

Кафедра биофизики

# **Сборник задач по генетике**

---

Учебно-методическое пособие.

Гришанин А.К.

Международный университет природы,  
общества и человека «Дубна».

Пособие содержит краткий курс генетического анализа и задачи по комбинационной изменчивости с ответами, а также решения типовых задач. Предназначено для студентов, изучающих курс общей биологии.

## Введение в генетический анализ

Один из основоположников российской школы генетики А.С. Серебровский (1892–1948) под генетическим анализом понимал систему опытов, наблюдений и вычислений, имеющих целью разложение свойств (признаков) организма на отдельные наследственные элементы и изучение свойств соответствующих им генов. Признаки организма отражают различные его особенности: цвет, вес, длину, высоту, форму, параметры белковых молекул и т.д. Особенности передачи признаков от родителей потомкам были известны на протяжении многих веков селекционерам, но первым, кто открыл четкие закономерности наследования признаков и разработал методы анализа наследуемых признаков, был чешский монах Грегор Мендель. Результаты своих исследований он изложил в фундаментальной работе "Опыты над растительными гибридами" в 1865 г.

На протяжении восьми лет Г. Мендель проводил опыты по скрещиванию различных сортов садового гороха (*Pisum sativum*) на небольшом садовом участке (35 X 7 м) Августинского монастыря в г. Брно. Менделя заинтересовали закономерности наследования признаков в ряду поколений этого вида растений при скрещивании сортов с различными признаками. Исходными для скрещивания всегда были чистые линии, т.е. сорта гороха, которые на протяжении многих лет при самоопылении давали лишь однородные признаки. Так как садовый горох обычно строгий самоопылитель, то для перекрестного опыления Мендель удалял пыльники материнского растения до того, как они созрели. Для анализа наследования признаков Мендель выбирал всегда только контрастирующие признаки: цветы с пурпурной и белой окраской, семена гладкие и морщинистые, и т.д. Полученные результаты опытов он обсчитывал, ведя строгий учет проявляющимся признакам у гибридного потомства. (*Потомство, полученное от скрещивания двух особей с различными наследственными признаками, называют гибридным, а отдельную особь – гибридом.*)

Гибридное потомство первого поколения (F1) в опытах Менделя по всем признакам всегда было однородным. Проявлялся только один из двух альтернативных родительских признаков.

Признак второго родителя никогда не проявлялся. *Эффект проявления только одного контрастирующего признака у гибридов первого поколения Мендель назвал доминированием, а признак доминантным.* Признак, который не обнаруживался в гибридах первого поколения, Мендель назвал *рецессивным.*

Позднее эту закономерность – явление доминирования только одного признака – назвали *законом единообразия гибридов первого поколения* или *первым законом Менделя.*

Второе поколение Мендель получал путем самоопыления, т.е. гибридные особи первого поколения размножались как исходные родительские «чистые» линии. У второго поколения в потомстве появлялись особи носители рецессивного признака, который был у одного из родителей. Если при скрещивании сортов гороха с зелеными и желтыми семядолями в первом поколении гибридные растения (F<sub>1</sub>) имели только желтые семядоли, то подсчет большого числа растений, появившихся после самоопыления гибридов во втором поколении (F<sub>2</sub>), показал расщепление признаков: из 8023 растений у 6022 семядоли были желтыми, а у 2001 растения – зелеными.

Таким образом, в результате самоопыления потомков 1-го поколения в F<sub>2</sub> отношение доминантного и рецессивного признака равно 3:1.

Закономерное появление во втором поколении гибридов особей с доминантным и с рецессивным признаком в соотношении 3:1 Гуго де Фриз предложил в 1900 г. назвать *законом расщепления*, а позднее его *назвали вторым законом Менделя.* Так как во втором поколении доминантные и рецессивные факторы расходятся по разным гаметам, поэтому *второй закон Менделя* называют *законом чистоты гамет.* В F<sub>2</sub> можно выделить два типа расщепления по фенотипу (3:1) и по *генотипу* 1:2:1. Для обозначения альтернативных признаков В. Бэтсон в 1902 году ввел термин *аллеломорфы*, а в 1926 В. Иогансен трансформировал его в *аллель.*

Пары аллелей, не дающие расщепления, называются *гомозиготными*, те, которые дают расщепление, называются *гетерозиготными.* Эти термины также ввел В. Бэтсон в 1902 г.

Скрещивая растения, имеющие две пары альтернативных признаков (круглые и морщинистые семена, желтая и зеленая окраска семядолей) Мендель отметил, что характер проявления одного признака может не оказывать никакого влияния на другой признак. По каждой паре альтернативных признаков соотношение признаков проявляющихся во втором поколении было равно 3:1. Мендель пришел к выводу, что две или более пары альтернативных признаков распределяются в гаметах независимо. Число комбинаций признаков в  $F_2$  происходит случайным образом и обычно не соответствует ожидаемым результатам, хотя и близко к ним, так как подчиняется законам статистики. Эту закономерность наследования признаков назвали "Третьим законом Менделя."

*Третий закон Менделя утверждает, что при скрещивании дигбридов и полигибридов каждая пара альтернативных признаков ведет себя в ряду поколений независимо друг от друга, давая среди потомков первого поколения (т.е. в поколении  $F_2$ ) расщепление 3:1, при этом появляются особи с новыми (по сравнению с родительскими) комбинациями признаков. Например, в случае полного доминирования при скрещивании исходных форм, различающихся по двум признакам, во втором поколении ( $F_2$ ) выявляются особи с четырьмя фенотипами в соотношении 9:3:3:1. При этом два фенотипа имеют «родительские» сочетания признаков, а оставшиеся два — новые. Данный закон основан на независимом распределении гомологичных хромосом во время 1-го мейотического деления. Число возможных комбинаций отцовских и материнских хромосом будет  $2^n$  в степени  $n$ , где  $n$  – гаплоидное число хромосом. Так, например, если у морского ежа диплоидное число хромосом  $2n=36$ , то за счет комбинации хромосом в метафазе 1-го мейотического деления может образоваться  $2^n$ , где  $n=18$ , комбинаций признаков, определяемых генами, лежащими в разных парах гомологичных хромосом. Иными словами  $2^{21}44$  гаметы с разными комбинациями отцовских и материнских хромосом.*

В 1900 году независимо друг от друга К. Корренс (Германия), Г. де Фриз (Голландия) и Э. Чермак (Австрия) обнаружили в своих опытах открытые ранее Менделем закономерности. Затем,

натолкнувшись на его работу, они вновь опубликовали ее в 1901 году.

Всеобщность закона доминирования (1-го закона Менделя) даже после его переоткрытия была подвергнута сомнению. Дело в том, что в большом числе случаев полное доминирование у гибридов 1-го поколения не наблюдается. Такой тип **неполного доминирования** называли Zea-тип, в то время как полное доминирование называли Pisum-тип. При неполном доминировании у гибридов 1-го поколения вместо доминантного признака проявляется признак, промежуточный между двумя альтернативными.

**Кодоминирование** – проявление у гетерозиготы признаков, характерных для обеих форм аллелей гена. У особей, гетерозиготных по трансферринам (белкам сыворотки крови), в крови присутствуют одновременно обе формы этого белка, каждая из которых имеется у гомозиготы.

**Множественные аллели** – аллели с **убывающей степенью доминирования**. Некоторые гены могут быть представлены в популяции не одной парой аллелей, а тремя, четырьмя и более ( $a_1, a_2, a_3, a_4$ ) аллелями вследствие различных мутаций одного локуса. Хотя у каждой особи из подобной популяции может быть только два аллеля (по одному в каждой гомологичной хромосоме), но число попарных комбинаций множественных аллелей увеличивается с ростом их числа в популяции. Например, ген красноглазости у дрозофил тип  $W^+$  доминирует над всеми остальными аллелями  $W^2 > W^3 > W^4 > W^5 > W^6 > W^7$ . К числу множественных аллелей относятся аллели, определяющие группу крови у человека. Группы крови у человека детерминированы тремя аллелями одного гена. Их обычно обозначают  $I^A, I^B$  и  $I^0$ . Так как каждый человек обладает только одной парой аллелей данного гена, то данные аллели могут дать 6 различных их сочетаний, определяющих четыре основные группы крови: 1-я группа  $I^0 I^0$ , 2-я группа  $I^A I^A, I^A I^0$ , 3-я группа  $I^B I^B, I^B I^0$  и 4-я группа  $I^A I^B$ . Множественные аллели указывают на относительность доминирования.

**Взаимодействие неаллельных генов.** Генотип любого организма представляет собой систему взаимодействующих генов,

в результате чего формируется сложное и не всегда однозначное соответствие ген – признак. Законы Менделя были открыты при анализе признаков, определяемых одним геном (моногоенное наследование). Однако в некоторых случаях один ген влияет на проявление нескольких различных признаков. Еще Мендель отмечал, что ген, определяющий окраску цветков, изменял окраску семян и цвет листьев. Тип наследования признаков, при котором один ген определяет проявление нескольких различных признаков, называют **плейотропией**. Так как в основе действия генов лежит функция одного белка, то плейотропия есть следствие нарушения интегрированности процессов в организме. Если же два или более генов определяют один признак, то такое наследование называют **полигенным**. К основным типам полигенного наследования относят **комплементарность** и **эпистаз**. В обоих случаях наблюдается взаимодействие генов, но с противоположной направленностью. Если в случае **комплементарности** действие генов является взаимно дополняющим, и в результате продукт одного гена взаимодействует с продуктом другого гена, образуя новый продукт с новыми свойствами, то в случае эпистаза действие одного гена исключает действие другого гена. **Эпистаз – это подавление действия одного гена другим, неаллельным геном**. Ген подавитель или **супрессор** или эпистатический ген действует на подавляемый, гипостатический ген, по принципу сходному с явлением доминантности, тем не менее, это не аллельные гены, так как занимают различные локусы в гомологичных или негомологичных хромосомах. Примером **комплементарного действия генов** может служить наследование окраски цветков душистого горошка, определяемой двумя неаллельными генами. При скрещивании двух рас душистого горошка с белыми цветами образуются растения с пурпурной окраской. К числу полигенных относят также количественные признаки, определяемые аддитивными полимерными генами (**полимерия**). Это рост, масса животного, количество волос.

**Пенетрантность.** В процессе онтогенеза не все гены реализуются в признак. На проявление активности генов могут влиять в большей или меньшей степени другие неаллельные гены или условия внешней среды. Степень выраженности гена

определяют как пенетрантность, которая характеризуется долей особей, фенотип которых соответствует генотипу. Например, одна из мутаций вызывает у дрозофилы уменьшение размера глаз, но проявляется это только у 75% особей. Уменьшение размера глаз у дрозофилы выражено обычно в разной степени. Степень выраженности признака у пенетрантных особей называют **экспрессивностью**. Пенетрантность и экспрессивность зависят от природы самих генов, присутствия генов-модификаторов, а также от внешних условий.

Для генетического анализа наследования тех или иных признаков организма при половом размножении необходимо производить скрещивание двух особей разных полов. Скрещивание в генетике обозначают знаком умножения –  $\times$ . При написании схемы скрещивания на первое место ставят знак зеркала Венеры ♀, обозначающий женский пол, а на второе место знак щит и копьё Марса ♂, обозначающий мужской пол. Родительские организмы обозначают буквой Р (Parenta, лат. – родители). Гибридное поколение обозначают буквой F (Filii, лат.– дети). Номер поколения индексом 1, 2, 3 и т.д.

Чтобы проверить является ли данный организм гомо- или гетерозиготным, можно провести **анализирующее скрещивание**. Для этого обычно скрещивают данный организм с одной из родительских форм: исходной доминантной или рецессивной гомозиготой. Такое скрещивание называют **возвратным скрещиванием или бэк-кроссом**. ( $Aa \times AA$ , или  $Aa \times aa$ ). При скрещивании доминантной гомозиготы  $AA$  с рецессивной гомозиготой мы будем получать гетерозиготное потомство с доминирующим признаком. В случае скрещивания гетерозиготы  $Aa$  с гомозиготой  $aa$  всегда будет наблюдаться равновероятное появление особей с доминантным и рецессивным признаками.



## Задачи

### Моногибридное и дигибридное скрещивание

1. Розовидная форма гребня у кур доминирует над листовидной формой.

а) Какое потомство получится при скрещивании гетерозиготного петуха с розовидным гребнем с курицей, обладающей листовидным гребнем?

б) Какое потомство получится при скрещивании петуха из первого скрещивания с гомозиготной самкой, имеющей розовидный гребень?

в) Определите генотипы родителей, если известно, что после скрещивания петуха и курицы с розовидными гребнями в потомстве получили цыплят с листовидным гребнем.

г) Каковы генотипы родителей, если в потомстве у курицы цыплят с розовидным и листовидным гребнем оказалось поровну?

2. Дикая серая окраска гупий доминирует над светлой окраской.

а) Какое по цвету потомство можно ожидать при скрещивании серых гетерозиготных гупий?

б) Какой окраски гупий можно получить при скрещивании светлых и гетерозиготных серых гупий?

в) Каковы генотипы родителей, если среди потомства одной пары гупий было получено равное количество серых и светлых особей?

3. У людей горбатый нос доминирует над прямым, длинный над курносый, широкий над узким.

а) Какова вероятность рождения ребенка с прямым носом, если известно, что у отца нос с горбинкой, у матери прямой, так же как и у матери отца.

б) С какой формой носа и с каким генотипом могут родиться дети, если у отца и матери нос с горбинкой, а у обеих бабушек нос прямой?

в) Какова вероятность рождения ребенка с курносый носом в семье, где у обоих родителей нос длинный, а у одного из дедушек нос курносый?

г) В семье родителей, обладающих широкими носами, родился ребенок, обладающий узким носом. Какова вероятность рождения второго ребенка с такой же формой носа?

4. У человека ген, отвечающий за прямую форму глаз, доминирует над геном, ответственным за скошенную форму, ген темной окраски глаз доминирует над геном светлой окраски. Гены вышеуказанных признаков локализованы в аутосомах.

а) Какова вероятность рождения ребенка со скошенными глазами, если один из родителей гетерозиготен, и оба обладают прямой формой глаз?

б) Определите возможные генотипы ребенка с темной окраской глаз.

5. Длинные ресницы – доминантный признак, а короткие – рецессивный. Определите вероятность рождения ребенка с длинными ресницами, если у матери ресницы длинные, у отца короткие, у бабушки по материнской линии также короткие ресницы.

6. Ген вьющихся волос доминирует над геном, определяющим прямую форму волос. В семье у одного из родителей вьющиеся волосы, которые характерны для всех его родных, у второго родителя волосы прямые. Какова вероятность рождения в такой семье ребенка с прямыми волосами?

7. Низкий рост - доминантный аутосомный признак, высокий рост – рецессивный. Определите генотип родителей, если известно, что ребенок унаследовал от них высокий рост, хотя мать и отец его обладают низким ростом.

8. Известно, что монголоидный разрез глаз определяется доминантным аутосомным геном, а европейский разрез глаз рецессивным.

а) Какова вероятность рождения ребенка с европейским разрезом глаз в семье, в которой мать обладает европейским разрезом глаз, а отец гетерозиготен по указанным признакам?

б) Определите генотип матери, если у отца монголоидный разрез глаз, а у ребенка европейский.

9. Широкие глазницы – доминантный аутосомный признак. Узкие глазницы – рецессивный.

а) Отец, обладающий широкими глазницами, гомозиготен по этому признаку, а у матери глазницы узкие. Определите вероятность рождения ребенка с широкими глазницами.

б) Определите генотипы матери и отца, если известно, что у отца широкие глазницы, а у ребенка узкие.

10. Сращение фаланг двух пальцев на одной руке – доминантный аутосомный признак. В семье, где у одного из родителей нормальные пальцы, а у другого сросшиеся фаланги пальцев, хотя у матери этого родителя пальцы были нормальными, должен родиться ребенок. Какова вероятность рождения ребенка со сросшимися фалангами пальцев?

11. У свиней ген, обуславливающий белую окраску, доминирует над геном рябой окраски. При скрещивании белых свиней с рябыми, все потомство оказалось белым. В результате скрещивания гибридного потомства между собой было получено 160 поросят. Какую часть из них составляют поросята с рябой окраской?

12. Висячее ухо (ген H) с генотипом HH распространено у многих пород (спаниели, гончие, таксы), а стоячее ухо (ген h) с генотипом hh – у немецких и восточноевропейских овчарок. В результате скрещивания гончей и немецкой овчарки появилось потомство с полувисячими ушами. Объясните причину такого типа наследования формы ушей.

13. Ген устойчивости овса к головне доминирует над геном, определяющим поражаемость овса этим заболеванием.

а) Какое потомство получится от скрещивания гетерозиготных особей, устойчивых к головне, с растениями, поражаемыми головней?

б) Какое потомство получится от скрещивания гомозиготных особей, устойчивых к головне, с растением, лишенным иммунитета?

14. Ген, определяющий круглую форму томата, доминирует над геном, ответственным за грушевидную форму плода. Каковы генотипы родительских растений, если в потомстве обнаружено равное количество круглых и грушевидных плодов?

15. Из 60000 кустов рассады томатов у 15170 кустов выросли томаты грушевидной формы, а у 44830 кустов круглые. Какую часть этих растений представляют гетерозиготы?

16. Ген, обуславливающий красный цвет томатов, доминирует над геном желтой окраски плодов. Какие по цвету, плоды будут получены от скрещивания гомозиготных и гетерозиготных красноплодных растений?

17. У пшеницы ген карликовости доминирует над геном нормального роста. Каковы генотипы исходных форм, если в потомстве  $1/2$  растений оказались карликовыми?

18. Ген, обуславливающий раннюю спелость овса, доминирует над геном поздней спелости. Определите число позднеспелых растений, если известно, что после скрещивания позднеспелого овса с гетерозиготным раннеспелым получено 5260 растений, имеющих раннее созревание.

19. Ген серой окраски у дрозофилы доминирует над геном черной окраски. Определите генотипы родительских форм, если:

а) после скрещивания между собой серых мух получено 290 серых особей и 108 черных;

б) при скрещивании серых и черных мух между собой получили 820 особей серого цвета и 795 мух черного цвета.

20. У крупного рогатого скота ген комолости (безрогости) доминирует над геном рогатости.

а) Какое потомство можно ожидать от скрещивания рогатого быка с гомозиготными комолыми коровами?

б) Какое потомство можно ожидать от скрещивания комолого быка с рогатой коровой, если известно, что в прошлом корова принесла от этого быка рогатого теленка?

21. У собак черный цвет шерсти доминирует над коричневым. Черная самка несколько раз скрещивалась с коричневым самцом. Всего было получено 15 черных и 13 коричневых щенков. Определите генотипы родителей и потомства.

22. Две черные самки мыши скрещивались с коричневым самцом. Одна самка в нескольких пометах дала 20 черных и 17 коричневых потомков, вторая 33 черных. Определите генотипы родителей и потомков.

23. На звероферме получен приплод в 425 норок. Из них 317 норок имеют коричневый мех и 108 – голубовато-серый. Определите генотипы исходных форм, если известно, что коричневый цвет доминирует над голубовато-серым.

24. Голубоглазый мужчина, родители которого имели карие глаза, женился на кареглазой женщине, у отца которой глаза голубые, а у матери – карие. Какое потомство можно ожидать от этого брака, если известно, что ген карих глаз доминирует над геном голубых?

25. У человека умение владеть преимущественно правой рукой доминирует над умением владеть преимущественно левой рукой. Мужчина правша, мать которого была левшой, женился на женщине правше, имевшей трех братьев и сестер, двое из которых – левши. Определите генотип женщины и вероятность того, что дети, родившиеся от этого брака, будут левшами.

26. Миоплегия передается по наследству как доминантный признак и проявляется в форме периодических параличей мышц. Наследуется по аутосомно-доминантному и аутосомно-рецессивному типу. Определите вероятность рождения детей с аномалиями в семье, где отец гомозиготен по данному заболеванию, а мать не страдает миоплегией.

27. Фенилкетонурия наследуется как рецессивный признак. Какими могут быть дети в семье, где родители гетерозиготны по этому признаку?

28. У человека ген полидактилии доминирует над нормальным строением кисти.

а) Определите вероятность рождения шестипалых детей в семье, где оба родителя гетерозиготны.

б) В семье, где один из родителей имеет нормальное строение кисти, а второй шестипалый, родился ребенок с нормальным строением кисти. Какова вероятность рождения следующего ребенка тоже без аномалий?

29. У человека ген, вызывающий одну из форм наследственной глухонемоты, рецессивен по отношению к гену нормального слуха.

а) Какое потомство можно ожидать от брака гетерозиготных родителей?

б) От брака глухонемой женщины с нормальным мужчиной родился глухонемой ребенок. Определите генотипы родителей.

30. Одна из форм гемералопии (ночная или куриная слепота) наследуется как доминантный признак.

а) Какова вероятность рождения детей, страдающих гемералопией, от гетерозиготных больных родителей?

б) Какова вероятность рождения детей с анализируемой аномалией в семье, где один из родителей страдает ночной слепотой, а другой нет, если известно, что оба супруга гомозиготны?

31. Галактоземия (обусловлена невозможностью использовать галактозу, вследствие пониженной активности фермента галактоза – 1-фосфат-уридилтрансферазы) наследуется как аутосомный рецессивный признак. Успехи современной 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 было предотвращено диетой, а второй гетерозиготен по галактоземии?

32. Акаталаземия, обусловлена отсутствием каталазы в крови и тканях и наследуется как аутосомно-рецессивный признак. Какова вероятность рождения ребенка, больного акаталаземией, если оба родителя здоровы, но являются носителями гена акаталаземии?

33. Алькаптонурия сопровождается выделением с мочой гомогентизиновой кислоты и имеет аутосомно-рецессивный тип наследования. Определите вероятность рождения здорового ребенка в семье, где один из родителей страдает этим заболеванием, а второй – скрытый носитель гена, обуславливающего это заболевание.

34. Болезнь Вильсона связана с нарушением синтеза белка церулоплазмينا, транспортирующего медь, которая в результате болезни накапливается в печени, мозге, почках и других тканях и наследуется как рецессивный аутосомный признак. Какова

вероятность рождения больных детей в семье, где оба родителя здоровы, но обе бабушки страдали данным заболеванием?

35. Аниридия наследуется как аутосомный доминантный признак, который характеризуется отсутствием радужной оболочки и сопровождается помутнением роговицы и хрусталика. В семье, где оба родителя не страдают данной аномалией, у одного из детей проявилась аниридия, а у другого нет. Каковы генотипы родителей?

36. Парагеофилия наследуется как аутосомный рецессивный признак и проявляется в несвертываемости крови. Какова вероятность рождения здоровых детей в семье, где один из родителей страдает парагеофилией, а другой здоров, если известно, что у здорового этой аномалией обладала мать?

37. Детская форма аневротической семейной идиотии (Тэй-Сакса) наследуется как аутосомный рецессивный признак и заканчивается обычно смертельным исходом к 4–5 годам. Первый ребенок в семье, где оба родителя гетерозиготны по данной аномалии, умер от анализируемой болезни в то время, когда должен родиться второй. Какова вероятность того, что второй ребенок будет здоров?

38. Гипофосфатемия наследуется как аутосомный рецессивный признак, проявляющийся в заболевании костной системы, напоминающем рахит. Какова вероятность рождения ребенка с этим заболеванием в семье, где оба супруга страдают гипофосфатемией?

39. Плече-лопаточно-лицевая форма миопатии сопровождается характерным поражением лицевой мускулатуры и наследуется как аутосомно-доминантный признак. Какова вероятность заболевания детей вышеуказанной формой миопатии в семье, где один из родителей обладает этой формой миопатии, а второй нет, при этом мать больного не страдала данной болезнью?

40. Альбинизм наследуется у человека как аутосомный рецессивный признак. В семье, где отец альбинос, а мать гетерозиготна по данному признаку, родился нормальный ребенок. Какова вероятность того, что следующий ребенок будет также нормальным?

41. Поздняя дегенерация роговицы (развивается после 50 лет) наследуется как доминантный аутосомный признак. Определите вероятность возникновения заболевания в семье, в которой все родственники по линии отца, дожившие до 70 лет, страдали этим заболеванием, а по линии матери были здоровы.

42. Черный цвет шерсти у собак – доминантный признак, а кофейный – рецессивный; ген, определяющий короткошерстность, доминирует над геном, ответственным за признак длинношерстности. Гены, определяющие цвет шерсти и её длину, находятся в разных парах аутосом.

а) Какова вероятность рождения короткошерстных щенков черного цвета от скрещивания гетерозиготных по обоим признакам собак?

б) Определите вероятность рождения щенка кофейного окраса с короткой шерстью при скрещивании длинношерстного самца кофейного цвета с самкой, гетерозиготной по обоим признакам.

43. У человека карий цвет глаз – доминирующий признак, а голубой цвет – рецессивный; праворукость доминирует над леворукостью. Обе пары генов, определяющие эти признаки, расположены в разных парах аутосом. Определите вероятность рождения голубоглазого праворукого ребенка в семье, где мать – правша с голубыми глазами, а отец – леворукий с карими глазами, учитывая, что дедушка по материнской линии был левшой, а у бабушки по отцовской линии глаза голубого цвета.

44. Ген, определяющий близорукость, доминирует над геном нормального зрения, а ген праворукости доминирует над геном леворукости. В семье, где отец – близорукий правша, а мать – левша с нормальным зрением, должен родиться ребенок. Определите возможные варианты фенотипа ребенка и их вероятность, если известно, что отец был правой с нормальным зрением, в то время как бабушка по отцовской линии была левшой.

45. Глаукома – наследственное заболевание, которое может определяться двумя несцепленными генами, локализованными в аутосомах. В одном случае болезнь определяется доминантным геном, в другом – рецессивным.



а) Определите вероятность рождения здорового ребенка в семье, где оба родителя гетерозиготны по обеим формам глаукомы.

б) Определите возможные генотипы детей, если известно, что мать нормальна в отношении вышеуказанного заболевания, хотя её отец страдал рецессивной формой глаукомы, а её муж страдает обеими формами глаукомы, в то время как его мать рецессивной формой глаукомы не болела.

46. Ген, определяющий вьющиеся волосы, доминирует над геном прямых волос, а ген нормального слуха доминирует над геном глухоты. Оба гена находятся в разных парах аутосом.

а) Определите возможные генотипы родителей, если у них родился ребенок с прямыми волосами, страдающий глухотой.

б) Определите вероятность рождения ребенка с прямыми волосами и пораженным слухом в семье, где отец имеет вьющиеся волосы и страдает врожденной глухотой, а мать обладает нормальным слухом и вьющимися волосами. В то же время необходимо учитывать, что у бабушки по отцовской линии волосы были прямыми, а дедушка по материнской линии страдал врожденной глухотой и имел прямые волосы.

47. Катаракта – наследственное заболевание и может определяться как рецессивными, так и доминантными генами, которые находятся в разных парах аутосом. Какова вероятность рождения здоровых детей в семье, где оба родителя гетерозиготны по доминантной форме катаракты и двум рецессивным ее формам?

48. Кареглазый мужчина с темными волосами, все родственники которого имели такой же фенотип, женился на голубоглазой блондинке. Определите возможные генотипы и фенотипы детей от этого брака.

49. Близорукий (доминантный признак) левша (рецессивный признак), женился на девушке-правше, обладающей нормальным зрением. Определите генотипы потомства, если известно, что ближайшие родственники жениха были близорукими, а отец девушки – левша.

50. Ген, определяющий гладкую поверхность томата – доминантный, шероховатую – рецессивный. Ген красного цвета

плодов томата – доминантный, желтого – рецессивный. Обе пары генов находятся в разных аутосомах.

Растение томатов, имеющих желтые и гладкие плоды, скрестили с растением, плоды которого обладали красным цветом и шероховатой поверхностью (пушистые). У полученных гибридных растений плоды были красные и гладкие. Определите генотипы родительских форм и потомства.

51. При скрещивании томатов, имеющих красные и гладкие плоды, с таким же растением получилось потомство в соотношении: красных гладких – три, красных пушистых – один. Одно растение из полученного потомства скрещивалось с исходной формой. Во втором потомстве наблюдали соотношение красных гладких и красных пушистых 1:1. Полученные во втором скрещивании красные пушистые растения скрещивались с красными гладкими, привезенными из другого семеноводческого хозяйства. В результате среди полученного потомства половина растений имела красные гладкие плоды, а вторая половина красные пушистые. Определите генотипы родителей и их потомства во всех поэтапных скрещиваниях.

52. Томаты с желтыми гладкими плодами скрестили с томатами, плоды которых красные и пушистые. Полученное потомство скрестили между собой. Во втором поколении все растения имели пушистые плоды, половина из которых имела красный цвет, а другая половина желтый. Определите генотипы родительских форм и потомства в первом и втором поколении.

### **Множественные аллели**

53. Отец имеет первую, а мать вторую группу крови. Какова вероятность рождения у них ребенка с первой или второй группой крови, если известно, что дедушка по материнской линии имел первую группу крови?

54. Мужчина с IV группой крови женился на девушке с I группой крови. Какие варианты группы крови возможны у их детей?

55. Кровь первой группы можно переливать всем людям, второй группы – только людям, имеющим II и IV группы, кровь лиц с III группой можно переливать людям с III или IV группой, а

кровь людей с IV группой можно переливать только лицам с IV группой крови. У отца II группа крови, а у матери III. При каких вариантах генотипа родителей возможно переливание крови между детьми.

56. Можно ли доказать факт отцовства по группе крови, если у отца IV группа крови, у матери II, а у дедушки по материнской линии и у ребенка I группа крови.

57. Все четверо детей из одной семьи имеют разные группы крови. Определите генотип родителей по локусу группы крови.

### **Неполное доминирование**

58. У львиного зева ген, определяющий широкую листовую пластинку, доминирует над геном, формирующим узкий лист. Гетерозиготы обладают листом промежуточной ширины.

а) Какова вероятность появления в потомстве узколистных растений при скрещивании растения с листьями промежуточной ширины с узколистным растением?

б) Какова вероятность появления в потомстве растений с промежуточной шириной листа при скрещивании широколистного и узколистного растения?

59. При скрещивании красноплодной и белоплодной земляники всегда получаются растения с розовыми ягодами.

а) Какое потомство получится при скрещивании красноплодной земляники с растением, имеющим розовые ягоды?

б) Какова вероятность появления растения с белыми ягодами при скрещивании растения с розовыми ягодами и белоплодной земляникой?

60. Кохинуровые норки (светлая окраска с черным крестом на спинке) получаются в результате скрещивания белых норок с темными. Какое потомство получится при скрещивании кохинуровых норок между собой?

61. Серо-голубые телята получаются при скрещивании белых и черных животных. При скрещивании между собой черных или белых животных всегда получаются телята соответственно черного или белого окраса. Определите генотипы родителей, если при

скрещивании были получены один теленок белого окраса, а другой – серо-голубого.

62. Форма чашечки у земляники может быть нормальной (доминантный ген) и листовидной (рецессивный ген). У гетерозигот чашечка имеет промежуточную форму. Эта пара аллелей не сцеплена с генами, определяющими цвет ягоды. Определите генотип и фенотип потомства при скрещивании растений гетерозиготных по форме чашечки и цвету плода.

63. Серповидноклеточная анемия наследуется по принципу неполного доминирования и в гетерозиготном состоянии повышает устойчивость к малярийному плазмодию. В гомозиготном состоянии этот признак приводит к смерти до половозрелого периода. Какими наследственными особенностями будут обладать дети от брака, в котором один из родителей гетерозиготен по указанному признаку, а другой – нормален?

64. Талассемия или анемия Кули выражается в изменении морфологии эритроцитов и появлении симптомов желтухи. Наследуется как неполностью доминантный аутосомный признак. В гомозиготном состоянии носители данного гена гибнут в раннем возрасте в 90-95% случаев, у гетерозиготных носителей этого гена заболевание проходит в легкой форме.

Мужчина, больной талассемией и устойчивый к малярии, вступил в брак с женщиной, обладающей таким же генотипом. Определите вероятность рождения здорового ребенка, если известно, что гены, вызывающий анемию Кули и серповидноклеточную анемию, не сцеплены.

### **Признаки, сцепленные с полом**

65. Ген, определяющий пеструю окраску кур, доминирует над геном белой окраски. Оба гена локализованы в X-хромосомах. У птиц, в отличие от млекопитающих, женский пол гетерогаметен (ХУ), а мужской гомогаметен (ХХ). Фермер скрестил пестрого петуха и пеструю курицу. В результате были получены пестрые петухи и куры пестрой и белой окраски. Определите генотипы родителей.

66. Фермер купил петуха пестрой окраски без родословной с целью разведения пестрых кур. Каким образом он может удостовериться в правильности своего выбора?

67. Ген золотистого оперения рецессивен по отношению к гену серебристого оперения, и оба они находятся в X-хромосомах. Золотистую курицу скрестили с серебристым петухом, которого получили от скрещивания серебристой курицы и золотистого петуха. Определите вероятность появления цыплят с золотистой окраской пера.

68. Гены черного и рыжего цвета у кошек аллельны и находятся в X-хромосомах. Кошки, гетерозиготные по этому признаку, обладают трехцветной окраской.

а) Какова вероятность рождения черных котят от скрещивания между собой трехцветной кошки и черного кота?

б) Какое потомство можно ожидать от скрещивания белой кошки и черного кота?

69. Гипоплазия эмали характеризуется резким истончением и наследуется как доминантный, сцепленный с X-хромосомой признак. Какова вероятность рождения ребенка с врожденной гипоплазией в семье, где мать здорова, а отец страдает гипоплазией?

70. Классическая гемофилия наследуется как рецессивный, сцепленный с X-хромосомой признак. В семье у нормальных родителей ожидают ребенка. Какова вероятность рождения здорового ребенка, если известно, что дедушка по материнской линии страдал этим заболеванием?

71. Ген, вызывающий одну из форм дальтонизма у человека, локализован в X-хромосоме и рецессивен по отношению к гену нормального зрения. Определите вероятность рождения здорового ребенка в семье, где мать здорова, а отец страдает дальтонизмом. Все родственники со стороны матери также здоровы.

72. Дальтонизм сцеплен с X-хромосомой, а глухота определяется геном, локализованным в аутосоме. Оба признака являются рецессивными. Мужчина-дальтоник, хорошо слышащий, женился на женщине с нормальным зрением, но страдающей глухотой. Определите вероятность рождения здорового ребенка,

если известно, что все родственники мужа были хорошо слышащими, а все родственники жены не страдали дальтонизмом.

73. Гипертрихоз проявляется присутствием волос на крае ушной раковины у мужчин и наследуется, как признак, сцепленный с Y-хромосомой, а альбинизм обусловлен рецессивным геном, имеющим аутосомную локализацию. Мужчина-альбинос, имеющий волосы на крае ушной раковины, женился на женщине, обладающей нормальной пигментацией кожных покровов, как и все ее ближайшие родственники. Какое потомство можно ожидать от данного брака?

74. Классическая гемофилия у людей обусловлена рецессивным, сцепленным с X-хромосомой геном, а темный цвет волос и карий цвет глаз определяются доминантными генами, лежащими в разных парах аутосом. В семье, где оба родителя имеют нормальную свертываемость крови, темный цвет волос и карие глаза, родился ребенок, больной гемофилией, со светлыми волосами и голубыми глазами. Определите генотипы родителей.

## Решение задач

3.а) Обозначим ген, определяющий признак «нос с горбинкой», как **A**, и ген, ответственный за признак «прямой нос», как **a**. Так как у матери нос прямой, значит, она является носителем двух рецессивных генов **a**. У отца нос с горбинкой, поэтому он обладает, по крайней мере, одним доминантным геном **A**. В то же время нам известно, что мать отца была гомозиготна по рецессивному признаку «прямой нос», поэтому она должна была передать сыну этот признак. Следовательно, сын гетерозиготен по этой паре аллельных признаков и имеет генотип **Aa**.

Рассмотрим варианты генотипов детей, которые могут родиться у данных родителей по указанным признакам.

P: ♀ **aa** × ♂ **Aa**

Гаметы: **A, a, a, a**.

F<sub>1</sub>: **aa**(50%), **Aa** (50%).

Итак, вероятность рождения ребенка с прямым носом равна 1/2.

17. Обозначим ген карликовости как **A**, ген нормального роста как **a**. Так как в потомстве у половины растений проявился ген карликовости, то очевидно, что один из родителей обладал гомозиготным генотипом **aa**, а второй был гетерозиготен – **Aa**, так как равновероятное проявление у потомства альтернативных признаков при моногибридном скрещивании происходит только в том случае, если один из родителей является рецессивной гомозиготой, а второй гетерозиготен по данной паре признаков.

♂ ♀	A	a
a	Aa	aa
a	Aa	aa

19. Обозначим ген серой окраски как **A**, ген черной окраски как **a**. Результаты скрещивания показывают расщепление признаков серой и черной окраски в соотношении, близком к 3:1. Следовательно, родительские формы обладали гетерозиготным генотипом **Aa** и при скрещивании дали расщепление признаков 3:1 согласно 2-му закону Менделя.

♂ ♀	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

47. Обозначим, гены, ответственные за анализируемые признаки: темные волосы – **A**, светлые волосы – **a**, карие глаза – **B**, голубые глаза – **b**.

Строим решетку Пеннета и определяем возможные генотипы потомства.

♂ ♀	AB	AB	AB	AB
ab	AaBb	AaBb	AaBb	AaBb
ab	AaBb	AaBb	AaBb	AaBb
ab	AaBb	AaBb	AaBb	AaBb
ab	AaBb	AaBb	AaBb	AaBb

Как видно из приведенной схемы, в потомстве возможно лишь появление гетерозиготного генотипа **AaBb**, которому соответствует фенотип «карие глаза, темные волосы».

51. Отец имеет генотип  $I^0I^0$ , а мать  $I^AI^0$ , так как её отец имел I-ю группу крови и, значит, передал ей аллель  $I^0$ . В потомстве у



этой пары родителей возможно равновероятное рождение детей с I-й и II-й группой крови с генотипами  $I^0I^0$  и  $I^AI^0$ .

♂		
♀	$I^0$	$I^0$
$I^0$	$I^0I^0$	$I^0I^0$
$I^A$	$I^AI^0$	$I^AI^0$

58. а) Ген, определяющий широкую листовую пластинку, обозначим  $\bar{A}$  (черточка обозначает неполное доминирование гена), ген узколистности обозначим **a**, тогда генотип широколиственных растений будет обозначаться  $\bar{A}\bar{A}$ , растений с промежуточной шириной листа  $\bar{A}a$ , генотип узколистных растений **aa**. Результатом скрещивания узколистных растений с растением, имеющим промежуточную ширину листа, будет равновероятное появление потомства с узкими листьями и листьями промежуточной ширины, что иллюстрирует нижеприведенная таблица.

♂		
♀	<b>a</b>	<b>a</b>
$\bar{A}$	$\bar{A}a$	$\bar{A}a$
<b>a</b>	<b>a</b>	<b>a</b>

65. Обозначим ген пестрой окраски кур как  $X_A$ , а ген белой окраски –  $X_a$ . Генотип курицы нам известен:  $X_AY$ , генотип петуха до начала анализа результатов скрещивания можем записать как  $X_A X_0$ , где  $0$  показывает, что нам пока не известно, какой признак определяет аллельный ген в другой X – хромосоме. Составим таблицу скрещивания.

♂ ♀	$X_A$	$X_0$
$X_A$		
$Y$		

Из условия задачи мы знаем, что в результате скрещивания были получены пестрые петухи и куры пестрой и белой окраски. Следовательно, мы можем написать генотипы кур:  $X_A Y$  и  $X_a Y$ . Так как все куры в потомстве от вышеуказанной пары получают по материнской линии  $Y$  хромосому, не являющуюся носителем генов данной аллельной пары, то  $X$ - хромосома может быть получена только от петуха. Тогда таблица примет следующий вид:

♂ ♀	$X_A$	$X_a$
$X_A$	$X_A X_A$	$X_A X_a$
$Y$	$X_A Y$	$X_a Y$

Генотипы родителей: ♀  $X_A Y$ , ♂  $X_A X_a$ .

## Ответы на задачи

1а) 50% с розовидным и 50% с листовидным гребнем; б) все потомство будет иметь розовидный гребень; в) генотип родителей Аа, где А – ген, определяющий розовидную форму гребня, а – ген, определяющий листовидную форму гребня.

2а) С серой и светлой окраской; б) будут получены гупии светлой и серой окраски; в) Аа и аа, где А – ген определяющий серую окраску гупий, а – ген определяющий светлую окраску гупий.

3а) Вероятность рождения ребенка с прямым носом  $\frac{1}{2}$ ; б) в данном браке с равной вероятностью могут родиться дети, имеющие прямой нос и нос с горбинкой; в) вероятность рождения курносого ребенка равна 0; г) вероятность рождения второго ребенка с такой же формой носа  $\frac{1}{4}$ .

4а) Вероятность рождения ребенка со скошенными глазами равна 0; б) АА и Аа, где А – ген темной окраски глаз, а – ген светлой окраски глаз.

5. Вероятность рождения ребенка с длинными ресницами  $\frac{1}{2}$ .

6. Вероятность рождения ребенка с прямыми волосами равна 0.

7. Генотип обоих родителей Аа, где А – ген низкого роста, а – ген высокого роста.

8а) Вероятность рождения ребенка с европейским разрезом глаз  $\frac{1}{2}$ ;

б) генотип матери Аа, где А – монголоидный разрез глаз, а – европейский разрез глаз.

9а) Вероятность рождения ребенка с широкими глазницами 1; б) Аа, где А – ген определяющий широкие глазницы, а – ген определяющий узкие глазницы.

10. Вероятность рождения ребенка со сросшимися фалангами пальцев  $\frac{1}{2}$ .

11. Поросята с рябой окраской составляют 25%.

12. В результате скрещивания все потомство является гетерозиготным с неполным доминированием признака «висячее ухо».

13а) 50% потомства будет устойчиво к головне, вторая половина потомства будет поражена головней; б) потомство будет устойчиво к головне.

14. Аа и аа, где А – ген определяющий круглую форму томата, а – определяющий грушевидную форму томата.

15. 2/3 от 44830.

16. Будут получены красноплодные растения.

17. Аа и аа, где А – ген карликовости, а – ген нормального роста.

18. Число позднеспелых растений должно быть приблизительно равно числу раннеспелых растений.

19а) Аа, Аа; б) Аа, аа; где А – ген серой окраски, а – ген черной окраски.

20а) Гетерозиготное комолое потомство; б) появление рогатого и комолого потомства равновероятно.

21. Генотипы родителей Аа, аа, потомства Аа, аа, где А – ген черной окраски, а – ген коричневой окраски.

22. Генотип  $P_1 \text{♀} - Aa$ ,  $P_2 \text{♀} - AA$ ,  $F_1$  от 1-й самки Аа, аа; от 2-й самки Аа, где А – ген черной окраски, а – ген коричневой окраски.

23. ♀ – Аа, ♂ Аа, А – ген коричневого цвета, а – ген голубовато-серого цвета.

24. Вероятность рождения детей с карими и голубыми глазами равна  $\frac{1}{2}$ .

25. Генотип женщины Аа, где А – ген праворукости, а – ген леворукости. Вероятность рождения левши  $\frac{1}{4}$ .

26. Вероятность рождения детей, больных миоплегией, равна 1.

27. Могут родиться и больные фенилкетонурией дети и здоровые.

28а) Вероятность рождения шестипалых детей в семье равна  $\frac{3}{4}$ ; б) вероятность рождения детей без аномалий равна  $\frac{1}{2}$ .

29а) Возможно рождение детей с нормальным слухом, гомозиготных или гетерозиготных по данному признаку, а также глухонемых детей; б) Аа и аа, где А – ген нормального слуха, а – ген определяющий глухоту.

30а)  $\frac{3}{4}$ ; б) 1. 31.  $\frac{1}{2}$ . 32.  $\frac{1}{4}$ . 33.  $\frac{1}{2}$ . 34.  $\frac{1}{4}$ .

35. Аа, где А – доминантный ген определяющий аниридию, а – рецессивный ген нормальный по данному признаку.

36.  $\frac{1}{2}$ . 37.  $\frac{3}{4}$ . 38. 1. 39.  $\frac{1}{2}$ . 40.  $\frac{1}{2}$ . 41. 1. 42а)  $\frac{9}{16}$ ; б)  $\frac{1}{4}$ . 43)  $\frac{1}{4}$ .

44. Возможно рождение праворукого ребенка с нормальным зрением с вероятностью  $\frac{1}{2}$ , и леворукого с нормальным зрением с вероятностью  $\frac{1}{2}$ .

45а)  $\frac{3}{16}$ ; б) АаВв, ааВв, Ааbb, аabb, где А – ген определяющий доминантную форму глаукомы, а – ген нормы для доминантной формы глаукомы, В – ген нормы для рецессивной формы глаукомы, b – ген определяющий рецессивную форму глаукомы.

53.  $\frac{1}{2}$ .

54. Вторая и третья группа крови.

58а)  $\frac{1}{2}$ ; б) 1. 64.  $\frac{1}{16}$ .

65. ♀ –  $X_A Y$ , ♂  $X_A X_a$ , А – ген пестрой окраски, а – ген белой окраски.

67.  $\frac{1}{2}$ . 68а)  $\frac{1}{2}$ . 69.  $\frac{1}{2}$ . 70.  $\frac{1}{2}$ . 71. 1.

72. Вероятность рождения здорового ребенка равна 1.

## Литература

1. Айала Ф., Кайгер Дж. Современная генетика: В 3-х т. М.: Мир, 1987-1988.
2. Алиханян С. И., Акифьев А. П., Чернин Л. С. Общая генетика. - М.: Высш.шк., 1985.
3. Бочков Н. П. Клиническая генетика. - М.: Медицина, 1997.
4. Ватти К. В., Тихомирова М. М. Сборник задач по генетическому анализу. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1973
5. Ватти К. В., Тихомирова М. М. Руководство к практическим занятиям по генетике. М.: Высшая школа, 1979.
6. Гершензон С. М. Основы современной генетики. Киев: Наукова думка, 1983.

7. Гершкович И. Генетика. - М.: Наука, 1968.
8. Дубинин Н. П. Общая генетика. 3-е изд. - М.: Наука, 1986.
9. Жимулев И. Ф. Общая и молекулярная генетика: Учеб. пособие. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та: Сиб. унив. изд-во, 2002.
10. Инге-Вечтомов С. Г. Генетика с основами селекции. М.: Высшая школа, 1989.
11. Картель Н. А., Макеева Е. Н., Мезенко А. М. Генетика: Энциклопедический словарь. - Минск: Тэхналогія, 1999.
12. Лобашев М. Е. Генетика. 2-е изд. - Л.: ЛГУ, 1967.
13. Льюин Б. Гены. М.: Мир, 1987.
14. Натали В. Ф. Основные вопросы генетики. М.: Просвещение, 1967.
15. Орлова Н. Н. Сборник задач по общей генетике. - М.: Изд-во МГУ, 1982.
16. Рис Э., Стенберг М. От клеток к атомам: Иллюстрированное введение в молекулярную биологию. - М.: Мир, 1988.
17. Сингер М., Берг П. Гены и геномы: в 2-х т. - М.: Мир, 1998.
18. Хелевин Н. В., Лобанов А. М., Колесова О. Ф. Задачник по общей и медицинской генетике. 2-е изд. - М.: Высш. шк., 1984.

## Содержание

Раздел I. Введение в генетический анализ.....	3
Раздел II. Задачи .....	9
§1. Моногибридное и дигибридное скрещивание.....	9
§2. Множественные аллели .....	18
§3. Неполное доминирование .....	19
§4. Признаки, сцепленные с полом .....	20
Решение задач .....	23
Ответы на задачи.....	27
Литература.....	29