинный пестик и красную окраску цветков, дало в потомстве первого поколения растения с коротким пестиком и кремовыми цветками, которые были возвратно скрещены с растением, имеющим длинный пестик и красные цветки. В потомстве от этого скрещивания около 46% растений имели короткий пестик и кремовые цветки, 5% - короткий пестик и красные цветки, 43% - длинный пестик и красные цветки, 6% - длинный пестик и кремовые цветки. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных растений.

247. Растение кукурузы с мучнистым эндоспермом семени и фиолетовой окраской проростков скрещенное с растением, имеющим семена с восковидным эндоспермом и зелеными проростками, дало в первом поколении

потомство с мучнистым эндоспермом семян и фиолетовой окраской проростков. В возвратном скрещивании с родителем, имеющим восковидный эндосперм семени и зеленые проростки, около 6% составили растения с мучнистым эндоспермом семени и зелеными проростками. Как это можно объяснить?

248. При скрещивании самок дрозофилы с серым телом и нормальными щетинками с самцом, имеющим желтое тело и расщепленные щетинки, в первом поколении и самцы, и самки имеют серое тело и нормальные щетинки. В потомстве первого поколения обратного скрещивания наблюдали крисс-кросс-наследование, а во втором поколении обратного скрещивания получили многочисленное потомство, среди которого 3% особей имели серое тело и расщепленные щетинки, и желтое тело и нормальные щетинки. Как это можно объяснить?

249. От скрещивания растения душистого горошка с синими цветками и продолговатой пыльцой с растением, имеющим красную окраску цветков и округлую пыльцу, все потомки первого поколения имели синие цветки и продолговатую пыльцу. Во втором поколении было обнаружено 4 типа потомков: 1528 растений с синими цветками и продолговатой пыльцой, 106 растений с синими цветками и округлой пыльцой, 117 растений с красными цветками и продолговатой пыльцой, 381 растение с красными цветками и округлой пыльцой. Как наследуются признаки? Определите генотипы родителей и потомков.

250. От скрещивания белых кур без хохла с черными хохлатыми петухами в первом поколении все цыплята оказались белыми хохлатыми, а во втором поколении произошло расщепление на 5005 белых хохлатых, 2505 белых без хохла, 2460 черных хохлатых, 30 черных без хохла. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных птиц и гибридов первого поколения. Какое расщепление вы ожидаете получить в анализирующем скрещивании, и каких птиц вы предлагаете использовать для этого?

251. При скрещивании душистого горошка с усами и яркой окраской цветков с растениями без усов, имеющими бледную окраску цветков, в первом поколении все растения были с яркими цветками и усами. Во втором поколении было получено 424 растения с яркими цветками и усами, 102 – с яркими цветками и без усов, 99 – с бледными цветками и усами, 89 – с бледными цветками и без усов. При скрещивании яркоцветковых растений без усов с растениями, имеющими бледные цветки и усы, гибриды первого поколения были такими же, как и в первом поколении, а во втором поколении было получено 797 растений с яркими цветками и усами, 298 – бледноцветковых с усами, 300 – яркоцветковых без усов и 37 – бледноцветковых без усов. Объясните расщепления. Как наследуются эти признаки?

252. Куры с длинными ногами и простым гребнем при скрещивании с петухом - коротконожкой с розовидным гребнем, получившим коротконогость от отца, а розовидный гребень - от матери, дали следующее потомст-

во: 15 коротконогих с розовидным гребнем, 103 коротконогих с простым гребнем, 89 длинноногих с розовидным гребнем, 12 длинноногих с простым гребнем. Как наследуются признаки?

253. Белый короткошерстный кролик с извитыми усами скрещивался с крольчихой, имеющей черную нормальной длины шерсть и прямые усы. В первом поколении все крольчата черные с нормальной шерстью и прямыми усами. Во втором поколении наблюдали расщепление на 11 белых с нормальной шерстью и прямыми усами, 10 черных короткошерстных с извитыми усами, 3 белых короткошерстных с извитыми усами и 29 черных с нормальной шерстью и прямыми усами. Как наследуются анализируемые признаки?

254. В первом поколении от скрещивания серебристых рябых кур с золотистыми нерябкими петухами получили 34 золотистых нерябких курицы и 29 серебристых рябых петухов. Петухов из первого поколения скрестили с курами из первого поколения. В потомстве от этого скрещивания были получены петухи и куры четырех фенотипов: 282 серебристых рябых, 206 золотистых рябых, 226 серебристых нерябких и 266 золотистых нерябких. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных птиц и петухов первого поколения.

4.2. Локализация гена

255. А. Мюнтцинг [12] приводит хромосомные карты кукурузы по всем десяти группам сцепления. В одной из них расположены локусы генов, обозначенных: полосатые листья - *sr*, устойчивость к кобылкам-аг, мужская стерильность - *ms*, окраска стержня початка - *P*. Ген устойчивости к кобылкам (*ag*) дает 11% кроссоверных гамет с геном мужской стерильности (*ms*), 14% с геном окраски стержня початка (*P*) и 24% с геном полосатых листьев (*sr*). В свою очередь ген *ms* с геном *P* дает 3% кроссинговера, а с геном *sr* - 25%. Постройте хромосомную карту и определите место положения каждого локуса.

256. В опытах на крысах выявлено, что расстояние между генами *Cu* и *s* равно 43,5% кроссинговера, между генами *Cu* и *b* — 45,2%, между генами *s* и *b* - 7%. Постройте этот участок карты группы сцепления. Соблюдается ли в данном случае закон аддитивности. Какие данные нужно иметь, чтобы более точно определить расстояние между крайними генами на рассматриваемом участке?

257. Ниже приведены данные по перекресту между генами *black* - *b*, *curved* - *cu*, *purple* - *pr*, *speck* - *sp*, *Star* - *S* и *vestigial* - *vg*, которые локализованы во второй хромосоме дрозофилы. На основании приведенных ниже данных постройте хромосомную карту по этим шести генам. Помните, что определение расстояний на коротких отрезках точнее, чем на длинных отрезках хромосом.

Гены	Всего мух	Кроссоверов, %	Гены	Всего мух	Кроссоверов, %
<i>b - cu</i>	62679	22,7	<i>cu - vg</i>	1720	8,2
<i>b - pr</i>	48931	6,2	<i>pr - sp</i>	11985	46,0
<i>b - sp</i>	685	47,0	<i>pr - S</i>	8155	43,0
<i>b - S</i>	16507	37,0	<i>pr - vg</i>	13601	12,0
<i>b - vg</i>	20153	17,0	<i>sp - S</i>	7135	48,0
<i>cu - pr</i>	51136	20,0	<i>sp - vg</i>	2054	36,0
<i>cu - sp</i>	10042	30,0	<i>S - vg</i>	450	43,0
<i>cu - S</i>	19870	46,0			

258. У *Drosophila melanogaster* известны четыре группы сцепления. Расположение локусов в них приведено Н.Н. Медведевым [10] в таблице мутантных генов. Ниже даны упрощенные сведения по трем группам сцепления. Постройте по ним карты групп сцепления.

1) В X-хромосоме расположены гены, определяющие следующие признаки: *b* - длина щетинок, *cb* - форма крыльев (скомканные или расправленные), *cv* - развитие поперечной жилки крыла, *dy* - цвет крыльев, *ec* - размер фасеток глаза, *hw* - развитие добавочных щетинок на крыле, *oc* - развитие простых глазков, *s* —цвет тела, *sn* - форма щетинок и волосков на теле.

Многочисленными опытами установлено, что в X-хромосоме ген *cv* дает перекресты с геном *ec* в 8,2% случаев, с геном *hw* в 13,7% случаев, с геном *cb* - 2,3%, с геном *sn* - 7,3%. Ген *hw* с геном *ec* образует 5,5% кроссоверных гамет, с геном *cb* - 16%. Ген *cb* с геном *sn* дает 5% кроссинговера, с геном *oc* - 7,1%. Между геном *sn* и геном *oc* обмен участками происходит в 2,1% гамет, между *sn* и *dy* - 15,2%, между *sn* и *s* - 22%. Ген *b* с геном *s* образуют 23% гамет с перекрестом, с геном *dy* - 29,8%, с геном *oc* — 42,9%.

2) Во второй хромосоме находятся гены, ответственные за признаки: *ap* - развитие жужжалец, *al* - развитие щетинки усиков, *d* - число члеников на лапках, *dp* — рельеф поверхности грудных склеритов, *pys* - развитие добавочных жилок на крыле, *sm* - развитие волосков на брюшке, *sp* - число щетинок на боковых склеритах груди.

О генах второй хромосомы известно, что ген *dp* дает 9% кроссоверных гамет с геном *sp*, 13% с геном *al* и 18% с геном *d*. Ген *sp* с геном *al* образует 22% перекреста, с геном *d* — 9% и с геном *pys* - 30%. В свою очередь, ген *pys* образует 21% гамет с перекрестом с геном *d*, 3,4% с геном *ap* и 39,5% с геном *sm*. Ген *ap* дает 36,1% кроссинговера с геном *sm* и 24,4% с геном *d*.

3) В третьей хромосоме находятся гены следующих признаков: *bd* - характер прерывистости основной жилки крыла, *cu* - форма крыльев (прямые или загнутые на концах), *dl* - форма жилок на крае крыла, *dv* - положение крыльев, *fz* - положение щетинок на груди, *h* - развитие добавочных щетинок на щитке, *sz* - развитие темной полосы на среднеспинке.

Для третьей хромосомы установлено, что ген *cu* образует кроссоверных гамет с геном *fz* 6%, с геном *sz* - 12%, с геном *dl* - 16,2%, с геном *bd* - 43,8%.

Ген *sz* дает с геном *dl* 4,2% обменявшихся участками гамет, с геном *bd* - 31,8%, с геном *fz* — 16%. Ген *h* образует перекрест с геном *fz* в 17,5% случаев, с геном *cu* - 23,5%, с геном *dv* — 6,5%. Между генами *dv* и *fz* перекрест происходит в 24% случаев.

259. Имеется карта двух участков X-хромосомы человека. В одном участке сцеплены гены сыворотки крови (*Xm*), двух форм цветовой слепоты - дейтеранопии (*d*) и протанопии (*p*), классической гемофилии (*h*) и ген дефицита глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (*G*). В другом участке сцеплены гены группы крови (*Xg*), глазного альбинизма (*a*), ихтиоза (*i*) и ангиокератомы (*ac*).

Для первого участка известно, что ген *Xm* дает 7% кроссоверных гамет с геном *d*, 11% - с геном *G* и 16% - с геном *p*. Ген *G* дает 4% перекреста с геном *d*, 5% - с геном *p* и 3% - с геном *h*. Ген *h* дает 12% кроссинговера с геном *d*.

Для второго участка X-хромосомы установлено, что гены *Xg* и *ac* образуют 28% кроссинговерных гамет, *Xg* и *i* - 11%, *Xg* и *a* - 18%, *a* и *ac* - 10%, *i* и *a* - 7%. Постройте карты обоих участков X-хромосомы человека.

260. Установлено, что гены сцеплены и расположены в хромосоме в следующем порядке *A-B-C*. Расстояние между генами *A* и *B* - 10% кроссинговера, между генами *B* и *C* - 12%. Коэффициент коинциденции равен 0,5. Каково ожидаемое соотношение фенотипов в потомстве анализирующего скрещивания (в %) растения с генотипом *ABc/abC*?

261. Гены *A*, *B*, *C* локализованы в одной хромосоме в указанном порядке. Расстояние между генами *A* и *B* - 8 сМ, между генами *B* и *C* - 10%. Какое потомство получится при скрещивании гомозиготной особи *ABC* с гомозиготной особью *abc* и при скрещивании гибридов первого поколения с исходной особью *abc*?

262. Гены *A*, *B* и *C* локализованы в одной хромосоме в указанном порядке. Процент перекреста между *A-B* равен 20, между *B-C* равно 10. Коэффициент коинциденции равен 0,5. Особь, гомозиготная по *ABC*, скрещена с особью гомозиготной по *abc*. Какие гаметы будут образовываться у особей первого поколения и с какой частотой? Каково будет соотношение фенотипов в потомстве возвратного скрещивания гибридов первого поколения с особью *abc*? Какие особи будут являться двойными кроссоверами?

263. При скрещивании стелющихся, опушенных, белоцветковых растений гороха с кустистыми, голыми растениями, имеющими окрашенные цветки, все растения из первого поколения оказались стелющимися, опушенными и имели окрашенные цветки. При скрещивании такого растения из первого поколения с кустистым, голым, белоцветковым растением было получено 63 потомка стелющихся, опушенных с окрашенными цветками, 207 - стелющихся, опушенных с белыми цветками, 65 - стелющихся, голых с окрашенными цветками, 210 - стелющихся, голых с белыми цветками, 213 - кустистых, опушенных с окрашенными цветками, 67 - кустистых, опу-

шенных с белыми цветками, 208 - кустистых, голых с окрашенными цветками, 70 - кустистых, голых с белыми цветками. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных растений.

264. У кукурузы позеленение проростков, глянецвитость и варьирующая стерильность обусловлены тремя рецессивными генами. В анализирующем скрещивании тригетерозиготы были получены следующие результаты: 235 потомков со светлыми неглянецвитыми проростками и нормальной фертильностью, 40 - со светлыми проростками, неглянецвитыми всходами и варьирующей стерильностью, 7 - со светлыми проростками, глянецвитыми всходами, нормальной фертильностью, 62 - со светлыми проростками, глянецвитыми всходами и варьирующей стерильностью, 60 - с зеленеющими проростками, неглянецвитыми всходами, нормальной фертильностью, 4 - с зеленеющими проростками, неглянецвитыми всходами, с варьирующей стерильностью, 48 - с зеленеющими проростками, глянецвитыми всходами и нормальной фертильностью, 270 - с зеленеющими проростками, глянецвитыми всходами и с варьирующей стерильностью. Определите генотип гетерозиготы. Если гены сцеплены, то определите расстояние между ними и порядок их расположения в хромосоме. Проверьте, есть ли интерференция.

265. При скрещивании растений китайской примулы с коротким пестиком, фуксиновыми цветками и зеленым рыльцем с растением, имевшим длинный пестик, красные цветки и красное рыльце, в первом поколении все растения имели короткий пестик, фуксиновые цветки и зеленые рыльца. Растения первого поколения возвратно скрестили с растениями, имеющими длинный пестик, красные цветки и красное рыльце. В результате этого скрещивания было получено следующее потомство: 1063 растения с коротким пестиком, фуксиновыми цветками и зеленым рыльцем, 634 - с коротким пестиком, фуксиновыми цветками и красным рыльцем, 39 - с коротким пестиком, красными цветками и зеленым рыльцем, 156 - с коротким пестиком, красными цветками и красным рыльцем, 180 - с длинным пестиком, фуксиновыми цветками и зеленым рыльцем, 54 - с длинным пестиком, фуксиновыми цветками и красным рыльцем, 526 - с длинным пестиком, красными цветками и зеленым рыльцем, 1032 - с длинным пестиком красными цветками и красным рыльцем. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных форм и потомства первого поколения. Если гены сцеплены, определите расстояние между ними и порядок их расположения в хромосоме.

266. У томатов опушенность доминирует над отсутствием опушенности, узловатость стебля - над гладкостебельностью, устойчивость к *Cladosporium* - над чувствительностью. Гомозиготные опушенные, с узловатым стеблем чувствительные растения были скрещены с гомозиготными неопушенными, гладкостебельными, устойчивыми растениями. Гибриды первого поколения были использованы в анализирующем скрещивании, в котором получено следующее расщепление: 342 растения опушенных, с узловатым стеблем, чувствительных, 80 - опушенных, с узловатым стеблем,

устойчивых, 11 - опушенных, гладкостебельных, чувствительных. 84 - опушенных, гладкостебельных, устойчивых, 78 - неопушенных, с узловатым стеблем, чувствительных, 7 - неопушенных, с узловатым стеблем, устойчивых, 72 - неопушенных, гладкостебельных, чувствительных, 326 - неопушенных, гладкостебельных, устойчивых. Каков характер наследования признаков? Если гены сцеплены, определите расстояние между ними и порядок их расположения в хромосоме.

267. При скрещивании растений кукурузы, имеющей зеленые всходы, зеленые листья, без лигулы, с растениями, имеющими золотистые всходы, темно-зеленые листья, с лигулой, в первом поколении получили растения с зелеными всходами, темно-зелеными листьями, без лигул. Растения первого поколения скрестили с анализатором. Результаты этого анализирующего скрещивания следующие: 22 зеленые всходы, темно-зеленые листья, без лигулы; 275 зеленые всходы, зеленые листья, без лигулы; 74 зеленые всходы, темно-зеленые листья, с лигулой; 128 зеленые всходы, зеленые листья, с лигулой; 112 золотистые всходы, темно-зеленые листья, без лигулы; 66 золотистые всходы, зеленые листья, без лигулы; 305 золотистые всходы темно-зеленые листья, с лигулой; 18 золотистые всходы, зеленые листья, с лигулой. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных растений, растений первого поколения и анализатора.

268. При скрещивании самок дрозофилы с белыми глазами, вильчатыми щетинками и уменьшенными крыльями с самцами, имевшими красные глаза, нормальные щетинки и нормальные крылья, в первом поколении получили самок с красными глазами, нормальными щетинками и нормальными крыльями и белоглазых самцов с вильчатыми щетинками и уменьшенными крыльями. Во втором поколении было получено следующее расщепление среди самок и самцов: 138 с красными глазами, вильчатыми щетинками, нормальными крыльями, 262 - с красными глазами, вильчатыми щетинками, уменьшенными крыльями, 542 - с красными глазами, нормальными щетинками и нормальными крыльями, 68 - с красными глазами, нормальными щетинками, уменьшенными крыльями, 64 - с белыми глазами, вильчатыми щетинками, нормальными крыльями, 530 - с белыми глазами, вильчатыми щетинками и уменьшенными крыльями, 266 - с белыми глазами, нормальными щетинками, нормальными крыльями, 130 - с белыми глазами, нормальными щетинками, уменьшенными крыльями. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных форм. Если гены сцеплены, то определите силу сцепления между ними и порядок их расположения в хромосоме. Проверьте, имеет ли место интерференция.

269. При скрещивании самок дрозофилы с желтым цветом тела, киноварной окраской глаз и обрезанными крыльями с самцами дикого типа в первом поколении все самки оказались дикого типа, а самцы - желтые с киноварными глазами и обрезанными крыльями, а во втором поколении самцы и самки дали следующее расщепление: 1781 дикого типа, 53 - с серым

телом, с красными глазами и обрезанными крыльями, 296 - с серым телом, с киноварными глазами и нормальными крыльями, 470 - с серым телом, с киноварными глазами и обрезанными крыльями, 442 - с желтым цветом тела, с красными глазами, нормальными крыльями, 265 - с желтым цветом тела, с красными глазами и обрезанными крыльями, 48 - с желтым цветом тела, с киноварной окраской глаз и нормальными крыльями, 1712 - с желтым цветом тела, с киноварной окраской глаз и обрезанными крыльями. Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных мух и потомков первого поколения. Если гены сцеплены, определите расстояние между генами и порядок их расположения в хромосоме.

5. ГЕНЕТИКА ПОПУЛЯЦИЙ

270. Проводя апробацию табака установили частоту доминантного гена устойчивости к черной корневой гнили ($p = 0,98$). Определите генотипическую и фенотипическую структуру популяции табака.

271. У подсолнечника наличие панцирного слоя в семянке доминирует над беспанцирностью. При апробации установлено: беспанцирных семян 9%, остальные панцирные. Определите генетическую структуру популяции.

272. У дикорастущей земляники красная окраска ягод доминирует над розовой и наследуется аутосомно моногенно. Определите частоту встречаемости аллелей гена окраски и генотипическую структуру популяции, если в ней 84% растений имеют красную окраску ягод.

273. В одной панмиктической популяции частота аллели b равна 0,1, а в другой – 0,9. В какой популяции больше гетерозигот?

274. Частота рецессивного аутосомного гена длинной шерсти ($l l$ – пушистые кошки) у кошек в Среднем Поволжье составляет 0,56, а на Дальнем Востоке – 0,23. Какова вероятность встретить пушистую кошку в Казани и Владивостоке? А гладкошерстную?

275. У кошек частота кодоминантного, сцепленного с полом гена O , обуславливающего рыжую окраску шерсти (см. задачу № 177), составляет в Лондоне 0,19. Какой процент должны составлять черепаховые кошки от всего кошачьего населения Лондона? А черные коты?

276. У человека группы крови по системе MN определяются двумя аллелями аутосомного гена L . Аллель L^M обуславливает наличие антигена M , аллель L^N - антигена N . в крови гетерозигот присутствуют оба антигена. Частоты гена L^M среди различных групп населения составляют: эскимосы восточной Гренландии - 91,3 %, негры США - 53,2%, айны - 43,0%, индейцы США - 77,6%, австралийские аборигены - 17,8%. Определите генетическую структуру данных популяций.

277. Среди белого населения Северной Америки доля рецессивных индивидуумов (рецессивный аутосомный признак) со-

ставляет 15%. Предположив, что выбор супругов не определяется антигенами их крови, вычислите вероятность того, что резус-отрицательная девушка станет женой: а) $Rh Rh?$ б) $Rh rh?$ в) $rh rh?$

278. У крупного рогатого скота породы шортгорн красная масть неполно доминирует над белой. Гибриды от скрещивания красных с белыми имеют чалую масть. В районе, специализирующемся на разведении шортгорнов, зарегистрировано 4169 красных животных, 3780 чалых и 756 белых. Определите частоту генов красной и белой окраски скота в данном районе.

279. При определении групп крови по системе MN (см. задачу № 276) в городе обнаружено, что среди 4200 человек 1218 имеют группу крови M , 882 человека - группу N и 2100 человека - MN . Определите частоту аллелей данного гена.

280. На одном из островов было отстреляно 10000 лисиц, из них оказалось 9991 рыжая и 9 белых особей. Определите генетическую структуру данной популяции лисиц, если рыжая окраска шерсти доминирует над белой.

281. Алкаптонурия наследуется как аутосомный рецессивный признак. Заболевание встречается с частотой 1:100000. Определите число носителей мутантной аллели на 1 млн. населения.

282. Глухонмота у человека связана с врожденной глухотой, которая препятствует нормальному усвоению речи. Признак аутосомный рецессивный. Средняя частота заболевания колеблется по разным странам. Для европейских стран она равна приблизительно 2:10000. Определите возможное число гетерозиготных по глухонмоте людей в районе, включающем 8000000 жителей.

283. В одном из американских городов в части, представляющей изолят из итальянских переселенцев, в период с 1928 г. по 1942 г. среди 26000 новорожденных 11 оказались с тяжелой формой талассемии - генотип TT [16]. Определите число гетерозигот в изученной популяции.

284. В популяции мышей в течение одного года родилось 2% альбиносов (рецессивный аутосомный признак). Определите частоты аллелей и долю гетерозигот в третьем поколении данной популяции при условии панмиксии.

285. Группа состоит из 30% особей генотипа AA и 70% генотипа aa . Какое соотношение генотипов установится в первом и втором поколениях в этой популяции при условии панмиксии?

286. В экспериментальной популяции *Drosophila melanogaster* исходно было 100 самок с генотипом bw/bw и 100 самцов с генотипом bw^+/bw^+ . Какими будут частоты генотипов в первом, втором и последующих поколениях, если считать, что скрещивания происходят случайно и все генотипы воспроизводятся одинаково эффективно.

287. Группа состоит из 30 гетерозигот и 1000 доминантных гомозигот. Определите частоты аллелей A и a и частоты генотипов в популяции в следующем поколении при условии панмиксии.

288. В исходный момент популяция обладает следующей генетической структурой по сцепленному с полом локусу:

Самцы: 400 *A*, 600 *aa*;

Самки: 640 *AA*, 320 *Aa*, 40 *aa*.

Считая скрещивания случайными, рассчитайте равновесные частоты всех генотипов.

289. Гаплоглобины двух типов, присутствующие в сыворотке крови человека, определяются двумя аллелями одного локуса. В выборке из 219 жителей Египта число обладателей различных генотипов было следующим:

Генотип	1/1	1/3	3/3
Число	9	135	135

Цифрами 1 и 3 обозначены аллели двух типов. Каковы частоты этих двух аллелей? Исходя из предположения о случайном скрещивании, рассчитайте ожидаемые частоты гетерозигот. С помощью критерия хи-квадрат установите, различаются ли достоверно наблюдаемые и ожидаемые числа гетерозигот в данной выборке.

290. В один сосуд поместили 10 пар дрозофил из линии с зачаточными крыльями (*vg vg*) и 50 пар из линии дикого типа. Каким будет соотношение фенотипов в пятом поколении при условии панмиксии? А если исходное соотношение мух — 50 пар с зачаточными крыльями и 10 пар дикого типа? При скрещивании в пределах линии?

291. Определите генотипическую структуру панмиктической популяции в третьем поколении, если исходное соотношение генотипов было

2*AA*:1 *Aa*:3*aa*. Какой она будет при условии самоопыления?

292. Две популяции имеют следующие генотипические частоты: первая - 0,24*AA*, 0,32*Aa* и 0,44*aa*; вторая - 0,33*AA*, 0,14*Aa* и 0,53*aa*. Каким будет соотношение генотипов через поколение при условии панмиксии и при условии самоопыления?

293. В стаде пятнистых оленей было 1000 животных обоих полов с генотипами: *AA* 500 голов, *Aa* - 400 и *aa* - 100. В него ввели при расселении животных из ближайшего заповедника еще 500 голов со следующей генетической структурой группы: *AA* - 100, *Aa* - 200 и *aa* - 200 животных. Определите, как изменится частота доминантной аллели в смешанной популяции через одно поколение при условии свободного скрещивания всех оленей и отсутствия отбора по данному признаку.

294. В популяции № 1 частота рецессивной аллели равна 20%, в популяции № 2, имеющей такую же численность, частота этой аллели равна 4%. Какой будет частота генотипов, если объединить популяции и в новой популяции будет иметь место панмиксия?

295. В популяции состоящей из 100 млн. людей, 40 тыс. поражено заболеванием, вызываемым рецессивным геном. Если этим лицам воспрепятствовать в воспроизведении потомства и если численность популяции не изменится, то, сколько больных будет в следующем поколении?

296. Изолированная популяция состоит из лиц, имеющих группу крови *M* (см. задачу № 276) В нее вливаются иммигранты, численность которых равна численности коренной популяции. Среди иммигрантов 25% имеют группу крови *N*. В смешанном населении произошли браки со случайным подбором пар, и в следующем поколении установилось равновесие. Определите доли каждой группы крови системы *MN*.

6. АНАЛИЗ РОДОСЛОВНЫХ

297. А.Г. Галачьян [цит. по 3] приводит такие генеалогические сведения о семье А.С.Пушкина.

Отец поэта - Сергей Львович Пушкин был женат на своей троюродной племяннице Надежде Осиповне, урожденной Ганнибал. У них кроме Александра был ещё сын Лев и дочь Ольга. Отец Сергея Львовича - Лев Александрович - состоял в браке дважды. От одной жены, урожденной Воейковой, у него было три сына: Николай, Петр и Александр, от другой жены, урожденной Чичериной, кроме Сергея ещё был сын Василий и две дочери: Анна и Елизавета. У Льва Александровича была сестра Мария. Отец Льва Александровича и Марии Александровны - Александр Петрович Пушкин - состоял в браке с Головиной, а отец Александра Петровича - Петр Петрович Пушкин - был женат на Есиповой. Петр Петрович кроме Александра имел четырех сыновей: Ивана, Леонтия, Илью и Федора и дочь Аграфену. Федор Петрович состоял в браке с Корневой и имел сына Александра, у которого в свою очередь, было два сына - Юрий и Михаил и две дочери - Надежда и Мария. Мария Александровна Пушкина была за Осипом Ганнибалом, а их дочь Надежда Осиповна была женой Сергея Львовича Пушкина и, следовательно, матерью Александра Сергеевича Пушкина.

Составьте родословную семьи Пушкиных по этим данным.

298. Сборник «Воспоминания о Рахманинове» [цит. по 3] не только раскрывает специфику жизни и творчества композитора, но и позволяет подробно восстановить его родословную. Прадедом Сергея Васильевича был Герасим Иевлевич Рахманинов. Сын его Александр Герасимович женился на Марии Аркадьевне, урожденной Бахметьевой. Рано овдовев, Мария Аркадьевна вышла замуж вторично за М.Ф. Мамановича. Сыновья её как от первого, так и от второго брака - Аркадий Александрович Рахманинов и Ф.М. Маманович - унаследовали любовь матери к музыке и были очень талантливы. Аркадий Александрович был женат на Варваре Васильевне, урожденной Павловой. У них было девять детей: Василий, Мария, Варвара, Юлия, Анна, Александр. Имена ещё троих детей в сборнике не упоминаются. Василий Аркадьевич женился на Любове Петровне - дочери генерала Петра Ивановича Бутакова и Софьи Александровны, урожденной Литвиновой. У Василия Аркадьевича и Любове Петровны было шестеро детей: Еле-

на, Владимир, Сергей (будущий композитор), Софья, Варвара и Аркадий. Сестра Василия Аркадьевича - Мария Аркадьевна - вышла замуж за Андрея Ивановича Трубникова. У них было две дочери - Ольга и Анна. Вторая тетка С.В. Рахманинова - Варвара Аркадьевна - была замужем за Александром Александровичем Сатиным. У Сатиных было пятеро детей: Александр, Наталья, Софья, Владимир и Мария. Наталья Александровна в 1902 г. стала женой Сергея Васильевича. Юлия Аркадьевна - третья тетка композитора - была замужем за Ильей Матвеевичем Зилоти. Они имели дочь Варвару и двух сыновей: Александра и Дмитрия. Александр Ильич Зилоти был всего на 10 лет старше своего двоюродного брата Сергея, но в период его обучения в Московской консерватории был уже профессором и учителем будущего композитора. Александр Ильич Зилоти впоследствии много помогал С.В. Рахманинову в пропаганде его творчества. Он был женат на Вере Павловне Третьяковой - дочери Павла Михайловича - основателя Третьяковской галереи. Из детей Александра Ильича и Веры Павловны в «Воспоминаниях» названы Александр, Лев, Вера, Оксана и Кариена. Еще одна тетка Сергея Васильевича - Анна Аркадьевна - была замужем за Григорием Филипповичем Прибытковым. Их сын Аркадий с женой Зоей Николаевной имели трех дочерей - Зою, Елену и Татьяну, Из других ближайших родственников в «Воспоминаниях» упоминается дядя С.В. Рахманинова Александр Аркадьевич и его дочь Лилия. У Сергея Васильевича и Натальи Александровны было две дочери: Ирина и Татьяна. Ирина Сергеевна была замужем за Петром Григорьевичем Волконским, у них была дочь Соня. Татьяна Сергеевна вышла замуж за Бориса Юльевича Конюс. Из их детей упоминается лишь сын Александр.

Составьте родословное древо семьи Рахманиновых по этим данным.

299. В книге Е.В. Федоровой «Императорский Рим в лицах» [цит. по 3] представлены описания родственных связей аристократии периода Римской империи. Эти родственные связи широко использовались римлянами в борьбе за власть, поэтому обычными были браки по расчету, частые разводы и новые браки. Подобные ситуации усложняют составление родословных. Ниже в несколько упрощенном виде описываются родственные связи императоров из династии Юлиев, Патрицианский род Юлиев был древним и знатным, но бедным. Первым из этого рода был Гай Юлий Цезарь. Родился он в 100 г. до нашей эры в двенадцатый день месяца квинтилия, который впоследствии в его честь был переименован в июль.

У Юлия Цезаря было две сестры - Юлия старшая и Юлия младшая. От первого брака Юлия Цезаря с Корнелией была единственная дочь Юлия. Впоследствии в поисках создания прочного союза и упрочения своей власти Юлий Цезарь выдал дочь Юлию за знаменитого полководца Гнея Помпея, а сам после смерти Корнелии женился на дочери видного политического деятеля Пизона – Кальпурнии. У Юлии и Гнея Помпея был сын - Секст Помпей. Старшая сестра Юлия Цезаря Юлия старшая была замужем за Педием,

у них был сын Квинт Педий. Муж Юлии младшей - Марк Атей Бальб. Их дочь Атия вышла замуж за Гая Октавия. У Атии и Гая Октавия был сын Октавий и дочь Октавия младшая. После убийства Юлия Цезаря императором стал усыновленный им внук сестры Юлии младшей Октавий, получивший в связи с этим имя Гай Юлий Цезарь Октавиан Август, а позже именовался император Цезарь Август.

В борьбе за власть в Римской империи принимали активное участие Марк Антоний и его брат Луций Антоний. Марк Антоний был женат на Фульвии. Позже в качестве шага примирения Октавиан Август выдал свою овдовевшую к тому времени сестру Октавию младшую за овдовевшего Марка Антония. От брака Марка Антония с Октавией младшей было 2 дочери - Антония старшая и Антония младшая. Но этот брак не изменил отношений между Марком Антонием и Октавианом Августом. Марк Антоний развелся со своей второй женой, уехал в Египет и женился на царице Египта Клеопатре VII.

Октавия младшая до брака с Марком Антонием была замужем за Гаем Клавдием Марцеллом. У них был сын Марцелл и две дочери - Марцелла старшая и Марцелла младшая.

Октавиан Август был женат на Скрибонии, но в день рождения дочери Юлии старшей развелся, а потом женился на Ливии Друзилле, у которой от первого брака были сыновья Тиберий и Друз старший. Тиберий Клавдий Нерон был усыновлен Октавианом Августом и стал именоваться Тиберий Юлий Цезарь, а став императором - Тиберий Цезарь Август.

Юлия старшая - дочь Октавиана Августа и Скрибонии - выдана замуж за своего двоюродного брата Марцелла, а после его смерти - за Марка Випсания Агриппу. От второго брака у Юлии старшей было три сына и две дочери: Гай (Цезарь), Луций (Цезарь), Юлия младшая, Агриппина старшая и Агриппа Постум. После смерти Агриппы Юлия старшая вышла замуж за своего сводного брата Тиберия - будущего императора.

Друз старший был женат на Антонии младшей. У них было много детей, но выжили только трое: Германик, Ливия Ливилла и Клавдий, впоследствии ставший императором.

Германик был женат на Агриппине старшей. От этого брака родилось шестеро детей: три сына - Нерон (Цезарь), Друз (Цезарь), Гай Цезарь Каллигула, ставший императором после Тиберия, и три дочери - Друзилла, Юлия Ливилла и Агриппина младшая, Агриппина младшая вышла замуж за сына Антонии старшей и Луция Домиция - Агенобарба - Гнея Домиция Агенбарба, который приходился ей троюродным дядей. Их сыну Нерону Клавдию Цезарю Августу Германику было суждено стать последним императором из династии Юлиев-Клавдиев.

Составьте родословное древо императоров из династии Юлиев Клавдиев.

300. Проведите анализ и определите характер наследования признака по родословной, представленной на рисунке 2.

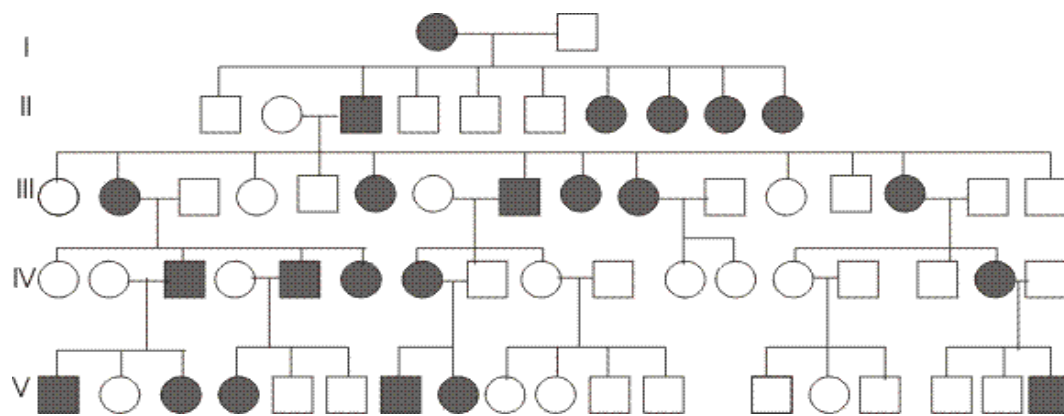


Рис. 2. Схема родословной № 1

301. Проведите анализ и определите характер наследования признака по родословной, представленной на рисунке 3.

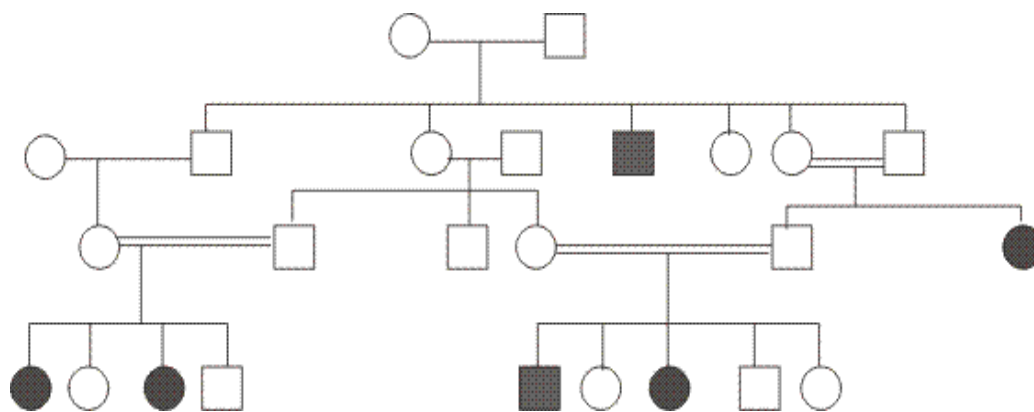


Рис. 3. Схема родословной № 2

302. Проведите анализ и определите характер наследования признака по родословной, представленной на рисунке 4.

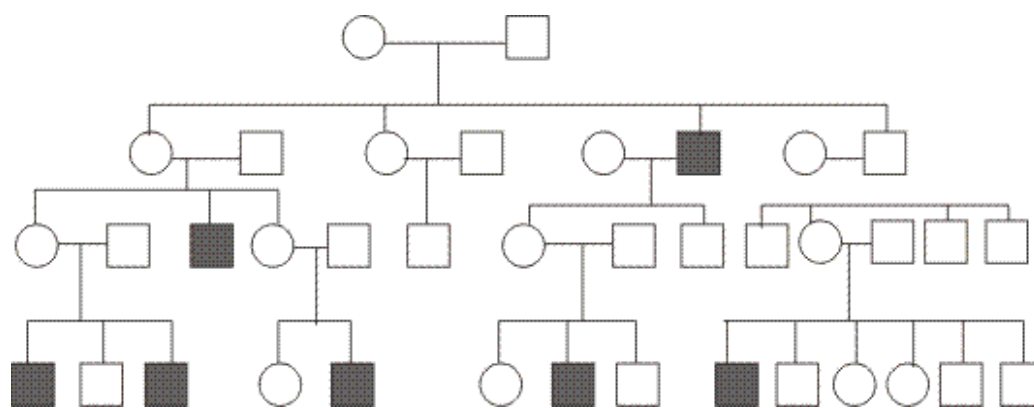


Рис. 4. Схема родословной № 3

303. Пробанд имеет белый локон в волосах надо лбом. Брат пробанда без локона. По линии отца пробанда аномалии не отмечено. Мать пробанда с белым локоном. Она имеет трех сестер. Две сестры с локоном, одна без локона. У одной из теток пробанда со стороны матери сын с локоном и дочь без локона. У второй – сын и дочь с локоном и дочь без локона. Третья тетка пробанда со стороны матери без локона имеет двух сыновей и одну дочь без локона. Дед пробанда по линии матери и двое его братьев имели белые локоны, а еще двое были без локонов. Прадед и прапрадед также имели белый локон надо лбом.

Определите вероятность рождения детей с белым локоном надо лбом в случае, если пробанд вступит в брак со своей двоюродной сестрой, имеющей этот локон.

304. Пробанд – нормальная женщина – имеет сестер, двое из которых однойцевые близнецы, две – двуяйцевые близнецы. Все сестры имеют шесть пальцев на руке. Мать пробанда нормальна, отец – шестипалый. Со стороны матери все предки нормальны. У отца два брата и четыре сестры – все пятипалые. Бабушка по линии отца шестипалая. У нее было две сестры шестипалые и одна пятипалая. Дедушка по линии отца и все его родственники нормально пятипалые.

Определите вероятность рождения в семье пробанда шестипалых детей при условии, что она выйдет замуж за нормального мужчину.

305. Пробанд страдает легкой формой серповидноклеточной анемии. Его супруга здорова. Она имеет дочь также с легкой формой анемии. Мать и бабушка пробанда страдали этой формой серповидной клеточной анемии, остальные сибсы матери и ее отец здоровы. У жены пробанда есть сестра, страдающая легкой формой анемии, вторая сестра умерла от анемии. Мать и отец жены пробанда страдали анемией, кроме того, известно, что у отца было два брата и сестра с легкой формой анемии и, что в семье сестры отца двое детей умерли от серповидноклеточной анемии.

Определите вероятность рождения детей с тяжелой формой анемии в семье дочери пробанда, если она выйдет замуж за такого в отношении признака мужчину, как ее отец.

306. Пробанд болен врожденной катарактой. Он состоит в браке со здоровой женщиной и имеет больную дочь и здорового сына. Отец пробанда болен катарактой, а мать здорова. Мать пробанда имеет здоровую сестру и здоровых родителей. Дедушка по линии отца болен, а бабушка здорова. Пробанд имеет по линии отца здоровых родных дядю и тетю. Дядя женат на здоровой женщине. Их три сына (двоюродные братья пробанда по линии отца) здоровы.

Какова вероятность появления в семье дочери пробанда больных внуков, если она выйдет замуж за гетерозиготного по катаракте этого типа мужчину?

307. Мать пробанда больна. Две сестры и два брата матери пробанда

здоровы. Они имеют только здоровых детей. По материнской линии дальше известно, что бабушка больна, дедушка здоров; сестра бабушки больна, а брат здоров, прадедушка (отец бабушки) страдал ночной слепотой, сестра и брат прадедушки больны; прапрадедушка болен, его брат, имеющий большую дочь и двух больных сыновей, также болен. Жена пробанда, её родители и родственники здоровы. Определите вероятность рождения больных детей в семье пробанда.

308. Молодожены нормально владеют правой рукой, в семье женщины было две сестры, нормально владеющие правой рукой и три брата - левши. Мать женщины - правша, отец - левша. У отца есть сестра и брат левши, и сестра и два брата правши. Дед по линии отца правша, бабушка - левша. У матери женщины есть два брата и сестра - все правши. Мать мужа - правша, отец - левша. Бабушки и дедушки со стороны матери и отца мужа нормально владеют правой рукой. Определите вероятность рождения в этой семье детей, владеющих левой рукой.

309. Пробанд имеет нормальные по окраске зубы. У ее сестры зубы коричневые. У матери пробанда зубы коричневые, а у отца - нормальной окраски. Семь сестер матери пробанда с коричневыми зубами, а четыре брата - с нормальными. Одна тетя пробанда по линии матери, имеющая коричневые зубы, замужем за мужчиной с нормальными зубами. У них трое детей - дочь и сын с коричневыми зубами и дочь с нормальными. Два дяди пробанда по линии матери женаты на женщинах без аномалии в окраске зубов. У одного из них два сына и дочь, у другого - две дочери и сын. Все они с нормальными зубами. Коричневые зубы имел дедушка пробанда по линии матери, а у бабушки по линии матери были нормальные зубы. Два брата дедушки по линии матери с нормальной окраской зубов. Прабабушка (мать деда по линии матери) и прапрабабушка (мать этой прабабушки) имели коричневые зубы, а их мужья были с нормальной окраской зубов.

Определите вероятные признаки у детей пробанда, если он вступит в брак с женщиной, гетерозиготной по этому признаку.

310. Пробанд имеет сестру с ахондроплазией, а сам он нормального роста. Мать пробанда нормальна, а отец страдает ахондроплазией. По линии отца пробанд имеет двух нормальных теток, одну тетку с ахондроплазией и одного дядю с ахондроплазией. Тетя, имеющая ахондроплазию, замужем за здоровым мужчиной. У них есть сын карлик. Здоровая тетя от здорового мужа имеет двух мальчиков и двух девочек - все они здоровы. Дядя карлик женат на здоровой женщине. У него две нормальные девочки и сын карлик. Дедушка по линии отца карлик, а бабушка нормальна.

Определите вероятность появления карликов в семье пробанда, если его жена будет иметь такой же генотип, как он сам.

Какова вероятность появления карликов в семье сестры пробанда, если она вступит в брак со здоровым мужчиной?

311. Алла и Роза - родные сестры и обе, как и их родители, страдают

ночной слепотой. У них есть еще сестра с нормальным зрением, а также сестра и брат, страдающий ночной слепотой. Роза и Алла вышли замуж за мужчин с нормальным зрением. У Аллы было две девочки и четыре мальчика, страдающих ночной слепотой. У Розы – два сына и дочь с нормальным зрением и еще один сын, страдающий ночной слепотой. Составьте родословную семьи. Определите генотипы Розы и Аллы, их родителей и детей. 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?

312. У мужчины по краю ушной раковины сильно развит волосистой покров. У его отца, деда и прадеда уши были также 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 волосистого 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.

7. МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В настоящем сборнике приведены генетические задачи, в которых рассматривается наследование признаков у диплоидных эукариотических организмов, размножающихся половым путем. Решаются задачи при использовании логики генетического анализа.

Существенную роль в решении генетических задач играет знание основных закономерностей наследования признаков. Приступая к решению задачи необходимо уметь правильно выписывать генотипы, гаметы, образуемые особями с различными генотипами, знать элементарные формулы, по которым находят число типов гамет, типов фенотипов и генотипов в потомстве и их соотношение, уметь использовать метод хи-квадрат.

Запись генов. В генетических задачах можно использовать символику, берущую начало от работы Г. Менделя «Опыты над растительными гибридами» [11]. Ген по ней обозначают буквой латинского алфавита, выбранной произвольно. Доминантную аллель обозначают заглавной буквой, рецессивную - строчной буквой.

Со времен работ школы Т. Х. Моргана для обозначения гена используют название признака, за который он отвечает, на английском или латинском языках. Например, *black* – черная окраска тела, *purple* – пурпурные глаза у дрозофилы. Символ гена дают одной или несколькими начальными буквами этого слова. Например, *b*, *pr*.

Фенотип, который характерен для особей данного вида в природе, назы-

вается диким типом или нормой. Соответственно аллель, определяющую такой признак, называют аллелью дикого типа. Её обозначают символом соответствующего гена со знаком «+» или сокращают до знака «+». Например, у дрозофилы темную окраску тела определяет рецессивная аллель гена *ebony* - *e*. Аллель дикого типа данного гена (e^+) определяет серую окраску тела. Аллель дикого типа обычно бывает доминантной по отношению к мутантной, но может быть и рецессивной.

При множественном аллелизме используют смешанную систему обозначений. Так, при обозначении трех аллелей, определяющих группы крови системы *ABO*, символы I^A и I^B соответствуют кодоминантным аллелям, а i^O или I^O - рецессивной аллели.

Запись фенотипов. При решении генетических задач признаки (фенотип) можно записывать полным словом или в сокращении. В задачах, где рассматривается наследование при полном доминировании, фенотип можно записать с помощью фенотипического радикала. Под фенотипическим радикалом понимают ту часть генотипа, которая определяет фенотип. Фенотипический радикал для доминантного признака представляет собой заглавную букву с чертой справа (например, *A-*), поскольку для проявления этого признака достаточно наличия в генотипе одной доминантной аллели, а на месте черты может находиться как доминантная, так и рецессивная аллели. Рецессивный признак проявляется у рецессивных гомозигот, поэтому его радикал совпадает с записью генотипа.

В случае неполного доминирования и кодоминирования, каждому фенотипу соответствует определенный генотип.

Запись генотипов. В генетических задачах, как правило, проводится генетический анализ наследования единичных признаков, соответственно и единичных генов, поэтому в них генотип маркирован одним или несколькими генами. Каждый ген в генотипе представлен двумя аллелями. Парность генов в генотипе обусловлена парностью хромосом диплоидного набора, гомологичные хромосомы которого в идентичных участках содержат аллели одного гена.

Количество различных генотипов по данному гену зависит от числа аллелей. Если аллель одна, то и генотип один, *AA*. Если аллелей два (A_1 и A_2), то возможно три генотипа: два типа гомозигот A_1A_1 и A_2A_2 и гетерозигота A_1A_2 . При множественном аллелизме в общем случае при n аллелях возможно $n \cdot (n+1) : 2$ генотипов, из которых n - число гомозигот, а остальные $n \cdot (n-1) : 2$ - число гетерозигот.

Если в задаче рассматривают наследование нескольких признаков, то следует учитывать характер их наследования. В случае независимого наследования, используют буквенную запись генотипа, выписывая в нем сначала аллели первого гена, затем второго и т.д. В пределах записи генотипа по данному гену в гетерозиготах на первом месте ставится доминантная аллель. Например, *Aa BB Dd Kk*.

В случае сцепленного наследования используют «хромосомную» запись генотипа, в которой хромосомы условно изображают горизонтальными черточками и в них локализуют гены. Сцепленные гены в генотипе могут находиться в «фазе притяжения», если их доминантные аллели находятся в одной гомологичной хромосоме, а рецессивные аллели - в другой. В противном случае, когда доминантные аллели привнесены в генотип с хромосомами разных родителей, считают, что гены находятся в «фазе отталкивания».

$\frac{AB}{ab}$ - дигетерозигота в фазе притяжения.

$\frac{Ab}{aB}$ - дигетерозигота в фазе отталкивания.

При записи генотипов по генам, которые определяют признаки, сцепленные с полом, показывают их локализацию в половых хромосомах. X-хромосому изображают в виде горизонтальной черточки ($\frac{AB}{ab}$), Y-хромосому в виде черточки с «крючком» ($\frac{AB}{aB}$). Если признак сцепленный с полом, определяет ген, находящийся в X-хромосоме, то в хромосомной записи генотипа гомогаметного пола показывают наличие в нем двух X-хромосом, в которых расположены гены.

$\frac{A}{a}$ - запись гетерозиготы для гомогаметного пола.

В записи генотипа гетерогаметного пола ген чаще локализуют только в X-хромосоме, учитывая генетическую инертность Y-хромосомы и не полную гомологичность половых хромосом.

$\frac{a}{a}$ запись гемизиготы для гетерогаметного пола при X-сцепленном наследовании.

В случае, когда признак, сцепленный с полом, определяется геном, находящимся в Y-хромосоме (голландрическое наследование), в хромосомной записи генотипа ген располагают только в Y-хромосоме.

$\frac{a}{a}$ - запись гемизиготы для гетерогаметного пола при голландрическом наследовании.

В задачах, в которых рассматривается наследование аутосомных и сцепленных с полом признаков одновременно, можно использовать хромосомную запись генотипа по соответствующим генам. Либо можно генотип по аутосомному гену записать в буквенном изображении, а по гену, сцепленному с полом, - в хромосомном. Например,

$\frac{A}{a} \frac{C}{c}$ или $Aa Cc$

Выписывание гамет. Одним из этапов образования гамет является мейоз. Правильное протекание мейоза обеспечивает гаплоидность набора хромосом в гаметах и их генетическую разнородность. Находящиеся в гомологичных хромосомах гены в соответствии с их поведением в мейозе расходятся в разные гаметы, поэтому каждая гамета содержит только одну из пары аллелей данного гена в генотипе.

Гомозиготные генотипы при любых типах наследования образуют один тип гамет. Гетерозиготные генотипы всегда образуют несколько типов гамет. При аутосомном независимом наследовании число разных типов гамет, образуемых данным генотипом, определяют по формуле 2^n , где n - число гетерозиготных генов в генотипе [8].

Генотип	CC	$bbDd$	$EeffGg$
Число типов гамет	$2^0=1$	$2^1=2$	$2^2=4$
Гаметы	C	$bD : bd$	$EfG : Efg : efG : efg$

При сцепленном наследовании число типов образующихся гамет зависит от расхождения гомологичных хромосом разных бивалентов в анафазе первого деления мейоза и кроссинговера. При полном сцеплении генов число типов гамет, воспроизводимых генотипом, также определяют по формуле 2^n , где n - число пар гомологичных хромосом, содержащих в гетерозиготе хотя бы один ген.

Генотип	$\frac{ab}{ab}$	$\frac{AB}{AB} \frac{C}{c}$	$\frac{AB}{ab} \frac{C}{c}$
Число типов гамет	$2^0=1$	$2^1=2$	$2^2=4$
Гаметы	ab	$AB \ C : AB \ c$	$\frac{AB}{ab} \frac{C}{c} : \frac{AB}{ab} \frac{c}{c} : \frac{aB}{ab} \frac{C}{c} : \frac{aB}{ab} \frac{c}{c}$

При неполном сцеплении сочетание генов в хромосомах нарушается кроссинговером. Поэтому при выписывании гамет учитывают величину (%) кроссинговера. Например, генотип $\frac{AC}{ac}$ при расстоянии между генами 20% кроссинговера образует два типа кроссоверных гамет ($\frac{Ac}{ac}$ и $\frac{aC}{ac}$) с частотой по 10% и два типа некроссоверных гамет ($\frac{AC}{ac}$ и $\frac{ac}{ac}$) с частотой по 40%.

В случае наследования признаков, сцепленных с полом, число типов гамет зависит от гомогаметности и гетерогаметности пола. Гомогаметный пол образует один тип гамет в отношении половых хромосом (X), гетерогаметный пол - два (X, Y или X, O). При гетерозиготности генотипа гомогаметного пола, образующиеся гаметы имеют одинаковые половые хромосомы, но в них локализованы разные аллели гена. При сцепленном наследовании генов, находящихся в половой хромосоме, у гомогаметного пола учитывают характер сцепления генов аналогично аутосомному сцепленному наследованию.

Запись схемы скрещивания. При записи схемы скрещивания в задачах по генетике используют специфическую генетическую символику. Женские особи обозначают знаком ♀ (зеркало богини любви Венеры), мужские особи - ♂ (копье и щит бога войны Марса). Буква P (от латинского *parens* -

родители) указывает на родительское поколение. Знак «x» обозначает скрещивание. Буква **G** (от греческих слов *gamete* - жена, *gametes* - муж) символизирует образуемые особью гаметы. Буква **F** (от латинского слова *fili* - дети, сыновья) указывает на потомков. Первое поколение потомков или гибридов обозначают F_1 , второе - F_2 и т.д. Каждое последующее поколение получают скрещиванием между собой потомков предыдущего поколения (в случае растений - самоопылением). Символом F_b обозначают потомство возвратного скрещивания (от английского *backcross* - возврат), его получают скрещиванием потомков первого поколения с одним из родителей. Потомство анализирующего скрещивания (F_a) получают скрещиванием особи с неизвестным генотипом с организмом, имеющим рецессивный гомозиготный генотип.

Запись схемы скрещивания осуществляют в соответствии с логикой гибридологического метода и биологическими процессами, которые при этом происходят. До записи самой схемы вводят обозначение генов, то есть указывают их буквенный символ и признак, который они определяют. Далее в схеме скрещивания на первой строке записывают поколение родителей. В начале этой строки ставят букву **P**, правее нее записывают генотипы родителей. Принято сначала записывать генотип женской особи, а затем, после знака скрещивания, генотип мужской особи, ставя перед ними соответственно знаки ♀ и ♂. В строке ниже под генотипами записывают их фенотипы. Гаметы, образуемые родителями, в схеме скрещивания можно записать двумя способами.

При записи по первому способу гаметы помещают в решетку Пеннета, которая символизирует равновероятное сочетание разных типов гамет в ходе оплодотворения. В решетке Пеннета гаметы, образуемые мужской особью, помещают по верхней горизонтали, а гаметы, образуемые женской особью, помещают по левой вертикали. На местах пересечения горизонталей и вертикалей выписывают генотипы и фенотипы образующихся потомков. Под решеткой Пеннета или правее нее приводят расщепления по генотипу и фенотипу. Расщепление показывает типы фенотипов или генотипов потомков, а также их соотношение. Соотношение указывают цифровыми коэффициентами перед соответствующими генотипами или фенотипами.

При записи по второму способу гаметы выписывают строкой ниже фенотипов родителей, разделяя их двоеточием или запятой. Тогда уже на следующих строках приводят расщепления по генотипу и фенотипу.

A – желтые семена, a – зеленые семена

1 способ записи схемы скрещивания:

$P:$ ♀ AA х ♂ aa
 желтые семена ↓ зеленые семена
 $G:$ A ↓ a
 $F_1:$ Aa

желтые семена

$P:$ ♀ Aa х ♂ Aa
 желтые семена желтые семена

$F_2:$ ♀/♂	A	a
A	AA желтые	Aa желтые
a	Aa желтые	aa зеленые

$1 AA : 2 Aa : 1 aa$

3 желтые : 1 зеленые

2 способ записи схемы скрещивания:

$P:$ ♀ AA х ♂ aa
 желтые семена ↓ зеленые семена
 $G:$ A ↓ a
 $F_1:$ Aa

желтые семена

$P:$ ♀ Aa х ♂ Aa
 желтые семена желтые семена

$G:$ $A : a$ ↓ $A : a$
 $F_2:$ $1 AA : 2 Aa : 1 aa$

3 желтые : 1 зеленые

Основные типы генетических задач и этапы их решения. Генетические задачи, в которых проводят анализ закономерностей наследования при внутривидовой гибридизации особей (разделы 2 - 5), можно разделить на четыре основных типа, каждый из которых решается по сходному алгоритму:

1 тип. Задачи, в которых известен тип наследования признака и генотипы родителей.

2 тип. Задачи, в которых известен тип наследования признака и не известны генотипы родителей и потомства.

3 тип. Задачи, в которых не известен тип наследования признака, но имеются сведения о фенотипах родителей, о числе фенотипических классов в потомстве и их соотношении, но не численности особей из этих классов (то есть известно расщепление по фенотипу).

4 тип. Задачи, в которых не известен тип наследования признака, имеются сведения о фенотипах родителей и фактическое число особей разных фенотипических классов в потомстве.

Наличие данных о наследовании признака означает, что известен тип наследования признака, то есть число генов, определяющих признак, характер его наследования (в этих задачах - аутосомное независимое, аутосомное сцепленное или сцепленное с полом наследование), известен тип взаимодействия аллельных и неаллельных генов.

Решение генетической задачи должно содержать четыре последовательных этапа: краткую запись условия, пояснение к задаче, схемы скрещивания и ответ.

При решении задач 1-го типа в краткой записи условия сначала вводят обозначение генов. В задачах на наследование признаков, сцепленных с полом, показывают локализацию гена в половой хромосоме. В задачах по

взаимодействию неаллельных генов, наряду с обозначением генов, можно использовать запись фенотипических радикалов с указанием соответствующих им признаков. Далее, в задачах 1-го типа выписывают генотипы родителей, разделяя их знаком скрещивания или запятой. Под генотипами указывают их фенотипы. Подобным образом записывают информацию о потомках от скрещивания, если она приведена в тексте задачи. Краткая запись должна содержать всю информацию, содержащуюся в тексте задачи.

Если в задаче говорится о предках родителей, то их генотипы и фенотипы записывают выше родительской строки. Если в задаче приводится информация о нескольких скрещиваниях, то их можно пронумеровать. Заканчивают краткую запись условия задачи указанием вопросов, на которые требуется дать ответы.

Пояснение к задачам 1-го типа можно не приводить, поскольку условие таких задач содержит исчерпывающие сведения, необходимые для их решения.

Решение задач первого и всех других типов предполагает правильную запись всех схем скрещивания, упоминающихся в тексте задачи.

Ответ на вопросы, приведенные в задачах всех типов, должен быть сформулирован исходя из приведенных в решении схем скрещиваний. Он должен быть полным, то есть таким, чтобы по нему можно было легко восстановить формулировку этого вопроса и убедиться в правильности ответа на требуемый вопрос.

Решение задач второго типа включает все 4 этапа решения генетической задачи. В краткой записи условия задач этого типа для записи фенотипов используют фенотипические радикалы. Анализируя данные при такой форме записи, можно однозначно определить неизвестные генотипы родителей или потомства, что позволяет избежать выписывания в решении лишних схем скрещивания.

В пояснении к задачам второго типа необходимо аргументировано объяснить, почему выбран тот или иной генотип родителей или потомства.

В схеме скрещивания задачи второго типа приводят полную запись генотипов, уже не используя фенотипические радикалы. Фенотипические радикалы лучше использовать только в краткой записи условия, в задачах третьего типа они могут быть использованы и в пояснении к задаче.

В пределах задач данного типа могут встречаться также задачи с многовариантным решением, когда из условия задач нельзя сделать однозначного вывода относительно генотипов родителей. В таких поливариантных задачах приводят все теоретически возможные схемы скрещивания.

В решении задач третьего и четвертого типов не известен характер наследования признака, поэтому их краткая запись содержит словесное описание скрещивания.

Пояснение к задачам третьего типа содержит анализ расщепления потомства по фенотипу, на основе которого делают вывод о количестве генов,

по которым идет расщепление, о характере их наследования и типе взаимодействия генов. Существенную роль в решении задач этого типа играет знание элементарных формул расщепления при разных типах наследования.

Возможен и другой подход к анализу данных в задачах этого типа. В пояснении можно провести анализ наследования каждого признака в отдельности, определить тип наследования и тип аллельного взаимодействия по генам, определяющим каждый из признаков. На основе этого определить генотипы родителей по всем генам. Далее, в решении, привести схему скрещивания, которая, в случае рассмотрения наследования нескольких генов, будет показывать их совместное наследование.

В задачах четвертого типа так же, как при решении задач всех типов, важно придерживаться основного принципа генетического анализа - принципа анализа единичных признаков. Согласно этому принципу сначала в пояснении к задаче анализируют первое и второе поколения по каждой паре признаков отдельно, независимо от других признаков. Далее аргументировано предлагают нулевую гипотезу, на основе которой определяют расщепление в опыте. Затем делают проверку соответствия результатов опыта теоретическому ожиданию при данной нулевой гипотезе с помощью метода хи-квадрат [6, 8, 14]. В случае их соответствия, аргументировано вводят гены и на их основе определяют фенотипы и генотипы родителей в отношении отдельных генов.

В решении задач четвертого типа полученные данные используют для записи схем скрещиваний совместного наследования признаков. Важно, что на ее основе вновь выдвигается нулевая гипотеза, которая проверяется при использовании метода хи-квадрат [6, 8, 14]. При подтверждении нулевой гипотезы делают окончательный вывод о характере наследования генов и типе их взаимодействия.

Фактические численности потомков разных фенотипических классов могут быть даны и в задачах второго типа. Поскольку характер наследования признаков в таких задачах известен, то при их решении нет необходимости использовать метод хи-квадрат.

В разделе «Наследование в популяциях» решение задач включает краткую запись условия, пояснение, решение и ответ строится на основе знания закона Харди-Вайнберга [1, 2, 6, 8].

7.1. Примеры решения задач по моногибридному скрещиванию

Задача первого типа № 1

У фигурной тыквы белая окраска плодов доминирует над желтой. Если скрестить тыкву, гомозиготную по белой окраске, с тыквой, гомозиготной по желтой окраске, каков будет фенотип гибридов первого и второго поколений? Потомства возвратных скрещиваний?

Краткая запись условия:

Окраска плодов у тыквы:

A – белая,

a - желтая

$P:$ ♀ AA х ♂ aa
белые желтые

F_1 -? F_2 -? F_b -?

2. $P:$ ♀ Aa х ♂ Aa
белые белые

$F_2:$ ♀/♂	A	a
A	AA белые	Aa белые
a	Aa белые	aa желтые

$1 AA : 2 Aa : 1 aa$
3 белые : 1 желтые

4. $P:$ ♀ AA х ♂ Aa
белые белые

$G:$ A $A : a$

$F_b:$ $1 AA : 1 Aa$
все белые

Схемы скрещивания:

1. $P:$ ♀ AA х ♂ aa
белые желтые

$G:$ A a

$F_1:$ Aa
белоплодные

3. $P:$ ♀ Aa х ♂ aa
белые желтые

$F_b:$ ♀/♂	a
A	Aa белые
a	aa желтые

$1 Aa : 1 aa$
1 белые : 1 желтые

Ответ: Все особи F_1 будут иметь белую окраску плодов. В F_2 $\frac{3}{4}$ потомства будут белоплодными, $\frac{1}{4}$ - желтоплодными. F_b от скрещивания с желтоплодным P – $\frac{1}{2}$ белоплодное, $\frac{1}{2}$ - желтоплодное. F_b от скрещивания с белоплодным P – все потомство белоплодное.

Задача первого типа № 2

У человека группы крови системы ABO определяются тремя аллелями аутосомного гена $I: I^A, I^B, I^O$ или (i^O). Первые две аллели полностью доминируют над I^O . Различные сочетания этих аллелей в генотипе могут приводить к появлению следующих четырех групп крови: I группа (O) – $i^O i^O$, II группа (A) – $I^A I^A, I^A I^O$, III группа (B) – $I^B I^B, I^B I^O$, IV группа (AB) – $I^A I^B$. У матери группа крови O , а у отца AB . Могут ли дети унаследовать группу крови одного из родителей?

Краткая запись условия:Группы крови системы *ABO*:I группа (*O*) – $i^O i^O$,II группа (*A*) – $I^A I^A, I^A I^O$,III группа (*B*) – $I^B I^B, I^B I^O$,IV группа (*AB*) – $I^A I^B$.*P*: ♀ $i^O i^O$; ♂ $I^A I^B$ группа *O*; группа *AB*Могут ли у *F_I* быть группы *O* и *AB*?**Ответ:** В этом браке дети с такими же группами крови как у *P* родиться не могут.**Схема скрещивания:**1. *P*: ♀ $i^O i^O$ x ♂ $I^A I^B$
группа *O* группа *AB*

<i>F_I</i> : ♀/♂	I^A	I^B
i^O	$I^A i^O$ группа <i>A</i>	$I^B i^O$ группа <i>B</i>

1 $I^A i^O$: 1 $I^B i^O$ 1 группа *A* : 1 группа *B***Задача второго типа № 1**

У человека ген, вызывающий одну из форм наследственной глухонемоты рецессивен по отношению к гену нормального слуха. От брака глухонемой женщины с нормальным мужчиной родился глухонемой ребенок. Определите генотипы родителей. Какова вероятность рождения следующего ребенка тоже глухонемым?

Краткая запись условия:

Глухонемота у человека:

A – норма,*a* – глухонемота*P*: ♀ aa x ♂ A –
глухонемая нормальный*F_I*: aa
глухонемой*P* – ? Вероятность (*p*) aa в *F_I* – ?**Пояснение:** Рецессивный признак

проявляется у рецессивных гомозигот. Появление в *F_I* ребенка с рецессивным признаком, а значит с генотипом aa возможно, если с гаметамии обоих *P* он получит аллель *a*. Отсюда генотип отца гетерозиготный (Aa).

Схема скрещивания:*P*: ♀ aa x ♂ Aa
глухонемая нормальный*G*: a $A : a$ *F_I*: 1 Aa : 1 aa

1 нормальный : 1 глухонемой

Ответ: Генотипы *P*: ♀ aa , ♂ Aa .

Вероятность рождения следующего ребенка глухонемым равна 50%.

Задача второго типа № 2

Черная кошка с белыми пятнами на шее и животе (доминантный признак) скрещивается со сплошь черным котом. Какова вероятность рождения у этой пары черного котенка без пятен на теле?

Краткая запись условия:

Окраска шерсти у кошек:
A – белые пятна на шее и животе,
a – сплошь черная.

P: ♀ *A* - х ♂ *aa*
 с пятнами без пятен

Вероятность (*p*) в *F*₁ черного - ?

1. **P:** ♀ *AA* х ♂ *aa*
 с пятнами без пятен
G: *A* *a*
F₁: *Aa*
 все с пятнами

Пояснение:

По условию задачи нельзя однозначно определить генотип кошки. Она может быть доминантной гомозиготой, либо гетерозиготой. Кот и ожидаемый котенок имеют рецессивный гомозиготный генотип.

Схемы скрещивания:

2. **P:** ♀ *Aa* х ♂ *aa*
 с пятнами без пятен
G: *A : a* *a*
F₁: *1Aa : 1aa*
 1 с пятнами : 1 сплошь черные

Ответ: Если *P*♀ имеет доминантный гомозиготный генотип, то *p* рождения сплошь черного котенка без пятен равна 0. Если *P*♀ имеет гетерозиготный генотип, то *p* рождения сплошь черного котенка без пятен равна 50 % (или 0,5, или 1/2).

Задача третьего типа №1

При скрещивании растений ржи с нормальными листьями около 3/4 потомков имело нормальные и около 1/4 - гофрированные листья. Каковы генотипы обоих родителей? Каким будет потомство в случае скрещивания каждого из них с растением, имеющим гофрированные листья?

Краткая запись условия:

Форма листьев у ржи:

1. **P:** ♀ нормальные х ♂ нормальные
F₁: 3/4 нормальные,
 1/4 гофрированные
2. **P:** ♀ нормальные х ♂ гофрированные
3. **P:** ♀ гофрированных х ♂ нормальные
-
1. *P*-? 2. *F_b*-? 3. *F_b*-?

Пояснение:

A – нормальные, *a* – гофрированные листья, так как при противоположном предположении скрещивание двух рецессивных гомозигот не приводило бы к расщеплению в *F*. Тогда появление в *F*₁ данного скрещивания растений с гофрированными листьями с генотипом *aa* указывает, что у обоих *P* генотипы *Aa*. Поскольку генотипы *P* и *F_b* одинаковые в обоих возвратных скрещиваниях, то приведено только одно из них.

Схемы скрещивания:

1. $P: \text{♀ } Aa \times \text{♂ } Aa$
нормальные нормальные
 $G: A : a \quad A : a$
 $F_1: 1 AA : 2 Aa : 1 aa$
3 нормальные : 1 гофрированные

2. $P: \text{♀ } Aa \times \text{♂ } aa$
нормальные гофрированные
 $G: A : a \quad a$
 $F_b: 1 Aa : 1 aa$
1 нормальные : 1 гофрированные

Ответ: 1. $P: \text{♀ } Aa, \text{♂ } Aa.$
2. $F_b: \frac{1}{2}$ нормальные,
 $\frac{1}{2}$ гофрированные

Задача третьего типа №2

При скрещивании между собой хохлатых уток утята выводятся только из $\frac{3}{4}$ яиц, а $\frac{1}{4}$ эмбрионов гибнет перед вылуплением. Среди вылупившихся утят примерно $\frac{2}{3}$ хохлатых и $\frac{1}{3}$ нормальных. При скрещивании между собой уток без хохла всегда получается такое же потомство. Как наследуется хохлатость у уток? Как проверить правильность вашего предположения?

Краткая запись условия:

1. $P: \text{♀}$ хохлатые \times ♂ хохлатые
 $F_1: \frac{1}{4}$ нормальные,
 $\frac{1}{2}$ хохлатые,
 $\frac{1}{4}$ погибают
2. $P: \text{♀}$ без хохла \times ♂ без хохла
 $F_1: \text{все нормальные}$

Как наследуется признак? Проверить предположение.

Пояснение:

Хохлатость (A) доминирует над отсутствием хохла (a), поскольку при противоположном предположении в потомстве 1-го скрещивания не было бы расщепления. Тогда появление в F_1 данного скрещивания особей без хохла с генотипом aa возможно, если с гаметам обоих P они получили a . Отсюда хохлатые P имеют генотип Aa . Во 2-м скрещивании особи без хохла имели хорошую жизнеспособность. Тогда по характеру расщепления в 1-м скрещивании можно предположить, что погибли F_1 с генотипом AA . Для проверки предположения о гетерозиготности генотипов хохлатых уток следует провести анализирующее скрещивание.

Схемы скрещивания:

1. $P: \text{♀ } Aa \times \text{♂ } Aa$
хохлатые хохлатые

$G: A : a \quad A : a$

$F_1: 1 AA : 2 Aa : 1 aa$

2 хохлатые: 1 без хохла

3. $P: \text{♀ } Aa \times \text{♂ } aa$
хохлатые без хохла

$G: A : a \quad a$

$F_1: 1 Aa : 1 aa$

1 хохлатые : 1 без хохла

2. $P: \text{♀ } aa \times \text{♂ } aa$
без хохла без хохла

$G: a \quad a$

$F_1: aa$

без хохла

Ответ: Хохлатость контролируется одним геном с плейотропным действием. A – наличие хохла с летальным эффектом в гомозиготе, a – отсутствие хохла. В F_1 в случае гетерозиготности генотипа хохлатых уток ожидается расщепление 1 хохлатые : 1 без хохла.

Задача четвертого типа

При скрещивании растений хлопчатника с цельнокрайними листьями с растениями, имеющими рассеченные листья, было получено 105 растений, листья которых оказались неполно рассеченными. Во втором поколении 189 растений имели неполно рассеченные листья, 81 – рассеченные листья, 95 – цельнокрайние листья. Как наследуется признак?

Краткая запись условия:

Рассеченность листовой пластинки у хлопчатника:

$P: \text{♀}$ цельнокрайние листья \times ♂ рассеченные листья

$F_1: 105$ с неполно рассеченными листьями

$F_2: 189$ с неполно рассеченными, 81 – с рассеченными, 95 – с цельнокрайними

Как наследуется признак?

Пояснение: Единообразие фенотипов F_1 указывает на гомозиготность генотипов родителей. Наличие у F_1 промежуточной формы листьев и появление в F_2 трех фенотипических классов с преобладанием примерно в 2 раза форм с неполно рассеченными листьями позволяет предположить аутосомное моногенное наследование с неполным доминированием. Определим величину одного фенотипического класса в расщеплении для F_2 моногибридного скрещивания: $365:4=91,3$. Найдем расщепление в опыте: $189:91,3=2,1$; $81:91,3=0,9$; $95:91,3=1,0$, то есть примерно 1:2:1. Проверим нулевую гипотезу (H_0) о соответствии наблюдаемого расщепления в F_2 с расщеплением, ожидаемым при аутосомном моногенном наследовании с помощью метода хи-квадрат (табл. 1).

Ответ: Признак «рассеченность листа» у хлопчатника контролируется аутосомно моногенно. Аллели гена, отвечающего за данный признак, взаимодействуют по типу неполного доминирования. *A* - цельнокрайние, *a* - рассеченные, *Aa* - неполно рассеченные листья.

7.2. Примеры решения задач по дигибридному и полигибридному скрещиваниям

Задача первого типа

У крупного рогатого скота красная окраска шерсти неполно доминирует над белой, определяя у гетерозиготных животных чалую окраску, комолость доминирует над рогатостью. Признаки наследуются независимо. Гомозиготный белый комолый бык скрещен с гомозиготной красной рогатой коровой. Какими будут потомки первого поколения? Каким будет потомство от возвратного скрещивания с обоими родителями?

Краткая запись условия:

Окраска шерсти у коров: *A* – красная, *a* - белая, *Aa* – чалая

Наличие рогов: *B* – комолость, *b* – рогатость

P: ♀ *AAbb* х ♂ *aaBB*

красная рогатая белый комолый

F₁? **F₂?**

Схемы скрещивания:

1. P: ♀ *AAbb* х ♂ *aaBB*

красная рогатая белый комолый

G: *Ab* *aB*

F₁: *AaBb*

чалые комолые

2. P: ♀ *AAbb* х ♂ *AaBb*

красная рогатая чалый комолый

F₂ : ♀/♂	<i>AB</i>	<i>Ab</i>	<i>aB</i>	<i>ab</i>
<i>Ab</i>	<i>AABb</i> красные комолые	<i>AAbb</i> красные рогатые	<i>AaBb</i> чалые комолые	<i>Aabb</i> чалые рогатые

1 AABb : 1 AAbb : 1 AaBb : 1 Aabb

1 красные комолые : 1 красные рогатые :

1 чалые комолые : 1 чалые рогатые

3. P : ♀ $AaBb$ х ♂ $aaBB$
 чалая белый
 комолая комолый

G : AB : Ab : aB : ab aB

F_b : 1 $AaBB$: 1 $AaBb$: 1 $aaBB$: 1 $aaBb$
 1 чалые комолые : 1 белые комолые

Ответ:

1. F_1 : все чалые комолые.
2. F_b от скрещивания с коровой: $\frac{1}{4}$ красные комолые, $\frac{1}{4}$ красные рогатые, $\frac{1}{4}$ чалые комолые, $\frac{1}{4}$ чалые рогатые.
3. F_b от скрещивания с быком: $\frac{1}{2}$ чалые комолые, $\frac{1}{2}$ белые комолые.

Задача второго типа

У человека кареглазость доминирует над голубоглазостью, а умение владеть преимущественно правой рукой над леворукостью. Наследование признаков независимое. Голубоглазый правша женился на кареглазой правше. У них родилось двое детей - кареглазый левша и голубоглазый правша. От второго брака этого мужчины с другой женщиной родилось 9 кареглазых детей, все правши. Каковы наиболее вероятные генотипы всех родителей? Какова вероятность рождения во втором браке ребенка с признаками отца?

Краткая запись условия:

Цвет глаз и праворукость у человека:

A – кареглазость, a – голубоглазость;

B – праворукость, b – леворукость

1. P : ♀ $A - B -$ х ♂ $aa B -$
 кареглазая правша голубоглазый правша

F_1 : $A - bb,$ $aaB -$
 кареглазый левша голубоглазый правша

2. P : ♀ $A - B -$ х ♂ $aa B -$
 кареглазая правша голубоглазый правша

F_1 : 9 $A - B -$
 кареглазые правши

1. Генотипы P ? 2. Генотипы P ? Вероятность в F_1 голубоглазых правшей - ?

Пояснение:

В 1-м браке появление среди детей голубоглазого ребенка с генотипом aa возможно, если с гаметам обоих P он получает аллель a , отсюда женщина по гену окраски имеет генотип Aa . Аналогично рождение леворукого ребенка в этом браке свидетельствует о гетерозиготности обоих P по гену B . Во 2-м браке генотип отца, исходя из анализа F 1-го брака, известен - $aaBb$. Рождение 9-ти детей с доминантным фенотипом указывает, по видимому, на единообразие по фенотипу F_1 , которое возможно только при гомозиготности матери по доминантным аллелям обоих генов ($AABB$).

Схемы скрещивания:

1. P: ♀ *Aa Bb* х ♂ *aa Bb*
 кареглазая правша голубоглазый правша

F_1 : ♀/♂	<i>aB</i>	<i>ab</i>
<i>AB</i>	<i>AaBB</i> кареглазый правша	<i>AaBb</i> кареглазый правша
<i>Ab</i>	<i>AaBb</i> кареглазый правша	<i>Aabb</i> кареглазый левша
<i>aB</i>	<i>aaBB</i> голубоглазый правша	<i>aaBb</i> голубоглазый правша
<i>ab</i>	<i>aaBb</i> голубоглазый правша	<i>aabb</i> голубоглазый левша

1 *AaBB* : 2 *AaBb* : 1 *Aabb* : 1 *aaBB* : 2 *aa Bb* : 1 *aabb*

3 кареглазые правши : 1 кареглазые левши : 3 голубоглазые правши :
 1 голубоглазые левши

2. P: ♀ *AA BB* х ♂ *aa Bb*
 кареглазая правша голубоглазый правша

G_1 : *AB* *aB* : *ab*

F_1 : 1 *AaBB* : 1 *AaBb*
 все кареглазые правши

Ответ: 1. P: ♀ *AaBb*, ♂ *aaBb*
 2. P: ♀ *AABB*. Вероятность (p)
 F_1 : с фенотипом отца
 равна 0.

Задача третьего типа

При скрещивании высокого растения душистого горошка с желтыми круглыми семенами с карликовым растением с зелеными, круглыми семенами 3/8 потомков оказались высокими с зелеными круглыми семенами, 3/8 - карликовыми с зелеными круглыми семенами, 1/8 - высокими с зелеными морщинистыми семенами, 1/8 - карликовыми с зелеными морщинистыми семенами. Определите генотипы родительских растений.

Краткая запись условия:

Рост растений, окраска и форма семян у душистого горошка.

P: ♀ высокое растение с желтыми круглыми семенами х ♂ карликовое растение с зелеными круглыми семенами

F_1 : 3/8 высокие растения с зелеными круглыми семенами
 3/8 карликовые растения с зелеными круглыми семенами
 1/8 высокие растения с зелеными морщинистыми семенами
 1/8 карликовые растения с зелеными морщинистыми семенами

Генотипы P ?

Пояснение:

1. Анализ наследования роста растений:

P: ♀ высокое растение х ♂ карликовое растение

F_1 : 1/2 (4/8) высокие, 1/2 (4/8) карликовые

В F_1 расщепление на два фенотипических класса в равном соотношении позволяет предположить моногенный контроль признака и гомозиготность одного родителя по рецессивной аллели данного гена, гетерозиготность другого. Введем одно из двух возможных в данной задаче обозначений ге-

нов: A - высокие растения, a - карликовые. Тогда генотипы P по данному гену: ♀ Aa , ♂ aa .

2. Анализ наследования окраски семян:

P : ♀ желтые семена х ♂ зеленые семена

F_1 : все потомки с зелеными семенами

Единообразие в F_1 при скрещивании P с альтернативными признаками позволяет предположить их гомозиготность по гену, отвечающему за этот признак. Можно предположить, что признак контролируется моногенно и зеленая окраска семян (B) доминирует над желтой (b). Тогда генотипы P по гену окраски: ♀ bb , ♂ BB .

3. Анализ наследования формы семян:

P : ♀ круглые семена х ♂ круглые семена

F_1 : $\frac{3}{4}$ с круглыми семенами, $\frac{1}{4}$ с морщинистыми семенами

В F_1 наблюдается расщепление, характерное для моногенного аутосомного наследования, из анализа которого следует, что круглая форма семени (C) доминирует над морщинистой (c). Тогда появление среди потомков форм с морщинистыми семенами, имеющих генотип cc , возможно при гетерозиготности обоих P .

Таким образом, признаки определяются тремя парами аутосомных генов, наследующихся независимо.

Схема скрещивания:

A - высокие растения, a - карликовые;

B - зеленые семена, b желтые;

C - круглые семена, c - морщинистые

P : ♀ $Aa\ bb\ Cc$ х ♂ $aa\ BB\ Cc$
 высокие с желтыми карликовые с зелеными
 круглыми семенами круглыми семенами

F_1 : ♀/♂	aBc	aBc
AbC	$Aa\ Bb\ CC$ высокие с зелеными круглыми семенами	$Aa\ Bb\ Cc$ высокие с зелеными круг- лыми семенами
Abc	$Aa\ Bb\ Cc$ высокие с зелеными круглыми семенами	$Aa\ Bb\ cc$ высокие с зелеными мор- щинистыми семенами
abC	$aa\ Bb\ CC$ карликовые с зелеными круг- лыми семенами	$aa\ Bb\ Cc$ карликовые с зелеными круглыми семенами
abc	$aa\ Bb\ Cc$ карликовые с зелеными круг- лыми семенами	$aa\ Bb\ cc$ карликовые с зелеными морщинистыми семенами

$1\ Aa\ Bb\ CC : 2\ Aa\ Bb\ Cc : 1\ Aa\ Bb\ cc : 1\ aa\ Bb\ CC : 2\ aa\ Bb\ Cc : 1\ aa\ Bb\ cc$

- 3 высокие с зелеными круглыми семенами :
 1 высокие с зелеными морщинистыми семенами :
 3 карликовые с зелеными круглыми семенами :
 1 карликовые с зелеными морщинистыми семенами

Ответ: P : ♀ $Aa\ bb\ Cc$, ♂ $aa\ BB\ Cc$

Задача четвертого типа

От скрещивания растений ржи с нормальным колосом и красными ушками на листьях с растениями, имеющими ветвистый колос и белые ушки, были получены гибриды с нормальным колосом и красными ушками. Во втором поколении произошло расщепление на 128 растений с нормальным колосом и красными ушками, 35 - с нормальным колосом и белыми ушками, 43 - с ветвистым колосом и красными ушками, 12 - с ветвистым колосом и белыми ушками. Определите, как наследуются признаки, и каковы генотипы исходных растений и гибридов первого поколения? Какая часть растений из второго поколения с ветвистым колосом и красными ушками гомозиготна?

Краткая запись условия:

Ветвистость колоса и окраска ушков у ржи.

P : ♀ нормальный колос, красные ушки \times ♂ ветвистый колос, белые ушки

F_1 : с нормальным колосом и красными ушками

F_2 : 128 нормальный колос, красные ушки

35 нормальный колос, белые ушки

43 ветвистый колос, красные ушки

12 ветвистый колос, белые ушки

Генотипы P - ? F_1 - ? Как наследуются признаки ?

Какая часть ветвистых растений с красными ушками в F_2 гомозиготна?

Пояснение:

Из анализа F_1 следует, что нормальный колос (A) доминирует над ветвистым (a), красные ушки (B) - над белыми (b). Единообразие по фенотипу в F_1 при скрещивании P с альтернативными признаками, свидетельствует о гомозиготности исходных генотипов.

Характер расщепления в F_2 позволяет предположить дигенное аутосомное независимое наследование. Находим величину одного фенотипического класса в данном расщеплении: $218:16 = 13,7$. Тогда расщепление в опыте равно: $128:13,7=9,4$; $35:13,7=2,6$; $43:13,7=3,2$; $12:13,7=0,9$, то есть примерно $9:3:3:1$. Проверим H_0 о соответствии наблюдаемого расщепления в F_2 с расщеплению, ожидаемому при дигенном аутосомном независимом наследовании с помощью метода хи-квадрат (табл. 2).

Таблица 2

Проверка соответствия фактического расщепления теоретически ожидаемому при дигенном независимом наследовании

Показатели	Число растений				Всего
	нормальный колос		ветвистый колос		
	красные ушки	белые ушки	красные ушки	белые ушки	
p	128	35	43	12	218
Ожидаемое соотношение	9	3	3	1	16
q	123,3	41,1	41,1	13,7	218
d^2/q	0,18	0,91	0,09	0,21	1,39

Примечание: k' - число степеней свободы. $k' = k - 1$, где k – число фенотипических классов.

$\chi^2_{\text{экс.}} = 1,39$; $\chi^2_{\text{табл.}} = 7,81$, при $k' = 3$ для вероятности $P = 0,05$ (прил. 1).

$$\chi^2_{\text{табл.}} > \chi^2_{\text{экс.}}$$

Вывод: С вероятностью $P > 0,05$ H_0 подтверждается, то есть фактическое расщепление 128 : 35 : 43 : 12 соответствует теоретически ожидаемому 123,3 : 41,1 : 41,1 : 13,7. Отсюда форма колоса и окраска ушков у ржи контролируются двумя неаллельными генами, наследующимися независимо друг от друга.

Схема скрещивания:

A - нормальный колос, a - ветвистый

B - красные ушки, b - белые

P : ♀ $AA BB$ x ♂ $aa bb$

нормальный колос ветвистый колос

красные ушки белые ушки

G_1 : AB ab

F_1 : $AaBb$

нормальный колос, красные ушки

P : ♀ $AaBb$ x ♂ $AaBb$

нормальный колос, нормальный колос,

красные ушки красные ушки

F_2 : ♀/♂	AB	Ab	aB	ab
AB	$AABB$ нормальный красные	$AABb$ нор- мальный красные	$AaBB$ нор- мальный красные	$AaBb$ нор- мальный красные
Ab	$AABb$ нор- мальный красные	$AAbb$ нор- мальный белые	$AaBb$ нор- мальный красные	$Aabb$ нор- мальный белые

<i>aB</i>	<i>AaBB</i> нормальный красные	<i>AaBb</i> нормальный красные	<i>aaBB</i> ветвистый красные	<i>aaBb</i> ветвистый красные
<i>ab</i>	<i>AaBb</i> нормальный красные	<i>Aabb</i> нормальный белые	<i>aaBb</i> ветвистый красные	<i>aabb</i> ветвистый белые

1 *AABB* : 2 *AABb* : 1 *AAbb* : 2 *AaBB* : 4 *AaBb* : 2 *Aabb* : 1 *aaBB* : 2 *aaBb* : 1 *aabb*

9 нормальный колос, красные ушки : 3 нормальный колос, белые ушки : 3 ветвистый колос, красные ушки : 1 ветвистый колос, белые ушки

Ответ:

***P*: ♀ *AA BB*, ♂ *aa bb*. *F₁*: *AaBb*.** Признаки контролируются двумя неаллельными генами, наследующихся независимо: *A* - нормальный колос, *a* - ветвистый; *B* - красные ушки, *b* - белые. В *F₂* : среди растений с ветвистым колосом и красными ушками 1/3 гомозигот *aaBB*.

7.3. Примеры решения задач по взаимодействию неаллельных генов

Задача первого типа

Форма гребня у кур определяется сочетанием двух пар неаллельных генов, несцепленных друг с другом. Различным формам гребня соответствуют следующие фенотипические радикалы: *A - bb* - розовидный гребень, *aaB* - гороховидный гребень, *A - B* - ореховидный гребень, *aabb* - простой гребень. Какой может быть форма гребня в потомстве анализирующего скрещивания дигетерозиготы?

Краткая запись условия:

Форма гребня у кур: *A* - розовидная, *a* - простая;

B - гороховидная, *b* - простая, *A - B* - ореховидная

P*: ♀ *Aa Bb* x ♂ *aa bb

ореховидный

простой

***F_a* - ?**

Схема скрещивания:

P*: ♀ *Aa Bb* x ♂ *aa bb

ореховидный

простой

G₁*: *AB : Ab : aB : ab* ↓ *ab

F_a*: 1 *AaBb* : 1 *Aabb* : 1 *aaBb* : 1 *aabb

1 ореховидный : 1 розовидный : 1 гороховидный : 1 простой

Ответ: *F_a*: 1/4 с ореховидным гребнем, 1/4 розовидным, 1/4 гороховидным, 1/4 простым.

Краткая запись условия:

Пигментация кожи у человека:

1. P : ♀ белая х ♂ негр

F_1 : мулаты

2. P : ♀ мулатка х ♂ мулат

F_2 : 1 : 4 : 6 : 4 : 1 - расщепление по фенотипу, среди них черные, белые, мулаты, темные и светлые мулаты

Генотипы P -? Как наследуется признак?

Пояснение:

Единообразие в F_1 при скрещивании P с альтернативными признаками свидетельствует о гомозиготности генотипов P - белых и негров, а также гетерозиготности генотипов мулатов. Характер расщепления в F_1 второго скрещивания при предположении гетерозиготности мулатов, указывает на то, что признак определяется двумя парами генов, наследующихся независимо и взаимодействующих по типу кумулятивной полимерии. При этом наличие пигментации (A_1, A_2) доминирует над ее отсутствием (a_1, a_2). Тогда негры и белые являются соответственно доминантными и рецессивными дигомозиготами. Генотипы мулатов, светлых и темных мулатов будут различаться по числу доминантных аллелей этих двух полимерных генов.

Схема скрещивания:

A_1 - наличие темного пигмента (темная окраска),

a_1 - отсутствие пигмента (белая окраска),

A_2 - наличие темного пигмента,

a_2 - отсутствие пигмента.

1. P : ♀ $a_1a_1 a_2a_2$ х ♂ $A_1A_1 A_2A_2$
белая негр

G : a_1a_2 A_1A_2

F_1 : $A_1a_1 A_2a_2$
мулаты

2. P : ♀ $A_1a_1 A_2a_2$ х ♂ $A_1a_1 A_2a_2$
мулаты мулаты

F_1 : ♀/♂	A_1A_2	A_1a_2	a_1A_2	a_1a_2
A_1A_2	$A_1A_1 A_2A_2$ негр	$A_1A_1 A_2a_2$ темный мулат	$A_1a_1 A_2A_2$ темный мулат	$A_1a_1 A_2a_2$ мулат
A_1a_2	$A_1A_1 A_2a_2$ темный мулат	$A_1A_1 a_2a_2$ мулат	$A_1a_1 A_2a_2$ мулат	$A_1a_1 a_2a_2$ светлый мулат
a_1A_2	$A_1a_1 A_2A_2$ темный мулат	$A_1a_1 A_2a_2$ мулат	$a_1a_1 A_2A_2$ мулат	$a_1a_1 A_2a_2$ светлый мулат
a_1a_2	$A_1a_1 A_2a_2$ мулат	$A_1a_1 a_2a_2$ светлый мулат	$a_1a_1 A_2a_2$ светлый мулат	$a_1a_1 a_2a_2$ белый

$1 A_1A_1 A_2A_2 : 2 A_1A_1 A_2a_2 : 1 A_1A_1 a_2a_2 : 2 A_1a_1 A_2A_2 : 4 A_1a_1 A_2a_2 : 2 A_1a_1 a_2a_2$
 $: 1 a_1a_1 A_2A_2 : 2 a_1a_1 A_2a_2 : 1 a_1a_1 a_2a_2$

1 негр : 4 темный мулат : 6 мулат : 4 светлый мулат : 1 белый

Ответ: $P: \text{♀ } a_1a_1 a_2a_2, \text{♂ } A_1A_1 A_2A_2.$

Признак «степень пигментированности кожи» у человека определяется двумя аутосомными неаллельными генами, которые наследуются независимо и взаимодействуют по типу кумулятивной полимерии.

Задача четвертого типа

Растения ржи с опушенными цветковыми чешуями и антоцианом скрестили с растениями, имеющими неопушенные цветковые чешуи без антоциана. В первом поколении все растения имели опушенные цветковые чешуи и антоциан. Во втором поколении произошло расщепление на 102 с опушенными чешуями с антоцианом, 86 с опушенными чешуями без антоциана, 45 с неопушенными чешуями с антоцианом и 24 с неопушенными чешуями без антоциана. Как наследуются признаки? Какая часть растений из второго поколения с опушенными чешуями, но без антоциана будет гомозиготна по генам, определяющим эти признаки?

Краткая запись условия:

Опушенность цветковой чешуи и наличие антоциана у ржи посевной.

$P: \text{♀}$ опушенная цветковая чешуя, с антоцианом \times ♂ неопушенная цветковая чешуя, без антоциана

F_1 : все с опушенной цветковой чешуей с антоцианом

F_2 : 102 опушенных, с антоцианом : 86 опушенных, без антоциана :

45 неопушенных, с антоцианом: 24 неопушенных, без антоциана

Как наследуются признаки? Генотипы P - ?

Пояснение:

1. Анализ наследования опушенности цветковой чешуи:

$P: \text{♀}$ опушенная чешуя \times ♂ неопушенная чешуя

F_1 : все с опушенной чешуей

F_2 : опушенных: $102 + 86 = 188$; неопушенных: $45 + 24 = 69$

Единообразие в F_1 при скрещивании особей с альтернативными признаками указывает на гомозиготность генотипов P . В F_2 расщепление на два фенотипических класса с преобладанием растений, имеющих опушенную цветковую чешую, позволяет предположить аутосомное моногенное наследование с полным доминированием опушенности (A) над отсутствием опушения (a). Определим величину одного фенотипического класса в расщеплении при образовании F_2 : $257: 4 = 64,3$. Отсюда расщепление в опыте равно: $188: 64,3 = 2,9$; $69: 64,3 = 1,1$, то есть примерно 3:1. Проверка H_0 о соответствии наблюдаемого расщепления в F_2 с расщеплением, ожидаемым при моногенном расщеплении с полным доминированием в отношении 3:1 с помощью метода хи-квадрат гипотезу не отвергает (см. аналогичные вы-

числения в табл. 1). Отсюда: A - опушенные цветковые чешуи, a - неопушенные. Генотипы P : ♀ AA , ♂ aa .

2. Анализ наследования антоциана:

P : ♀ с антоцианом х ♂ без антоциана

F_1 : все с антоцианом

F_2 : с антоцианом: $102 + 45 = 147$; без антоциана: $86 + 24 = 110$

Единообразие в F_1 при скрещивании особей с альтернативными признаками может указывать на гомозиготность генотипов P . В F_2 наличие двух фенотипических классов позволяет предположить моногенное наследование. При этом предположении величина одного фенотипического класса в расщеплении при образовании F_2 равна: $257:4 = 64,3$. Тогда расщепление в опыте: $147 : 64,3 = 2,3$; $110 : 64,3 = 1,7$. Проверка H_0 о соответствии наблюдаемого расщепления в F_2 с расщеплением, ожидаемым при моногенном расщеплении с полным доминированием в отношении 3:1 с помощью метода хи-квадрат гипотезу не отвергает (см. аналогичные вычисления в табл. 1).

Предположим, что признак определяется дигенно. Тогда величина одного фенотипического класса в расщеплении равна $257: 16 = 16,1$. Вычислим расщепление в опыте: $147: 16,1 = 9,1$; $110: 16,1 = 6,8$, то есть примерно 9: 7. Проверка этого предположения с использованием метода хи-квадрат её не отвергает (см. аналогичные действия в табл. 2). Отсюда, наличие антоциана у ржи контролируется двумя парами неаллельных генов, которые наследуются аутосомно, независимо друг от друга и взаимодействуют по типу комплементарности. Введем обозначение генов: B - наличие антоциана, b - отсутствие антоциана; C - наличие антоциана, c - отсутствие антоциана. Генотипы исходных растений по генам B и C : ♀ $BB CC$, ♂ $bb cc$.

Схема скрещивания:

A - опушенные цветковые чешуи, a - неопушенные

$B - C$ - с антоцианом, $B - cc$, $bb C$ -, $bb cc$ - без антоциана

P : ♀ $AABBCC$ х ♂ $aa bb cc$

опушенные чешуи, неопушенные чешуи,
с антоцианом без антоциана

G : $A B C$ $a b c$

F_1 : $AaBbCc$

опушенные чешуи, с антоцианом

P : ♀ $AaBbCc$ х ♂ $AaBbCc$

опушенные чешуи, опушенные чешуи,
с антоцианом с антоцианом

F_2 : $(1AA:2Aa:1aa)$ х $(1BB:2Bb:1bb)$ х $(1CC:2Cc:1cc) =$

$1AABBCC: 2AABBCC: 1AABBcc: 2AaBBCC: 4AaBBcc: 2AaBBcc: 1aaBBCC:$
 $2aaBBCC: 1aaBBcc: 2 AABbCC: 4AABbCc: 2AABbcc: 4AaBbCC: 8AaBbCc :$

4AaBbcc: 2aaBbCC: 4aaBbCc: 2aaBbcc: 1AAbbCC: 2AAbbCc: 1AAbbcc: 2AabbCC: 4AabbCc: 2Aabbcc: 1aabbCC: 2aabbCc: 1aabbcc

27 с опушенными чешуями, с антоцианом: 21 с опушенными чешуями, без антоциана: 9 с неопушенными чешуями, с антоцианом: 7 с неопушенными чешуями, без антоциана или

(3A-: 1 aa) x (3 B- : 1 bb) x (3 C-: 1 cc) = 27 A- B- C- : 9A- B-cc: 9A- bb C- : 3A- bb cc: 9 aa B- C-: 3 aa B- cc: 3 aa bb C-: 1 aa bb cc.

Таблица 3

Проверка соответствия фактического расщепления теоретически ожидаемому при тригеном независимом наследовании

Показатели	Число растений				всего
	с опушенными чешуями		с неопушенными чешуями		
	с антоцианом	без антоциана	с антоцианом	без антоциана	
<i>p</i>	102	86	45	24	257
Ожидаемое соотношение	27	21	9	7	64
<i>q</i>	108,4	84,3	36,1	28,1	257
<i>d</i> ² / <i>q</i>	0,38	0,03	2,17	0,60	3,18

$\chi^2_{\text{экс.}} = 3,18$; $\chi^2_{\text{табл.}} = 7,81$, при $k' = 3$ для вероятности $P = 0,05$ (прил. 1)
 $\chi^2_{\text{табл.}} > \chi^2_{\text{экс.}}$

Вывод: С вероятностью $P > 0,05$ H_0 подтверждается, то есть фактическое расщепление 102 : 86 : 45 : 24 соответствует теоретически ожидаемому 108,4 : 84,3 : 36,1 : 28,1.

Ответ: P : ♀ *AABBCC*, ♂ *aa bb cc*. Опушенность цветковой чешуи у ржи наследуется аутосомно моногенно, при полном доминировании опушенности над неопушенностью. Наличие антоциана определяется двумя аутосомными генами, которые наследуются независимо друг от друга и взаимодействуют по типу комплементарности.

Примечание: В решении задачи расщепление по генотипу и фенотипу выписано при использовании алгебраического метода [8]. При применении другого способа F_2 можно выписывать с использованием решетки Пеннета.

7.4. Примеры решения задач по наследованию признаков, сцепленных с полом

Задача первого типа

У кошек черную окраску шерсти контролирует доминантная аллель гена, находящегося в X-хромосоме, рыжую - его рецессивная аллель. Гетерозиготные по этому гену кошки имеют черепаховую окраску из чередующихся черных и рыжих пятен. Какое потомство следует ожидать при скрещивании черной кошки с рыжим котом?

Краткая запись условия:

Окраска шерсти у кошек:
 \underline{B} - черная, \underline{b} - рыжая, $\frac{B}{b}$ - черепаховая.

P : ♀ $\frac{B}{B}$ x ♂ $\frac{b}{b}$
 черная рыжий

F_1 - ?

Схема скрещивания:

$I. P$: ♀ $\frac{B}{B}$ x ♂ $\frac{b}{b}$
 черная рыжий

G : $\frac{B}{B}$: $\frac{b}{b}$: \rightarrow
 F_1 : $1 \frac{B}{b}$: $1 \frac{B}{b}$

1 ♀ черепаховая : 1 ♂ черный

Ответ:

F_1 : $\frac{1}{2}$ ♀ черепаховые, $\frac{1}{2}$ ♂ черные

Задача второго типа № 1

У человека гемофилия - рецессивный, сцепленный с полом признак. Нормальный в отношении гемофилии мужчина вступает в брак с нормальной женщиной, отец которой был гемофиликом. Определите вероятность рождения в этой семье здоровых детей.

Краткая запись условия:

Гемофилия у человека:
 \underline{H} - здоровый человек,
 \underline{h} - больной гемофилией.

Отец P ♀ : $\frac{h}{Y}$ - гемофилик

P : ♀ $\frac{H}{-}$ x ♂ $\frac{H}{Y}$
 здоровая здоровый

P рождения здоровых F_1 - ?

Пояснение:

Генотип P ♀ гетерозиготный, поскольку от отца она может получить с гаметой X - хромосому только с аллелью h . Однако, она имеет доминантный фенотип, это указывает на то, что во второй X -хромосоме находится H .

Схема скрещивания:

P : ♀ $\frac{H}{h}$ x ♂ $\frac{H}{Y}$

G : $\frac{H}{H}$: $\frac{h}{h}$: $\frac{H}{Y}$: $\frac{H}{Y}$: \rightarrow

F_1 : $1 \frac{H}{H}$: $1 \frac{H}{h}$: $1 \frac{H}{Y}$: $1 \frac{h}{Y}$

2 ♀ здоровые : 1 ♂ здоровые : 1 ♂ гемофилия

Ответ: Вероятность рождения здоровых детей равна 75 %.

Задача второго типа № 2

У канареек зеленая окраска – доминантный, сцепленный с полом признак, а коричневая – рецессивный. Наличие хохолка определяет доминантный аутосомный ген, отсутствие хохла – его рецессивная аллель. Зеленую хохлатую самку скрестили с самцом, имеющим такой же фенотип. От них получено 2 птенца: зеленый хохлатый самец и коричневая без хохла самочка. Определите генотипы родителей.

Краткая запись условия:

Окраска оперения и хохлатость у кур:

\underline{B} - зеленая окраска, \underline{b} - коричневая;

C – наличие хохла, c – отсутствие хохла.

$P: \text{♀ } \frac{B}{-} C-$ х $\text{♂ } \frac{B}{-} C-$
 зеленая хохлатая зеленый хохлатый

$F_1: \text{♂ } \frac{B}{-} C-$; $\text{♀ } \frac{b}{-} cc$
 зеленый хохлатый коричневая без хохла

Генотипы P - ?

Пояснение:

Известно, что у птиц гомогаметным является мужской пол, а гетерогаметным – женский. Появление в F_1 самок с коричневым оперением и без хохла с генотипом $\underline{b} cc$ указывает на наличие в X – хромосоме отца рецессивной аллели \underline{b} гена, определяющего окраску, и гетерозиготность обоих P по гену хохлатости.

Схема скрещивания:

$P: \text{♀ } \frac{B}{-} Cc$ х $\text{♂ } \frac{B}{b} Cc$
 зеленая хохлатая зеленый хохлатый

F_1 ♀/♂	$\underline{B C}$	$\underline{B c}$	$\underline{b C}$	$\underline{b c}$
$\underline{B C}$	$\frac{B}{B} Cc$ ♂ зеленый хохлатый	$\frac{B}{B} Cc$ ♂ зеленый хохлатый	$\frac{B}{b} Cc$ ♂ зеленый хохлатый	$\frac{B}{b} Cc$ ♂ зеленый хохлатый
$\underline{B c}$	$\frac{B}{B} Cc$ ♂ зеленый хохлатый	$\frac{B}{B} cc$ ♂ зеленый без хохла	$\frac{B}{b} Cc$ ♂ зеленый хохлатый	$\frac{B}{b} cc$ ♂ зеленый без хохла
$\rightarrow C$	$\frac{B}{\rightarrow} Cc$ ♀ зеленая хохлатая	$\frac{B}{\rightarrow} Cc$ ♀ зеленая хохлатая	$\frac{b}{\rightarrow} Cc$ ♀ коричневая хохлатая	$\frac{b}{\rightarrow} Cc$ ♀ коричневая хохлатая
$\rightarrow c$	$\frac{B}{\rightarrow} Cc$ ♀ зеленая хохлатая	$\frac{B}{\rightarrow} cc$ ♀ зеленая без хохла	$\frac{b}{\rightarrow} Cc$ ♀ коричневая хохлатая	$\frac{b}{\rightarrow} cc$ ♀ коричневая без хохла

$$1 \frac{B}{B} Cc : 2 \frac{B}{B} Cc : 1 \frac{B}{b} Cc : 2 \frac{B}{b} Cc : 1 \frac{B}{B} cc : 1 \frac{B}{b} cc :$$

$$1 \frac{B}{\rightarrow} Cc : 2 \frac{B}{\rightarrow} Cc : 1 \frac{B}{\rightarrow} cc : 1 \frac{b}{\rightarrow} Cc : 2 \frac{b}{\rightarrow} Cc : 1 \frac{b}{\rightarrow} cc$$

6 ♂ зеленых, хохлатых : 2 ♂ зеленых, без хохла : 3 ♀ зеленых, хохлатых : 1 ♀ зеленых, без хохла : 3 ♀ коричневых, хохлатых : 1 ♀ коричневых, без хохла

Ответ: Генотипы P: ♀ $\frac{B}{\rightarrow} Cc$; ♂ $\frac{B}{b} Cc$.

Задача третьего типа

У двудомного растения дремы проведено два реципрокных скрещивания. При опылении широколистных растений дремы пыльцой узколистных растений все потомство имело широкие листья, а во втором поколении 1/4 часть потомства имела узкие листья и образовывала тычиночные цветки. В реципрокном скрещивании в потомстве первого поколения узкие листья имели только мужские растения, широкие - только женские растения. Как наследуется ширина листа у дремы? Что следует ожидать во втором поколении реципрокного скрещивания?

Краткая запись условия:

Ширина листьев у дремы.

1. P: ♀ с широкими листьями x ♂ с узкими листьями

F_1 : с широкими листьями
 F_2 : $\frac{1}{4}$ с узкими листьями ♂ пола
 2. P : ♀ с узкими листьями x ♂ с широкими листьями
 F_1 : ♀ с широкими листьями, ♂ с узкими листьями

Как наследуются признаки? F_2 для скрещивания № 2 - ?

Пояснение:

Анализ F_1 прямого скрещивания позволяет предположить, что широкие листья (A) доминируют над узкими (a). В F_2 1-го скрещивания $\frac{1}{4}$ растений с узкими листьями, тогда остальные $\frac{3}{4}$ имеют широкие листья, то есть наблюдается расщепление, характерное для моногенного наследования. При этом проявление в F_2 рецессивного признака только у особей с мужскими цветками и крисс-кросс-наследование в реципрокном скрещивании позволяют утверждать, что признак сцеплен с полом. При этом характер наследования признака в поколениях указывает на гомогаметность женского пола. В первом скрещивании женская особь имеет доминантный гомозиготный генотип, поскольку в F_1 отмечается единообразие по признаку. Крисс-кросс-наследование наблюдается при рецессивном гомозиготном генотипе P гомогаметного пола, то есть

$$\text{♀ } \frac{a}{a}; \text{ ♂ } \frac{A}{\rightarrow}$$

Схемы скрещивания:

A - широкие листья, a - узкие листья.

$$\begin{array}{l}
 \text{1. } P: \text{♀ } \frac{A}{A} \quad \times \quad \text{♂ } \frac{a}{\rightarrow} \\
 \text{G:} \quad \text{широкне} \quad \quad \quad \text{узкне} \\
 \quad \quad \frac{A}{A} \quad \quad \quad \frac{a}{\rightarrow} \\
 F_1: \quad \quad \quad 1 \frac{A}{a} \quad : \quad 1 \frac{A}{\rightarrow} \\
 \quad \quad \quad 1 \text{♀ широкне} : 1 \text{♂ широкне}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 P: \text{♀ } \frac{A}{a} \quad \times \quad \text{♂ } \frac{A}{\rightarrow} \\
 \quad \quad \text{широкне} \quad \quad \quad \text{широкне} \\
 G: \quad \frac{A}{A} : \frac{a}{\rightarrow} \quad \quad \quad \frac{A}{A} : \rightarrow \\
 F_2: 1 \frac{A}{A} : 1 \frac{A}{a} : 1 \frac{A}{\rightarrow} : 1 \frac{a}{\rightarrow} \\
 \quad \quad 2 \text{♀ широкне} : 1 \text{♂ широкне} : 1 \text{♂ узкне}
 \end{array}$$

Пояснение:

1. Анализ наследования окраски глаз:

P : ♀ коричневые глаза х ♂ красные глаза

F_1 : ♀ и ♂ красноглазые

F_2 : с красными глазами: ♀ 161 + ♂ 76 + ♂ 80 = 317:

с коричневыми глазами: ♀ 42 + ♂ 26 + ♂ 18 = 86

Единообразие в F_1 позволяет предположить гомозиготность генотипов P и доминирование красноглазости над коричневыми глазами. В F_2 расщепление на два фенотипических класса с преобладанием красноглазости у особей обоих полов свидетельствует об аутосомном моногенном наследовании окраски глаз. Определим величину одного возможного сочетания гамет при образовании F_2 : $403 : 4 = 100,8$. Отсюда расщепление в опыте равно: $317 : 100,8 = 3,2$; $86 : 100,8 = 0,9$, то есть примерно 3 : 1. Проверим H_0 о соответствии наблюдаемого расщепления в F_2 с расщеплением, ожидаемым при таком типе наследования с помощью метода хи-квадрат (см. аналогичные действия в табл. 1). Введем обозначение генов: A - красные глаза, a - коричневые. Генотипы P : ♀ aa , ♂ AA .

2. Анализ наследования формы крыла:

P : ♀ нормальные крылья х ♂ обрезанные крылья

F_1 : ♀ и ♂ с нормальными крыльями

F_2 : с нормальными крыльями: ♀ 161 + ♀ 42 + ♂ 76 + ♂ 26 = 305,

с обрезанными крыльями: ♂ 80 + ♂ 18 = 98

Единообразие в F_1 при скрещивании P с альтернативными признаками позволяет предположить, что генотипы P гомозиготны и нормальная форма крыла (B) доминирует над обрезанной (b). В F_2 наблюдали два фенотипических класса потомков, причем рецессивный признак имеют только потомки мужского пола. Это позволяет утверждать, что признак определяется моногенно, сцепленно с полом и гомогаметный пол имеет доминантный гомозиготный генотип $\frac{B}{B}$, а гетерогаметный пол - гемизиготный генотип $\frac{b}{Y}$. Определим величину одного возможного сочетания гамет: $403 : 4 = 100,8$. Тогда расщепление в опыте равно: $305 : 100,8 = 3,03$; $98 : 100,8 = 0,97$, то есть примерно 3 : 1. Проверим H_0 о соответствии наблюдаемого расщепления в F_2 с расщеплением, ожидаемым при таком типе наследования с помощью метода хи-квадрат (см. аналогичные действия в табл. 1).

Схема скрещивания:

A - красные глаза, a - коричневые

B - нормальные крылья, b - обрезанные крылья

$1. P: \text{♀ } aa \frac{B}{B} \quad \times \quad \text{♂ } AA \frac{b}{b}$
 коричневые глаза красные глаза
 нормальные крылья обрезанные крылья
 $G: \quad a \underline{B} \quad \quad A \underline{b} : A \rightarrow$
 $F_1: \quad 1 \quad Aa \frac{B}{b} : 1 \quad Aa \frac{B}{b}$
 1 ♀ красные глаза : 1 ♂ красные глаза
 нормальные крылья нормальные крылья
 $P: \quad \text{♀ } Aa \frac{B}{b} \quad \times \quad \text{♂ } Aa \frac{B}{b}$
 красные глаза красные глаза
 нормальные крылья нормальные крылья

$F_1: \text{♀/♂}$	$A \underline{B}$	$a \underline{B}$	$A \rightarrow$	$a \rightarrow$
$A \underline{B}$	$AA \frac{B}{B}$ ♀ красные нормальные	$Aa \frac{B}{B}$ ♀ красные нормальные	$AA \frac{B}{b}$ ♂ красные нормальные	$Aa \frac{B}{b}$ ♂ красные нормальные
$A \underline{b}$	$AA \frac{B}{b}$ ♀ красные нормальные	$Aa \frac{B}{b}$ ♀ красные нормальные	$AA \frac{b}{b}$ ♂ красные обрезанные	$Aa \frac{b}{b}$ ♂ красные обрезанные
$a \underline{B}$	$Aa \frac{B}{B}$ ♀ красные нормальные	$aa \frac{B}{B}$ ♀ коричневые нормальные	$Aa \frac{B}{b}$ ♂ красные нормальные	$aa \frac{B}{b}$ ♂ коричневые нормальные
$a \underline{b}$	$Aa \frac{B}{b}$ ♀ красные нормальные	$aa \frac{B}{b}$ ♀ коричневые нормальные	$Aa \frac{b}{b}$ ♂ красные обрезанные	$aa \frac{b}{b}$ ♂ коричневые обрезанные

$1AA \frac{B}{B} : 1AA \frac{B}{b} : 2Aa \frac{B}{B} : 2Aa \frac{B}{b} : 1aa \frac{B}{B} : 1aa \frac{B}{b} :$

$1AA \frac{B}{b} : 2Aa \frac{B}{b} : 2Aa \frac{b}{b} : 1AA \frac{b}{b} : 1aa \frac{B}{b} : 1aa \frac{b}{b}$

6 ♀ красные нормальные : 2 ♀ коричневые нормальные : 3 ♂ красные нормальные : 3 ♂ красные обрезанные : 1 ♂ коричневые нормальные : 1 ♂ коричневые обрезанные

Таблица 4

Проверка соответствия фактического расщепления теоретически ожидаемому при независимом наследовании признаков с аутосомным и сцепленным с полом наследованием

Показатели	Число особей в F_2								всего
	нормальные				обрезанные				
	красные		коричневые		красные		коричневые		
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	
p	161	76	42	26	0	80	0	18	403
Ожидаемое соотношение	6	3	2	1	0	3	0	1	16
q	151,1	75,6	50,4	25,2	0	75,6	0	25,2	403
d^2/q	0,64	0,002	1,40	0,03	0	0,26	0	2,05	4,38

$$\chi^2_{\text{эсп.}} = 4,38; \chi^2_{\text{табл.}} = 11,1, \text{ при } k' = 6 - 1. k' = 5 (\chi^2_{\text{табл.}} \text{ см. прил. 1})$$

$$\chi^2_{\text{табл.}} > \chi^2_{\text{эсп.}}$$

Вывод: С вероятностью $P > 0,05 H_0$ подтверждается, то есть фактическое расщепление 161:76:42:26:80:18 соответствует теоретически ожидаемому 151,1:75,6:50,4: 25,2:75,6:25,2.

Ответ:

Окраска глаз у дрозофилы наследуется аутосомно моногенно, при полном доминировании красных глаз над коричневыми. Форма крыла у дрозофилы наследуется моногенно, сцепленно с полом, при полном доминировании нормальной формы крыла над обрезанной.

$$\text{Генотипы } P: \text{♀ } aa \frac{B}{B}, \text{♂ } AA \frac{b}{b}$$

Задача первого типа к разделу 4.5.

У мужчин аутосомный ген лысости выступает как доминантный, а у женщин он рецессивен. Женщина, имеющая гетерозиготный генотип, выходит замуж за нормального мужчину. Какова вероятность рождения в этом браке лысого сына?

Краткая запись условия:

Лысость у человека:

♀: A – лысые, a – нормальные, Aa – нормальные;

♂: A – лысые, a – нормальные, Aa – лысые.

P : ♀ Aa x ♂ aa

_____ нормальная нормальный _____

p лысой ♀ в F_1 ?

Схема скрещивания:

$$\begin{array}{l}
 P: \quad \text{♀} \quad Aa \quad \times \quad \text{♂} \quad aa \\
 \quad \quad \text{нормальная} \quad \quad \quad \text{нормальный} \\
 G: \quad \quad A : a \quad \quad \quad a \\
 F_1: \quad \quad 1 Aa : 1 aa \\
 \quad \quad \text{♀: 1 нормальная : 1 нормальная} \\
 \quad \quad \text{♂: 1 лысый : 1 нормальный}
 \end{array}$$

Вероятность появления лысого сына равна 0,5. Вероятность рождения мальчиков также равна 0,5. Оба события независимые. Следовательно, вероятность появления лысых мальчиков равна: $0,5 \times 0,5 = 0,25$.

Ответ:

p рождения лысого сына в F_1 данного скрещивания равна 0,25 (или $\frac{1}{4}$, или 25 %)

5.1. Примеры решения задач по сцеплению и кроссинговеру

Задача первого типа № 1

У дрозофилы ген нормального цвета глаз доминирует над геном белой окраски, ген аномального строения брюшка доминирует над геном нормального строения. Гены расположены в X-хромосоме на расстоянии 3 морганид. Определите вероятные фенотипы в потомстве от скрещивания гетерозиготной по обоим генам самки с самцом, имеющим белые глаза и аномальное брюшко.

Краткая запись условия:

Окраска глаз и строение брюшка у дрозофилы.

A - красные глаза, a - белые

B - аномальное строение брюшка, b - нормальное.

Расстояние между генами A и B - 3 сантиморгана.

$$\begin{array}{l}
 P: \quad \text{♀} \quad \frac{A \ B}{a \ b} \quad \times \quad \text{♂} \quad \frac{a \ B}{} \\
 \quad \text{красноглазая с} \quad \quad \quad \text{белоглазый с} \\
 \quad \text{аномальным брюшком} \quad \quad \quad \text{аномальным брюшком}
 \end{array}$$

Вероятные фенотипы F_1 ?

Схема скрещивания:

$$\begin{array}{l}
 P: \quad \text{♀} \quad \frac{A \ B}{a \ b} \quad \times \quad \text{♂} \quad \frac{a \ B}{} \\
 \quad \text{красноглазая с} \quad \quad \quad \text{белоглазый с} \\
 \quad \text{аномальным брюшком} \quad \quad \quad \text{аномальным брюшком}
 \end{array}$$

$F_1: \text{♀/♂}$	50,0 % \underline{aB}	50,0 % $\underline{\quad}$
48,5 % \underline{AB}	$\frac{AB}{aB}$ 24,25% красноглазая с аномальным брюшком	$\frac{AB}{\quad}$ 24,25% красноглазый с аномальным брюшком
48,5 % \underline{ab}	$\frac{aB}{ab}$ 24,25% белоглазая с аномальным брюшком	$\frac{ab}{\quad}$ 24,25% белоглазый с нормальным брюшком
1,5 % \underline{Ab}	$\frac{Ab}{aB}$ 0,75% красноглазая с аномальным брюшком	$\frac{Ab}{\quad}$ 0,75% красноглазый с нормальным брюшком
1,5 % \underline{aB}	$\frac{aB}{aB}$ 0,75% белоглазая с аномальным брюшком	$\frac{aB}{\quad}$ 0,75% белоглазый с аномальным брюшком

$$24,25\% \frac{AB}{aB} : 24,25\% \frac{ab}{aB} : 0,75\% \frac{Ab}{aB} : 0,75\% \frac{aB}{aB} :$$

$$24,25\% \frac{AB}{\quad} : 24,25\% \frac{ab}{\quad} : 0,75\% \frac{Ab}{\quad} : 0,75\% \frac{aB}{\quad}$$

0,75% красноглазые с нормальным брюшком: 49,25% красноглазые с аномальным брюшком: 49,25% белоглазые с нормальным брюшком: 0,75% белоглазые с аномальным брюшком

Ответ:

Вероятные фенотипы F_1 : 0,75% красноглазые с нормальным брюшком : 49,25% красноглазые с аномальным брюшком : 49,25% белоглазые с нормальным брюшком : 0,75% белоглазые с аномальным брюшком.

Задача второго типа

У дрозофилы во второй хромосоме в локусе 48,5 находится ген черной окраски тела, а в локусе 54,5 - ген пурпурного цвета глаз. Оба гена рецессивны. При скрещивании самки и самца дикого типа 23,5% потомства составили особи с черным цветом тела и пурпурными глазами. Определите генотипы родителей.

Краткая запись условия:

Окраска глаз и окраски тела у дрозофилы:

b - черное тело, b^+ - серое;

pr - пурпурные глаза, pr^+ - красные.

b находится в локусе 48,5, pr - в локусе 54,5

P: ♀ $b^+ - pr^+ -$ x ♂ $b^+ - pr^+ -$
 серое тело, красные глаза серое тело, красные глаза
F₁ : 23,5 % $b b pr pr$
 черное тело, пурпурные глаза

Генотипы **P** - ?

Пояснение:

Появление в **F₁** особей с генотипом $bb prpr$ указывает на гетерозиготность генотипов **P** по обоим генам ($b^+ b pr^+ pr^+$). Для выяснения хромосомного изображения генотипа **P** необходимо определить, какие гаметы являются некрссоверными. Поскольку у самцов дрозофилы кроссинговер не происходит даже в аутосомах, то дигетерозиготный самец, у которого есть потомки с генотипом $bb prpr$, образует два типа некрссоверных гамет ($b pr$, $b^+ pr^+$) с частотой по 50 %. Исходя из частоты потомков с черным телом и пурпурными глазами с генотипом $bbprpr$ и частоты гаметы $b pr$, которую образует особь мужского пола вычислим частоту гаметы $b pr$, которую образует женская особь: $23,5 \cdot 100 : 50 = 47,0\%$. Реципрокный тип гамет $b^+ pr^+$ образуется женской особью с такой же частотой, поскольку эти гаметы - результат одного события. Оба типа гамет являются некрссоверными, так как в сумме они составляют больше 50%. Крссоверные гаметы $b^+ pr$ и $b pr^+$ образуются с частотой по 3,0 % $[(100 - 47 \cdot 2) : 2]$. Тогда генотип женской особи: $\frac{b^+ pr^+}{b pr}$

Схема скрещивания:

P: ♀ $\frac{b^+ pr^+}{b pr}$ x ♂ $\frac{b^+ pr^+}{b pr}$
 серое тело серое тело
 красные глаза красные глаза

F₁ : ♀ / ♂	50 % $b^+ pr^+$	50% $b pr$
47% $b^+ pr^+$	23,5 % $\frac{b^+ pr^+}{b^+ pr^+}$ серое тело, красные глаза	23,5 % $\frac{b^+ pr^+}{b pr}$ серое тело, красные глаза
47% $b pr$	23,5 % $\frac{b^+ pr^+}{b pr}$ серое тело, красные глаза	23,5 % $\frac{b pr}{b pr}$ черное тело, пурпурные глаза
3 % $b^+ pr$	1,5 % $\frac{b^+ pr^+}{b^+ pr}$ серое тело, красные глаза	1,5 % $\frac{b^+ pr}{b pr}$ серое тело, пурпурные глаза
3 % $b pr^+$	1,5 % $\frac{b^+ pr^+}{b pr^+}$ серое тело, красные глаза	1,5 % $\frac{b pr^+}{b pr}$ черное тело, красные глаза

$$23,5\% \frac{b^+ pr^+}{b^+ pr^+} : 47,0\% \frac{b^+ pr^+}{b pr} : 23,5\% \frac{b pr}{b pr} : 1,5\% \frac{b^+ pr^+}{b^+ pr} :$$

$$1,5\% \frac{b^+ pr^+}{b pr^+} : 1,5\% \frac{b^+ pr}{b pr} : 1,5\% \frac{b pr^+}{b pr}$$

73,5% серое тело красные глаза : 1,5% серое тело пурпурные глаза :
1,5% черное тело красные глаза : 23,5% черное тело пурпурные глаза

Ответ: P : ♀ $\frac{b^+ pr^+}{b pr}$, ♂ $\frac{b^+ pr^+}{b pr}$

Примечание: В решении задачи использована принятая для дрозофилы символика [10]

Задача третьего типа

Известно, что окраска тела и длина крыла у дрозофилы контролируются аутосомными генами. При скрещивании самок дикого типа с самцами, имеющими темное тело и зачаточные крылья, все потомки первого поколения были дикого типа, а во втором поколении особи с черным телом и зачаточными крыльями составили 20,8 %. Как наследуются признаки? Каковы генотипы исходных особей? С какой вероятностью в потомстве второго поколения появятся особи других фенотипических классов?

Краткая запись условия:

Окраска глаз и длина крыла у дрозофилы.

P : ♀ дикий тип ♂ темное тело, зачаточные крылья

F_1 : все дикого типа

F_2 : 20,8 % с темным телом и зачаточными крыльями _____

Как наследуются признаки? Генотипы P - ? В F_2 вероятность особей других фенотипических классов - ?

Пояснение:

Единообразие в F_1 при скрещивании особей с альтернативными признаками указывает на гомозиготность генотипов P и доминирование признаков дикого типа, то есть серое тело (b^+) доминирует над темным (b), крылья нормальной длины (vg^+) - над зачаточными (vg). В случае независимого наследования обоих генов, в F_2 ожидалось бы расщепление 9:3:3:1, в котором 1/16 (6,2%) составили бы особи с темным телом и зачаточными крыльями. Фактически особей с таким фенотипом значительно больше. Отсюда, следует признать, что данные гены наследуются сцепленно, и они локализованы в одной аутосоме (в F_2 не проявляются особенности сцепленного с полом наследования).

Вычислим частоту гамет, образуемых F_1 . Поскольку исходные P имеют доминантный и рецессивный дигомозиготные генотипы, то все F_1 - дигете-

F_1 : ♀/♂	50 % $\underline{b^+ vg^+}$	50% $\underline{b vg}$
41,6% $\underline{b^+ vg^+}$	20,8 % $\frac{\underline{b^+ vg^+}}{\underline{b^+ vg^+}}$ серое тело, нормальные крылья	20,8 % $\frac{\underline{b^+ vg^+}}{\underline{b vg}}$ серое тело, нормальные крылья
41,6% $\underline{b vg}$	20,8 % $\frac{\underline{b^+ vg^+}}{\underline{b vg}}$ серое тело, нормальные крылья	20,8 % $\frac{\underline{b vg}}{\underline{b vg}}$ черное тело, зачаточные крылья
8,4 % $\underline{b^+ vg}$	4,2 % $\frac{\underline{b^+ vg^+}}{\underline{b^+ vg}}$ серое тело, нормальные крылья	4,2 % $\frac{\underline{b^+ vg}}{\underline{b vg}}$ серое тело, зачаточные крылья
8,4 % $\underline{b vg^+}$	4,2 % $\frac{\underline{b^+ vg^+}}{\underline{b vg^+}}$ серое тело, нормальные крылья	4,2 % $\frac{\underline{b vg^+}}{\underline{b vg}}$ черное тело, нормальные крылья

$$23,5\% \frac{\underline{b^+ vg^+}}{\underline{b^+ vg^+}} : 47,0\% \frac{\underline{b^+ vg^+}}{\underline{b vg}} : 23,5\% \frac{\underline{b vg}}{\underline{b vg}} : 1,5\% \frac{\underline{b^+ vg^+}}{\underline{b^+ vg^+}} :$$

$$1,5\% \frac{\underline{b^+ vg^+}}{\underline{b vg^+}} : 1,5\% \frac{\underline{b^+ vg}}{\underline{b vg}} : 1,5\% \frac{\underline{b vg^+}}{\underline{b vg}}$$

70,8 % серое тело, нормальные крылья : 4,2 % серое тело, зачаточные крылья : 4,2 % темное тело, нормальные крылья : 20,8 % темное тело, зачаточные крылья.

Ответ:

Гены окраски тела и формы крыла у дрозофилы наследуются сцепленно и локализованы в аутосоме. Серое тело доминирует над темным, нормальные крылья - над зачаточными.

Генотипы P: ♀ $\frac{\underline{b^+ vg^+}}{\underline{b^+ vg^+}}$; ♂ $\frac{\underline{b vg}}{\underline{b vg}}$.

В F_2 могут еще появиться 70,8% особей с серым телом и нормальными крыльями, 4,2 % - с серым телом и зачаточными крыльями, 4,2 % - с темным телом и нормальными крыльями.

Примечание: В решении задачи использована принятая для дрозофилы символика [10].

Задача четвертого типа № 1

Гомозиготное стелющееся растение гороха с окрашенными цветками скрестили с гомозиготным кустистым растением с белыми цветками. Во втором поколении от этого скрещивания получили расщепление на 128 растений стелющихся с окрашенными цветками, 20 стелющихся с белыми цветками, 22 кустистых с окрашенными цветками, 30 кустистых с белыми цветками. Объясните полученные результаты.

Краткая запись условия:

Форма стебля и окраска цветков у гороха:

P : ♀ стелющиеся с окрашенными цветками х ♂ кустистые с белыми цветками

F_2 : 128 стелющиеся с окрашенными цветками

20 стелющиеся с белыми цветками

22 кустистые с окрашенными цветками

30 кустистые с белыми цветками

Объясните полученные результаты.

Решение:

1. Анализ наследования формы куста

P : ♀ стелющиеся х ♂ кустистые

F_1 : стелющихся: $128 + 20 = 148$

кустистые: $30 + 22 = 52$

Расщепление в F_2 на два фенотипических класса с преобладанием стелющихся растений позволяет предположить моногенное аутосомное наследование при полном доминировании стелющейся формы (A) над кустистой (a). Определим величину одного фенотипического класса в расщеплении в F_2 : $200 : 4 = 50$. Отсюда, расщепление в опыте: $146 : 50 = 2,9$; $52 : 50 = 1,0$; то есть примерно 3:1. Проверим H_0 о соответствии наблюдаемого расщепления в F_2 с расщеплением, ожидаемым при аутосомном моногенном наследовании с помощью метода хи-квадрат, который ее не отвергает (см. аналогичное действие в табл. 1). Тогда генотипы P : ♀ AA , ♂ aa .

2. Анализ наследования окраски цветков

P : ♀ окрашенные цветки х ♂ неокрашенные (белые) цветки

F_2 : окрашенные: $128 + 22 = 150$

белые: $20 + 30 = 50$

Расщепление по данному признаку в F_2 идеально соответствует аутосомному моногенному наследованию, при этом окрашенные цветки (B) полностью доминируют над неокрашенными (b). Генотипы исходных растений по гену, отвечающему за окрашенность цветков: ♀ BB , ♂ bb .

3. Анализ совместного наследования признаков.

В F_2 наблюдается расщепление, отличающееся от расщепления, характерного для аутосомного дигенного наследования (9:3:3:1), поэтому можно предположить, что признаки наследуются сцепленно. Появление в F_2 четырех фенотипических классов свидетельствует о произошедшем кроссинговере. Для определения частоты гамет образуемых потомками F_1 и определения величины кроссинговера используем данные о частоте рецессивных дигомозигот в F_2 . Она равна $30 : 200 = 0,15$ (или 15 %). Отсюда частота некроссоверных гамет ab равна $\sqrt{0,15} = 0,39$. Поскольку оба класса некроссоверных гамет являются результатами одного события, то их частоты одинаковы, то есть частота гаметы AB равна 0,39. Суммарная доля кроссоверных гамет равна $1 - 2 \cdot 0,39 = 0,22$ (или 22%). Отсюда расстояние между ге-

Таблица 5

Проверка соответствия фактического расщепления теоретически ожидаемому при аутосомном сцепленном наследовании

Показатели	Число растений				всего
	стелющихся		кустистых		
	окрашенных	белых	окрашенных	белых	
p	138	20	22	30	200
Ожидаемое соотношение	65,2	9,8	9,8	15,21	100
q	130,4	19,6	19,6	30,4	200
d^2/q	0,44	0,01	0,30	0,01	0,76

$\chi^2_{\text{экс.}} = 0,76$; $\chi^2_{\text{табл.}} = 7,81$, при $k' = 3$ для вероятности $P = 0,05$ ($\chi^2_{\text{табл.}}$ см. прил. 1). $\chi^2_{\text{табл.}} > \chi^2_{\text{экс.}}$

Вывод: С вероятностью $P > 0,05$ H_0 подтверждается, то есть фактическое расщепление 138 : 20 : 22 : 30 соответствует теоретически ожидаемому 130,4 : 19,6 : 19,6 : 30,4. Отсюда форма стебля и окраска цветков у гороха контролируются двумя неаллельными аутосомными генами, наследующимися сцепленно, при расстоянии между генами анализируемых признаков 22% (сантиморгана).

Ответ:

Признаки «форма куста» и «окрашенность цветка» наследуются аутосомно моногенно. Стелющаяся форма куста доминирует над кустистой, окрашенные цветки над белыми. Оба гена наследуются сцепленно при расстоянии между генами анализируемых признаков 22%.

Задача четвертого типа № 2

У кукурузы сморщенность листьев, карликовость растений и глянцеvitость всходов контролируются тремя рецессивными генами. В анализирующем скрещивании тригетерозиготы получено следующее расщепление: 522 потомка с гладкими листьями, нормальным ростом и неглянцевитыми всходами, 533 - с гладкими листьями, нормальным ростом, глянцеvitыми всходами, 113 - с гладкими листьями, карликовым ростом и неглянцевитыми всходами, 117 - с гладкими листьями, карликовым ростом и глянцеvitыми всходами, 120 - со сморщенными листьями, нормальным ростом и неглянцевитыми всходами, 112 - со сморщенными листьями, нормальным ростом, глянцеvitыми всходами, 537 - со сморщенными листьями, карликовым ростом и неглянцевитыми листьями, 530 - со сморщенными листьями, карликовым ростом и глянцеvitыми всходами. Объясните расщепление. Определите генотип гетерозиготного родительского растения.

Краткая запись условия:

Морщинистость листьев, рост растений и глянцеvitости всходов у кукурузы.

A - гладкие листья, *a* - сморщенные листья;

B — нормальный рост, *b* – карликовый;

C - неглянцевые всходы, *c* – глянцевые

P: ♀ *Aa Bb Cc* × ♂ *aa bb cc*

гладкие листья сморщенные листья

нормальный рост карликовый рост

неглянцевые всходы глянцевые всходы

F_a : 522 - гладкие листья, нормальный рост, неглянцевые всходы,

533 - гладкие листья, нормальный рост, глянцевые всходы,

113 - гладкие листья, карликовый рост, неглянцевые всходы,

117- гладкие листья, карликовый рост, глянцевые всходы,

120 - сморщенные листья, нормальный рост, неглянцевые всходы,

112 - сморщенные листья, нормальный рост, глянцевые всходы,

537 - сморщенные листья, карликовый рост, неглянцевые всходы

530 - сморщенные листья, карликовый рост, глянцевые всходы Ге-

нотипы *P* - ? Объясните расщепление.

Пояснение:

1. Анализ совместного наследования генов *A* и *B*:

	гладкие нормальные	гладкие карлики	сморщенные нормальные	сморщенные карлики
	522	113	120	537
	<u>533</u>	117	112	530
Всего:	1055	230	232	1067

При независимом наследовании генов *A* и *B* в *F_a* дигетерозиготы ожидалось бы расщепление 1:1:1:1. Характер расщепления в *F_a* данного скрещивания позволяет предположить неполное сцепленное наследование, причем кроссоверными по генам *A* и *B* являются потомки с гладкими листьями и карликовым ростом, со сморщенными листьями и карликовым ростом, так как эти два реципрокных класса потомков составят в сумме меньше 50 % от общего числа потомков. Соответственно некроссоверными по рассматриваемым двум генам являются гаметы – *AB* и *ab*, то есть эти гены в гетерозиготный генотип родителя входят в

A B
состоянии «притяжения»: *a b*.

Расстояние между генами *A* и *B* равно $\frac{(230 + 232) \cdot 100}{2584} = 17,9\%$

2. Анализ совместного наследования генов *B* и *C*:

	нормальные неглянцевые	нормальные глянцевые	карлики неглянцевые	карлики глянцевые
	522	533	113	117
	120	112	537	530
Всего:	642	645	650	647

<u><i>Ab</i></u> <u><i>C</i></u>	<u><i>Ab</i></u> <u><i>C</i></u> <u><i>a b</i></u> <u><i>c</i></u>	гладкие листья, карликовый рост, неглянцевые всходы	113	4,47	115,5	1,40
<u><i>Ab</i></u> <u><i>c</i></u>	<u><i>Ab</i></u> <u><i>c</i></u> <u><i>a b</i></u> <u><i>c</i></u>	гладкие листья, карликовый рост, глянцевые всходы	117	4,47	115,5	0,50
<u><i>aB</i></u> <u><i>C</i></u>	<u><i>aB</i></u> <u><i>C</i></u> <u><i>a b</i></u> <u><i>c</i></u>	сморщенные листья, нормальный рост, неглянцевые всходы	120	4,47	115,5	4,53
<u><i>aB</i></u> <u><i>c</i></u>	<u><i>aB</i></u> <u><i>c</i></u> <u><i>a b</i></u> <u><i>c</i></u>	сморщенные листья, нормальный рост, глянцевые всходы	112	4,47	115,5	2,74
		Всего	2584	100	2584	9,41

$$\chi^2_{\text{эсп.}} = 9,41; \chi^2_{\text{табл.}} = 14,067, \text{ при } k' = 8 - 1. k' = 7 (\chi^2_{\text{табл.}} \text{ см. прил. 1})$$

$$\chi^2_{\text{табл.}} > \chi^2_{\text{эсп.}}$$

Вывод: С вероятностью $P > 0,05 H_0$ подтверждается, то есть данное фактическое расщепление соответствует теоретически ожидаемому. Отсюда морщинистость листьев и рост растений наследуются сцепленно при расстоянии между генами 17,9 сантиморганов, ген глянцевитости всходов находится в негомологичной хромосоме и наследуется независимо от них.

Ответ:

Генотип гетерозиготного $P: \frac{AB}{ab} \frac{C}{c}$.

Задача четвертого типа № 3

Определите генотип тригетерозиготного родителя, порядок расположения генов в хромосоме и расстояние между ними, исходя из следующего расщепления в анализирующем скрещивании:

$A-bb C-$ - 104 $aa bb cc$ - 180 $aa B- cc$ - 109 $A- B- cc$ - 221
 $aa B- C-$ - 5 $A- bb cc$ - 5 $aa bb C-$ - 191 $A- B- C-$ - 169

Краткая запись условия:

$P: \text{♀ } Aa Bb Cc \times \text{♂ } aa bb cc$

$F_a: A-bb C-$ - 104 $aa bb cc$ - 180 $aa B- cc$ - 109 $A- B- cc$ - 221
 $aa B- C-$ - 5 $A- bb cc$ - 5 $aa bb C-$ - 191 $A- B- C-$ - 169

Пояснение:

1. Анализ расщепления по генам A и B :

AB	Ab	aB	ab
221	104	109	180
169	5	5	191
Всего: 390	109	114	371

Полученное расщепление не соответствует расщеплению для F_2 дигетерозиготы (не 1 : 1 : 1 : 1) Следовательно, гены A и B сцеплены. Образование четырех фенотипических классов в неравном соотношении свидетельствует о том, что сцепление генов нарушается кроссинговером. Известно, что некроссоверные классы потомков наиболее многочисленны. Отсюда, некроссоверные гаметы гетерозиготного родителя по генам A и B : AB и ab , тогда его генотип в хромосомном

изображении $\frac{AB}{ab}$.

Определим расстояние между генами A и B :

$$\% \text{ кроссинговера } A-B: \frac{(109+104) \cdot 100}{984} = 22,66 (\%)$$

2 Анализ расщепления по генам B и C :

BC	Bc	bC	bc
5	109	104	180
169	221	191	5
Всего: 174	330	295	185

Характер расщепления в F_2 дигетерозиготы также указывает на неполное сцепление генов. Некроссоверными по данным генам являются гаметы: Bc и bC , отсюда хромосомное изображение генотипа $P \text{ ♀}: \frac{Bc}{bC}$.

$$\% \text{ кроссинговера } B-C: \frac{(174+185) \cdot 100}{984} = 36,48 (\%)$$

4. Анализ расщепления по генам A и C :

AC	Ac	aC	ac
104	221	5	180
169	5	191	109
Всего: 273	226	196	289

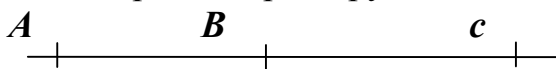
Расщепление, близкое к расщеплению 1:1:1:1 позволяет предположить независимое наследование генов. Проверим гипотезу об однородности численности четырех фенотипических классов с использованием метода хи-квадрат (см. аналогичные вычисления в задаче № 86).

Вывод: $\chi^2_{\text{табл.}} > \chi^2_{\text{эмп.}}$. Отсюда с вероятностью $P < 0,05$ **Но** отвергаем. Следовательно, гены A и C сцеплены. Исходные сочетания генов A и C в хромосомах гамет родителей, исходя из совместного наследования генов B и C , A и B следующие: Ac и aC , тогда генотип $P \text{ ♀}: \frac{Ac}{aC}$.

$$\% \text{ кроссинговера } A-C: \frac{(273+289) \cdot 100}{984} = 57,11 \text{ —————}$$

4. Определим порядок расположения генов в хромосоме:

Поскольку наибольшее расстояние показано для генов *A* и *C*, то можно утверждать, что именно они лежат на концах рассматриваемого отрезка хромосомы. *B* то время как ген *B* между ними, но ближе к гену *A*, так как расстояние между *A* и *B* меньше, чем между *B* и *C*. Построим соответствующий отрезок карты группы сцепления:



Расстояние между генами *A* и *C*, вычисленное путем суммирования значений на двух коротких участках (*A - B* и *B - C*) равно 59,14 %. Величина кроссинговера между генами *A* и *C* была меньше и равна 57,11 %, поскольку в нее не вошла частота двойных кроссоверов (генотипы *aa Bb Cc* и *Aa bb cc*).

$$\% \text{ двойных кроссоверов} : \frac{(5+5) \cdot 100}{984} = 1,016 (\%)$$

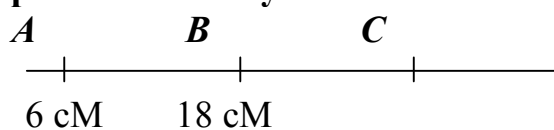
Фактическое расстояние между генами *A* и *C* (с учетом двойных кроссоверов): $57,11 + (2 \cdot 1,016) = 59,14 (\%)$.

От- $\frac{ABC}{P_{\square}}$ Расстояние между генами: *A-B*: 22,66 %, *B-*
вет: $\frac{abc}{C}$ *C*: 36,48 %, *A-C*: 59,14 %

Задача первого типа № 2

Порядок локализации генов в хромосоме *A-B-C*. Расстояние между генами *A* и *B* равна 6 сМ, между генами *B* и *C* равна 18 сМ. Коэффициент конциденции равен 0,2. Какое потомство получится при скрещивании доминантных и рецессивных тригомозиготных особей родителей, и при анализированном скрещивании гибридов первого поколения от данного скрещивания?

Краткая запись условия:



Коэффициент конциденции (c) = 0,2

1. $P: \square AA BB CC \times \text{♂} aa bb cc$

2. $P: \square F_1 \times \text{♂} aa bb cc$

1. $F_1 - ?$ 2. $F_a - ?$

Пояснение:

Из условия следует, что генотип гибрида *ABC/abc*.

1. По процентам кроссинговера между *A-B* и *B-C* определим теоретически ожидаемую частоту двойных кроссоверов: $0,6 \cdot 0,18 \cdot 100 = 10,8 \%$, их фенотип *AbC* и *aBc*.

2. Исходя из коэффициента $c=0,2$ и доли теоретически ожидаемых двойных кроссоверов (10,8 %), определим фактическую долю двойных кроссоверов (x):

$$x = 10,8 \cdot 0,2 = 2,16 \%$$

Отсюда, в потомстве анализирующего скрещивания должно быть 1,08 % особей с фенотипом $AвC$ и 1,08 % с фенотипом aBc .

3. Определим долю фенотипов, возникающих при кроссинговере между $A-B, B-C$:

а) фенотипы кроссоверов по генам $A-B$:

$Aвc, aBC$ ($AвC, aBc$ – двойные кроссоверы). Доли двойных кроссоверов установлены выше и они равны 1,08 % $AвC$ и aBc . По условию расстояние между $A-B$ равно 6%, тогда доля кроссоверов с фенотипами $Aвc + aBC = 6\% - 2,16\% = 3,84\%$, т.е. $Aвc = 1,92\%$, $aBC = 1,92\%$

б) фенотипы кроссоверов по генам $B-C$:

ABc и $авC$ ($AвC, aBc$ – двойные кроссоверы). По условию расстояние между $B-C = 18\%$, тогда доля кроссоверов с фенотипами $ABc + авC = 18\% - 2,16\% = 15,84\%$, $ABc = 7,92\%$, $авC = 7,92\%$.

4. Особь с генотипом $ABC/авc$ может образовать 8 фенотипов:

некроссоверы ABC –	$авC$ - 1,92
ABc – 7,92	aBc – 1,08
$AвC$ – 1,08	$авC$ – 7,92
$Aвc$ – 1,92	некроссоверы $авc$ –

Фенотипы $ABC/авc$ – некроссоверы (родительский тип). Их долю определим, приняв сумму всех классов за 100 %:

$$100 - (7,92 \cdot 2) + (1,92 \cdot 2) + (1,08 \cdot 2) = 100 - 21,84 = 78,16\%$$

Отсюда, доля ABC 39,08%, доля $авc$ 39,08%

Схема скрещивания:

$$P: \text{♀} \frac{A \ B \ C}{A \ B \ C} \quad \times \quad \text{♂} \frac{a \ b \ c}{a \ b \ c}$$

$$F_1: \frac{A \ B \ C}{a \ b \ c}$$

$$P: \text{♀} \frac{A \ B \ C}{a \ b \ c} \quad \times \quad \text{♂} \frac{a \ b \ c}{a \ b \ c}$$

F_a :♀/♂		<u>$a \ b \ c$</u>		♀/♂		<u>$a \ b \ c$</u>
39,1% <u>ABC</u>	39, 1%	<u>ABC</u> <u>$a \ b \ c$</u>		1,9 % <u>$a \ B \ C$</u>	1, 9 %	<u>$a \ B \ C$</u> <u>$a \ b \ c$</u>
7,9% <u>ABc</u>	7,9 %	<u>ABC</u> <u>$a \ b \ c$</u>		1,1% <u>$a \ B \ c$</u>	1, 1%	<u>$a \ B \ C$</u> <u>$a \ b \ c$</u>
1,1% <u>AbC</u>	1,1 %	<u>Abc</u> <u>$a \ b \ c$</u>		7,9 % <u>$a \ b \ C$</u>	7, 9%	<u>$a \ b \ c$</u> <u>$a \ b \ c$</u>
1,9% <u>Abc</u>	1,9 %	<u>AbC</u> <u>$a \ b \ c$</u>		39,1% <u>$a \ b \ c$</u>	39, 1%	<u>$a \ b \ c$</u> <u>$a \ b \ c$</u>

$$15,2\% \frac{A B}{A B} : 30,4\% \frac{A B}{a b} : 15,2\% \frac{a b}{a b} : 8,6\% \frac{A B}{A b} : 8,6\% \frac{A b}{a b} :$$

$$8,6\% \frac{A B}{a B} : 8,6\% \frac{a B}{a b} : 1,2\% \frac{A b}{A b} : 2,4\% \frac{A b}{a B} : 1,2\% \frac{a B}{a B} :$$

Ответ: $ABC - 39,08$, $ABc - 7,92$, $AvC - 1,08$, $Avc - 1,92$, $aBC - 1,92$,
 $aBc - 1,08$, $avC - 7,92$, $avc - 39,08$.

7.6. Примеры решения задач по генетике популяций

Задача № 1

У человека группы крови по системе MN определяются двумя аллелями аутосомного гена. Аллель L^M обуславливает наличие антигена M , аллель L^N - антигена N . в крови гетерозигот присутствуют оба антигена. Частота гена L^M среди белого населения США 54,0%. Определите генетическую структуру данной популяции.

Краткая запись условия:

Группы крови системы MN у человека:

L^M - антиген M ,

L^N - антиген N .

$p L^M = 54\%$

$q^2 L^N L^N - ?$ $p^2 L^M L^M - ?$

$2pq L^M L^N - ?$

Пояснение:

Определяем частоту второй аллели $q L^N$ по формуле $q L^N = 1 - p L^M$? Зная частоты аллелей, по формуле Харди-Вайнберга легко генетическую структуру популяции, которая характеризуется частотами генотипов.

Вычисления:

$$p L^M = 54\% = 0,54.$$

$$q L^N = 1 - 0,54$$

$$q L^N = 0,46$$

$$p^2 L^M L^M = 0,54^2 = 0,29$$

$$2pq L^M L^N = 2 \cdot 0,54 \cdot 0,46 = 0,50$$

$$q^2 L^N L^N = 0,21$$

Ответ: $p^2 L^M L^M = 0,29$; $2pq L^M L^N = 0,50$; $q^2 L^N L^N = 0,21$.

Задача № 2

Вычислить частоту аллелей при следующем составе панмиктической популяции: $CC = 98$ особей, $Cc = 84$ особей, $cc = 18$ особей.

1-й способ решения:

Краткая запись условия:

98 особей с генотипом CC ,
 84 особи с генотипом Cc ,
 18 особей с генотипом cc

Пояснение:

Из данных, приведенных в задаче легко найти частоту доминантных гомозигот (p^2) и рецессивных гомозигот (q^2), а из них – частоты соответствующих аллелей.

$p - ? \quad q - ?$

Вычисления:

$$p^2 = \frac{98}{200} = 0,49;$$

$$p = \sqrt{0,49} = 0,7$$

$$q^2 = \frac{18}{200} = 0,09;$$

$$q = \sqrt{0,09} = 0,3$$

2-й способ решения:

Пояснение:

Каждый организм содержит по две аллели одного гена. Отсюда общее число аллелей (N) в два раза больше общего числа особей. При вычислении частоты аллелей следует учесть, что особи с гомозиготными генотипами содержат по две одинаковые аллели, в гетерозиготах половина аллелей – доминантные, половина – рецессивные.

Вычисление:

$$p = \frac{98 \cdot 2 + 84}{(98 + 84 + 18) \cdot 2} = \frac{280}{400} = 0,7$$

$$q = \frac{18 \cdot 2 + 84}{(98 + 84 + 18) \cdot 2} = \frac{120}{400} = 0,3$$

Ответ: $p = 0,7$; $q = 0,3$

Задача № 3

Альбинизм у кукурузы наследуется как аутосомный рецессивный признак. У некоторых сортов кукурузы растения-альбиносы встречаются с частотой 25 на 10000. Сколько растений с гетерозиготными генотипами можно ожидать среди зеленых растений?

Краткая запись условия:

Альбинизм у кукурузы:
 A – зеленые,
 a – альбиносы.
 25 альбиносов (aa)
 на 10 000 растений

Пояснение:

Имеющиеся данные позволяют легко найти q^2 . Далее из q^2 находим частоту рецессивной аллели: $q = \sqrt{q^2}$. Определяем частоту доминантной аллели: $p = 1 - q$. Зная частоты аллелей, по формуле Харди-Вайнберга легко найти частоту, а затем число гетерозигот и доминантных гомозигот.

$p - ? \quad q - ?$

Вычисления:

$$q^2 = \frac{25}{10000} = 0,0025; \quad q = \sqrt{0,0025} = 0,05 \quad p = 1 - 0,05 = 0,95$$

$$p^2 = 0,95^2 = 0,9025; \quad 2pq = 2 \cdot 0,95 \cdot 0,05 = 0,095$$

Определим число гетерозигот (x_1):
 $10000 - 1$ $x_1 = 0,095 \cdot 10000 = 950$ (растений)
 $x_1 - 0,0951$

Определим число доминантных гомозигот (x_2):
 $10000 - 1$ $x_2 = 0,9025 \cdot 10\ 000 = 9025$ (растений)
 $x_2 - 0,9025$
 Всего зеленых растений: $9025 + 950 = 9975$

Ответ:

Среди 9975 зеленых растений гетерозиготный генотип имеют 950.

Задача № 4

Искусственно созданная популяция состоит из 60% гомозигот по аллели A и 40% гетерозигот. В каком поколении и с какой вероятностью в этой популяции проявится потомок с рецессивным фенотипом при условии панмиксии?

Краткая запись условия:
 $p^2 AA = 60\%$,
 $2pq Aa = 40\%$

Пояснение:

В панмиктической популяции будет выполняться закон Харди-Вайнберга и генетическая структура популяции будет соответствовать формуле Харди-Вайнберга.

В каком F появится aa и чему будет равно при этом $q^2 aa$ - ?

Вычисления:

$$p A = 0,6 + 0,2 = 0,8 \quad p^2 AA = 0,8^2 = 0,64$$

$$q a = 0,2 \quad 2pq Aa = 2 \cdot 0,8 \cdot 0,2 = 0,32$$

$$q^2 aa = 0,2^2 = 0,04$$

Ответ: Начиная с F_1 $q^2 aa$ будет равно 0,04.

Задача № 5

Соотношение генотипов в выборке следующее: $10AA:1aa:1Aa$. Определите соотношение генотипов в третьем поколении в случае панмиксии и самоопыления.

Краткая запись условия:

Соотношение генотипов в выборке: $10 AA : 1 aa : 1 Aa$

Соотношение генотипов F_3 при панмиксии - ? При самоопылении - ?

Пояснение:

При панмиксии в популяции осуществляется закон Харди-Вайнберга и одна и та же генетическая структура воспроизводится, начиная с F_2 .

Для того чтобы определить частоты генотипов в F_3 , по данным, приведенным в задаче, определим частоты аллелей.

При самоопылении число особей с определенным генотипом вычислим, используя формулы:

$$\text{Число } AA = 2^n \cdot (2 \cdot K_{AA} + K_{Aa}) - K_{Aa};$$

$$\text{Число } Aa = 2 \cdot K_{Aa};$$

$$\text{Число } aa = 2^n \cdot (2 \cdot K_{aa} + K_{Aa}) - K_{Aa},$$

где K_{AA} , K_{Aa} , K_{aa} - коэффициенты, стоящие перед соответствующим генотипом в исходной популяции, n - порядковый номер поколения (исходное поколение принимаем за F_0 [5]).

Имеется другой способ вычисления числа особей с определенными генотипами в популяции при самоопылении, приведенный в решении данной задачи. В нем сделано предположение, что каждая особь образует четырех потомков.

Вычисления:

При панмиксии:

$$p = \frac{20+1}{12 \cdot 2} = 0,9 \qquad q = \frac{2+1}{12 \cdot 2} = 0,1$$

Вычислим генетическую структуру популяции в F_1 :

$$p^2 = 0,9^2 = 0,81 \text{ (81,0 \%)} \quad q^2 = 0,1^2 = 0,01 \text{ (1,0 \%)}$$

$$2pq = 2 \cdot 0,9 \cdot 0,1 = 0,18 \text{ (18,0 \%)}$$

Отсюда соотношение генотипов в F_1 при панмиксии: 81 AA : 18 Aa : 1 aa

Такая же генетическая структура воспроизводится в следующих поколениях панмиктической популяции, в том числе в F_3 .

При самоопылении:

1-й способ:

$$\text{Число } AA = 2^3 \cdot (2 - 10 + 1) - 1 = 167$$

$$\text{Число } Aa = 2 \cdot 1 = 2$$

$$\text{Число } aa = 2^3 \cdot (2 \cdot 1 + 1) - 1 = 23$$

2-способ:

Поколение	Соотношение генотипов
F_0	10 AA : 1 aa : 1 Aa
F_1	40 AA : (1 AA : 2 Aa : 1 aa :) : 4 aa 41 AA : 2 Aa : 5 aa
F_2	164 AA : (2 AA : 4 Aa : 2 aa) : 20 aa 166 AA : 4 Aa : 22 aa или 83 AA : 2 Aa : 11 aa
F_3	332 AA : (2 AA : 4 Aa : 2 aa) : 44 aa 334 AA : 4 Aa : 46 aa или 167 AA : 2 Aa : 23 aa

Ответ: Соотношение генотипов в популяции в F_3 на 100 особей:
При панмиксии: 77 AA : 23 Aa : 2 aa
При самоопылении: 167 AA : 2 Aa : 23 aa

7.7. Методика составления родословных

В основе генеалогического метода, предложенного в конце XIX века Ф. Гальтоном, лежит составление родословных, на основании выявления всех членов анализируемой семьи, установления степени их родства, и прослеживания того или иного признака в ряду поколений. Метод анализа родословных служит основой и для проведения медико-генетических консультаций. Он позволяет выявить в родословной лиц, являющихся гетерозиготными носителями мутантного гена, и определить прогноз потомства в семье, где имеется или предполагается рождение ребенка с наследственной патологией.

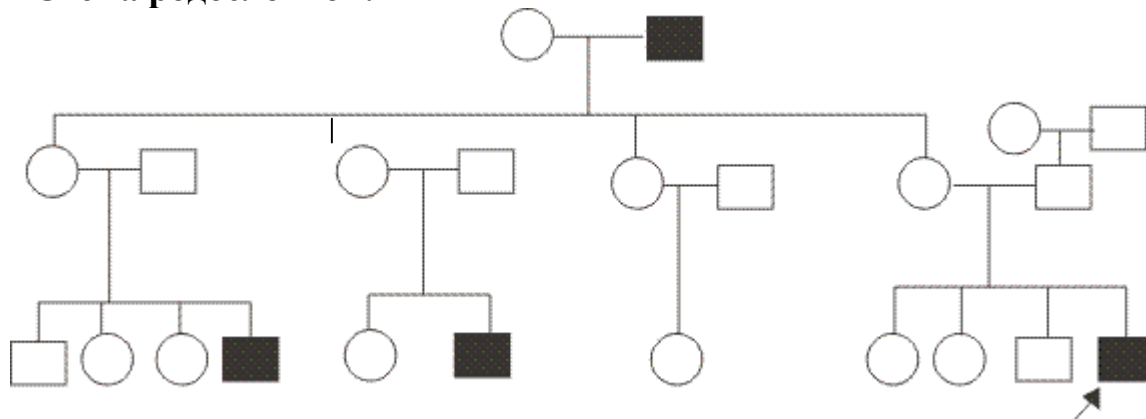
При составлении родословной желательно получить сведения о максимальном количестве родственников 3-4 поколений. Обычно родословная составляется по одному или нескольким признакам. Составление родословных имеет свои правила. В родословной женщины обозначаются кружочками, мужчины – квадратами. Лицо, по отношению к которому составляется генеалогия таблица, называется пробандом. Для составления родословной проводят краткие записи о каждом члене родословной с точным указанием его родства по отношению к пробанду. Затем делают графическое изображение родословной. На рисунке пробанд указывается стрелкой. Братья и сестры носят название sibсов, которые располагаются в порядке рождения горизонтально слева направо, начиная от старшего. Если общим у братьев и сестер является только один из родителей, их называют полусибсами. При составлении родословной поколения можно обозначать римскими цифрами сверху вниз (слева от родословной). Каждое поколение исследуемых лиц располагается в одну строчку; представители одного поколения нумеруются арабскими цифрами, последовательно – слева направо. Если в родословной прослеживается несколько наследственных признаков, то каждый из них можно обозначить своим условным знаком. Основные символы, принятые для составления и анализа родословных приведены в рисунке 1.

Несмотря на появление новых лабораторных методов, анализ родословных не потерял своей актуальности и успешно применяется для установления наследственного характера признаков и заболеваний.

Чаще всего родословная бывает представлена последовательными, соединенными между собой горизонтальными рядами (рис. 2, 3, 4), однако если членов родословной оказывается очень много, эти ряды могут быть представлены в виде концентрических окружностей.

Определите вероятность рождения у пробанда больных дальтонизмом детей при условии, если он женится на здоровой женщине, у родных которой этой аномалии не отмечалось.

Схема родословной:



Пояснение:

Признак чаще встречается у лиц мужского пола. В семьях, где оба родителя здоровы, есть мальчики и больные, и здоровые. Отсюда признак наследуется по сцепленному с полом рецессивному типу. Тогда дальтонизм – это рецессивный сцепленный с полом признак. Жена пробанда имеет доминантный гомозиготный генотип, поскольку в родословной с ее стороны данного заболевания не отмечалось.

Схема скрещивания:

$$\begin{array}{l}
 P: \text{♀} \quad \frac{\underline{H}}{\underline{H}} \quad \times \quad \text{♂} \quad \frac{h}{h} \\
 \text{здоровая} \quad \quad \quad \text{здоровый} \\
 G: \quad \quad \underline{H} \quad \quad \underline{h} : \quad \rightarrow \\
 F_1: \quad \quad \frac{\underline{H}}{I} h \quad : \quad \frac{\underline{H}}{I} \\
 1 \text{♀ здоровые} : 1 \text{♂ здоровые}
 \end{array}$$

Ответ:

Вероятность рождения больных дальтонизмом детей равна 0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айала Ф.Дж. Введение в популяционную и эволюционную генетику. - М: Мир, 1984. - 230 с.
2. Айала Ф, Кайгер Дж. Современная генетика: В 3-х т. Т. 3 - М.: Мир, 1988,-335 с.
3. Барабанщиков Б.И., Сапаев Е.А. Сборник задач по генетике. - Казань: Изд-во Казанского университета, 1988. - 191 с.
4. Бочков Н.П., Захаров А.Ф., Иванов В.И. Медицинская генетика. М.: Медицина, 1984. – 368 с.
5. Ватти К.В., Тихомирова М.М. Руководство к практическим занятиям по генетике. - М.: Просвещение, 1979. -189 с.
6. Глазер В.М., Ким А.И., Орлова Н.Н., Удина И.Г., Алтухов Ю.П. Задачи по современной генетике. – М.: КД Университет, 2005. – 224 с.
7. Иванов В.И., Барышникова Н.В., Билева Дж.С., Дадали Е.Л., Константинова Л.М., Кузнецова О.В., Поляков А.В. Генетика. – М.: ИКЦ Академкнига, 2006. – 638 с.
8. Инге-Вечтомов С. Г. Генетика с основами селекции. - М.: Высшая школа, 1989. - 592 с.
9. Мак-Кьюсик В. Генетика человека. - М.: Мир, 1967.
10. Медведев Н.Н. Практическая генетика.- М.: Наука, 1966. – 238 с.
11. Мендель Г. Опыты над растительными гибридами./ Классики естествознания. - М.-П.: Госиздат, 1923. – С. 5-45.
12. Мюнтцинг А. Генетика. - М.: Мир, 1967. - 610 с.
13. Орлова Н.Н. Сборник задач по общей генетике. - М.: МГУ, 1982. – 128 с.
14. Рокицкий П.Ф. Введение а статистическую генетику. - Минск: Высшэйшая школа, 1978. - 448 с.
15. Хелевин Н.В., Лобанов А.М., Колесова О.Ф. Сборник задач по общей и медицинской генетике. - М.: Высшая школа, 1976. - 159 с.
16. Штерн К. Основы генетики человека. – М.: Медицина, 1965. – 690 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Значения хи-квадрат при разных степенях свободы
(по Фишеру с сокращением)

Число степеней свободы (<i>k'</i>)	Вероятность (<i>P</i>)			
	0,05	0,01	0,005	0,001
1	3,84	6,64	7,88	10,83
2	5,99	9,21	10,60	13,82
3	7,81	11,34	12,84	16,27
4	9,49	13,28	14,86	18,47
5	11,07	15,09	16,75	20,52
6	12,59	16,81	18,55	22,46
7	14,07	18,48	20,28	24,32
8	15,51	20,09	21,96	26,12
9	16,92	21,67	23,59	27,88
10	18,31	23,21	25,19	29,59

Примечание: В таблице Р. Фишера приведены значения хи-квадрат при числе степеней свободы до 30.

*Лиджиева Нина Цереновна
Джалсанова Серафима Сергеевна*

ЗАДАЧНИК ПО ГЕНЕТИКЕ

Учебное пособие

Подписано в печать 21.10.13. Формат 60x84/16.
Печать офсетная. Бумага тип. № 1. Усл. п. л. 6,97.
Тираж 100 экз. Заказ 2287.

Издательство Калмыцкого университета.
358000 Элиста, ул. Пушкина, 11