**Панкратова Светлана Владимировна,**

**методист кафедры**

**естественно-научного образования**

**ЗАДАНИЯ НА ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ХАРДИ-ВАЙНБЕРГА**

**Первый тип заданий.** Дается общее количество особей и количество особей с определенным признаком. Нужно найти частоты всех аллелей и частоты всех возможных генотипов.

***p2+2pq+q2=1***

***р+q=1***

*В популяции на долю аллеля* ***А*** *приходится 80% от всех аллелей аутосомного гена. Определите частоту встречаемости генотипов в популяции.*

***р = 0,8***

***q = 1 – р = 1 – 0,8 = 0,2****.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ♀  ♂ | **p (А)**  0,8 | **q (а)**  0,2 |
| **p (А)**  0,8 | Генотип  **АА**  0,64  **p2** | Генотип  **Аа**  0,16  **pq** |
| **q (а)**  0,2 | Генотип  **Аа**  0,16  **pq** | Генотип  **аа**  0,04  **q2** |

**Задание из демоверсии 2024.**

*В популяции растений ночной красавицы (Mirabilis jalapa) из 150 особей 6 растений имеют ярко-красную окраску венчика. Рассчитайте частоты аллелей красной и белой окраски в популяции, а также частоты всех возможных генотипов, если известно, что популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните*.

**Схема решения задачи включает следующие элементы**:

1)частота растений с ярко-красной окраской венчика (частота генотипа АА- **р**) составляет **6/150 = 0,04;**

2) красную окраску имеют растения с генотипом **АА**, в равновесной популяции доля таких растений составляет **р2**;

3) частота аллеля **p(А)** в популяции составляет **0,2**

4) частота аллеля **q(а)** в популяции составляет **1 – p = 0,8 (1-0,2=0,8)**;

**5)** частота генотипа Аа(розовая окраска) в равновесной популяции составляет = **2pq = 0,32 (2 х 0,2 х 0,8 =0,32)**

6) частота генотипа аа(белая окраска) в равновесной популяции **q2 =0,64 (0,8)**

**Пример задания.**

*В популяции гороха посевного (Pisum sativum) из 700 особей 112 растений имеют зелёную окраску семян. Рассчитайте частоты аллелей жёлтой и зелёной окраски семян, а также частоты всех возможных генотипов, если известно, что популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Определите процент особей с доминантным признаком. Ответ поясните.*

**Схема решения задачи включает следующие элементы**:

1) Зелёную окраску семян имеют растения с генотипом аа

2) Частота генотипа аа - q2 составляет 0,16 (112:700=0,16)

3) Частота аллеля зеленой окраски *q* в популяции составляет 0,4 (√0,16=0,4)

4) Частота аллеля желтой окраски в популяции составляет p= 1 − 0,4 = 0,6.

5) Частота генотипа AA (жёлтая окраска) в равновесной популяции равна p2 = 0,36

6)Частота генотипа Аа (жёлтая окраска семян) в равновесной популяции равна 0,48 (2pq (Аа) = 2 х 0,6 х 0,4.

7)Особей с доминантным признаком 84%

8)Доминантный признак проявляется в гомозиготе и гетерозиготе (р2+ 2рq).

**Пример задания.**

*У растения львиный зев красная окраска цветка неполно доминирует над белой. Гетерозиготы по данным генам имеют розовую окраску. В популяции, состоящей из 900 растений, содержалось 180 красных растений. Рассчитайте частоты доминантных и рецессивных аллелей в популяции, а также частоты всех генотипов, если популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните.*

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1) красная окраска проявляется в гомозиготе АА

2)по частоте встречаемости красных цветков находим частоту генотипа р2 (180/900) = 0,2

3) По частоте генотипа АА находим частоту аллеля доминантного аллеля р=√0,2 =0,44

4)Зная р, по формуле р+q=1 находим q=1-0,44=0,56

5)Находим частоту генотипа аа: q2 =0,56 2 =0,31

6)Находим частоту гетерозиготного генотипа 2рq(Аа)= 2 х 0,44 х 0,56=0,49

**Второй тип заданий.** В условиях даютсяпроцентные значения особей с определенным признаком. Нужно найти частоты аллелей, частоты всех возможных генотипов и количество носителей гена (количество разных фенотипов).

**Пример задания.**

*В популяции черных кроликов, насчитывающей 500 особей, 4% составляют альбиносы. Рассчитайте частоты аллелей черной окраски и альбинизма, а также частоты всех возможных генотипов и количество носителей гена альбинизма в популяции, если популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните.*

**Дано:** р - черная окраска, q- альбинизм. Частота альбиносов -4%

**Найти:** частотыр-? q-? q2 -? р2 -? 2рq-? 2рq-количество особей

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1) частота генотипа аа: **q2 = 4/100 = 0,04**

2) частота рецессивного аллеля: **q (а) = √0,04 = 0,2**

3) частота доминантного аллеля: **р(А) = 1 – 0,2 = 0,8**

4) частота генотипа АА: **р2 = 0,8 х0,8=0,64**

5) частота гетерозиготного генотипа **2рq = 2 х 0,2 х 0,8 = 0,32, или 32%;**

6) носители гена альбинизма всегда имеют генотип Аа.

7)определяем количество гетерозигот:

500 особей – 100%

x особей – 32%;

x = 160 носителей гена альбинизма.

**Пример задания.**

*У людей ген курчавых волос неполностью доминирует над прямыми волосами, гетерозиготы имеют волнистые волосы. В популяции людей острова Тилос, состоящей из 750 человек 12% имеют курчавые волосы. Рассчитайте частоты аллелей прямых и курчавых волос, а также частоты возможных генотипов, количество людей в популяции по каждому фенотипу, если она находится в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните.*

**Дано: р-** курчавые волосы, **q**- прямые волосы, **рq** -волнистые волосы. Частота курчавых -12%

**Найти:** частотыр-? q-? q2 -? р2 -?, 2рq-?, количественное соотношение фенотипов.

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1) курчавые волосы проявляются только в гомозиготе АА

2) частота генотипа АА: **р2 = 12/100 = 0,12**

3) частота доминантного аллеля: **р(А) = √0,12= 0,34**

4) частота рецессивного аллеля **q(а)=1-0,34=****0,66**

5)частота генотипа аа: **q2 =0,662=0,43**

6) частота гетерозиготного генотипа **2рq = 2 х 0,34 х 0,66 = 0,45**

7) количество людей с курчавыми волосами :750 – 100%, x – 12%, x = 90 чел

8) количество людей с прямыми волосами:750 – 100%, x –43%, x = 322 чел

9) количество людей с волнистыми волосами:750 – 100%, x –45%; x =338 чел

**Третий тип заданий.** В условиях даетсячастота встречаемости признака в виде соотношения чисел. Нужно найти частоты аллелей, частоты всех возможных генотипов и процент носителей гена.

**Пример задания.**

*Полидактилия встречается в популяции людей с частотой 1,5:1000 новорожденных.* *Рассчитайте частоты доминантных и рецессивных аллелей, частоты гомозиготных генотипов, если популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Определите процент носителей рецессивного гена. Ответ поясните.*

**Примечание:** дети по «умолчанию», должны знать, что полидактилия доминантный ген. И здесь есть подвох: те, кто это не помнит, может решить, что полидактилия -рецессивный ген (ведь у большинства людей пять пальцев!) и найти носителей гена неправильно. Поэтому надо детям по генетике человека давать перечень доминантных и рецессивных генов у человека.

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1) частота полидактилии (АА + Аа) = 0,0015 (1,5/1000)

2) частота пятипалости q2 (аа) =1- 0,0015=0,9985

3) частота аллеля а q = √ 0,9985= 0,9992

4) частота аллеля р= 1- 0,9992= 0,0008

4) частота генотипа р2 (АА) = 0,00000064

5) носители рецессивного гена всегда имеют генотип Аа

6) частота гетерозигот 2рq (Аа) = 0,00159 (2 х 0,9992 х 0,0008)

7) процент носителей рецессивного гена составляет 0,159% (0,00159 х100)

**Важно помнить, что полидактилия проявляется при гомозиготе и гетерозиготе.**

**Пример задания.** *В популяции людей галактоземия (наследственное заболевание, характеризующиеся нарушением метаболизма галактозы)* *наследуется как аутосомно-рецессивный признак и встречается с частотой 1:10000.* *Рассчитайте частоты доминантных и рецессивных аллелей, частоты возможных генотипов и фенотипов, если популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Определите процент носителей гена галактоземии.* ***Ответ поясните.***

**Дано:** q - галактоземия; р – отсутствие галактоземии; галактоземия -1:10000.

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1) частота генотипа ааq2 = 1/10000 = 0,0001

2) частота аллеля а q = 0,01.

3) частота аллеля р = 1 - q = 1 - 0,01 = 0,99.

4) частота генотипа Аа 2рq = 2 **.** 0,99 **.** 0,01 = 0,0198

5) частота генотипа АА р2= 0,992=0,98

6) частота людей с отсутствием галактоземии р2+2рq= 0,98+0,0198=0,9998

7)частота людей с галактоземией q2 =0,0001

***8)носители галактоземии* имеют генотип Аа**

9)частота гетерозигот равна 0,0198, значит примерно 2% людей являются носителями гена галактоземии.

**Четвертый тип заданий.** В условиях даются проценты генотипов. Нужно определить частоты аллелей и генотипов, идентифицировать популяцию (определить находится ли популяция в равновесии Харди-Вайнберга)

**Пример задания.**

*Популяция состоит из 64% особей с генотипом АА и 16% с генотипом аа. Найдите частоты аллелей и частоты всех возможных генотипов. Находится ли эта популяция* *в равновесии Харди-Вайнберга? Ответ поясните.*

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1) частота генотипа р2 (АА) =0,64 (64/100)

2) частота генотипа q2 (аа)= 0,16 (16/100)

3) частота аллеля А р= 0,8 (√0,64)

4) частота аллеля а q= 0,4 (√0,16)

5) частота генотипа Аа 2рq = 0,64

6)по закону Харди Вайнберга сумма частот аллелей и сумма частот генотипов должна быть равна 1 (р(А)+q(а)=1 и р2(АА) + 2рq(Аа) + q2(аа)=1)

7) в данной популяции сумма частот аллелей равна 1,2 (0,8+0,4) и сумма частот генотипов равна 1,44(2 х 0,64 х 0,16)

8)данная популяция не находится в состоянии равновесия *Харди-Вайнберга*.

**Пример задания.**

*В популяции бездомных кошек 49% особей имеют генотип АА и 36% - генотип аа. Найдите частоты аллелей и частоты всех генотипов. Находится ли эта популяция в равновесии Харди-Вайнберга? Ответ поясните.*

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1) частота генотипа АА р2 =0,49 (49/100)

2) частота генотипа аа q2 = 0,36 (36/100)

3) частота аллеля А р= 0,7 (√0,49)

4) частота аллеля а q= 0,6 (√0,36)

5) частота генотипа Аа 2рq = 0,84

6)По закону Харди Вайнберга сумма частот аллелей и сумма частот генотипов должна быть равна 1 (р(А)+q(а)=1 и р2 (АА) + 2рq (Аа) + q2(аа)=1)

7) В данной популяции сумма частот аллелей равна 1,3 (0,7+0,6) и сумма частот генотипов равна 1,69(0,49 +0,84 х 0,36)

8)Данная популяция не находится в состоянии равновесияХарди-Вайнберга.

**Пятый тип заданий.**

В условиях даются соотношения генотипов. Нужно определить частоты аллелей и генотипов, является ли популяция равновесной.

**Пример задания.**

*В популяции имеется три генотипа по аутосомному гену в соотношении* ***9 АА: 6 Аа: 1 аа.*** *Рассчитайте частоты доминантных и рецессивных аллелей, частоты всех возможных генотипов. Соответствует ли такое соотношение равновесию в популяции, выражаемому формулой Харди-Вайнберга? Ответ поясните.*

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1)находим общее число частей: 9+6+1= 16

2) частота генотипа q2(аа)= 1/16 = 0,0625

3) частота аллеля а - q = 0,25 (25%)

4) частота генотипар2 (АА)= 9/16= 0,5625

5) частота аллеля А- p = 1 – 0,25 = 0,75 (75%)

6) частота гетерозигот 2рq (Аа) = 2 х 0,25 х 0,75=0,375 (или 6\16=0,375)

6)По закону Харди Вайнберга сумма частот аллелей и сумма частот генотипов должна быть равна 1 (р(А)+q(а)=1 и р2 (АА) + 2рq (Аа) + q2(аа)=1)

8)Сумма частот аллелей р+q =0,75+0,25=1, сумма частот генотипов равна 1.

9) Соответствует (популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга)

**Пример задания.**

*В популяции мышей полевок**наблюдается следующее соотношение гомозигот и гетерозигот в популяции: 409 АА: 460 Аа: 129 аа? Рассчитайте частоты аллелей, частоты всех возможных генотипов. Соответствует ли такое соотношение равновесию в популяции, выражаемому формулой Харди-Вайнберга? Ответ поясните.*

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1)находим общее число частей: 409+460+129=998

2) частота генотипа q2(аа)= 129/998 = 0,13

3) частота аллеля а - q = √0,13=0,36

4) частота аллеля А- p = 1 – 0, 36 = 0,64

5) частота генотипар2 (АА)= 0,642=0,41

6) частота гетерозигот 2рq (Аа) = 2 х 0,36 х 0,64=0,46 (или 6\16=0,375)

6)По закону Харди Вайнберга сумма частот аллелей и сумма частот генотипов должна быть равна 1 (р(А)+q(а)=1 и р2 (АА) + 2рq (Аа) + q2(аа)=1)

8)Сумма частот аллелей р+q =0,64+0,36=1, сумма частот генотипов равна 1

9) Соответствует (популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга)

**Шестой тип заданий.** В условиях дается частота встречаемости признака в виде соотношения чисел. Нужно определить генетическую структуру популяции и идентифицировать популяцию.

**Пример задания.**

*В популяциях людей в Танзании альбинизм встречается с частотой 1:1400. Определите генетическую структуру популяции.**Находится ли она в равновесии Харди-Вайнберга? Ответ поясните.*

**Анализ условий задания:** ген альбинизма является рецессивным (в условиях не сказано, но по «умолчанию» нужно это знать). Чтобы определить генетическую структуру популяции (соотношение частот генотипов), надо определить частоты всех генотипов.

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1) частота рецессивных гомозигот (q2) в долях единицы: q2 = 1/1400 = 0,0007

2) частота рецессивного аллеля составит: q = √0,0007 = 0,026

3) частота доминантного аллеля А по формуле р+q=1**:** р = 1 – 0,026 = 0,974

4) частота генотипа АА, то есть р2 =0,948

5) частота генотипа Аа, то есть 2рq = 2 х 0,917 х 0,083 = 0,05

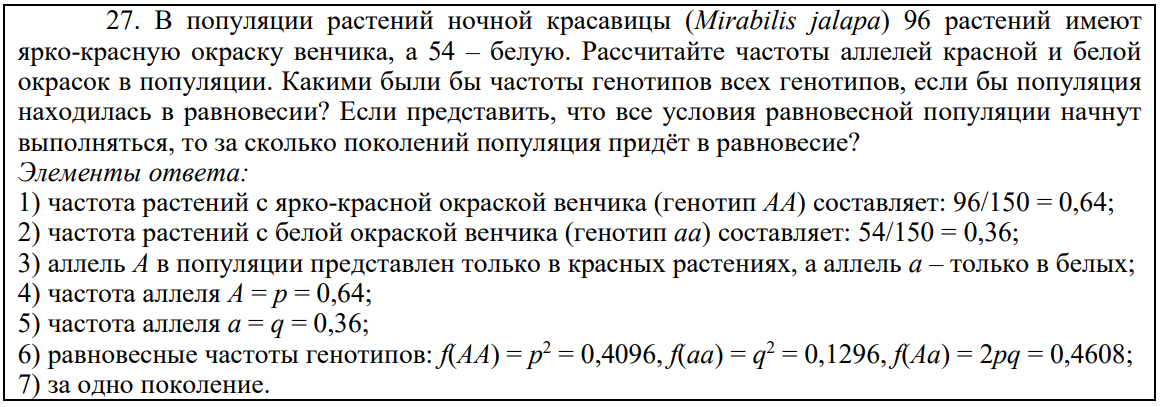
6) генетическая структура популяции: 0,948АА: 0,05Аа: 0,0007аа

**Седьмой тип заданий. Задания на неравновесную популяцию**: дается количество особей с определенными признаками. Нужно найти частоты аллелей, частоты всех генотипов при условии равновесности популяции, количество поколений через которое наступит равновесное состояние.

**Теория и советы по выполнению заданий на неравновесную популяцию.**

В заданиях открыто не пишется, что она не находится в состоянии равновесия Харди-Вайнберга. Надо самим это «увидеть» в условиях задания. Так как популяция не находится в равновесном состоянии НЕЛЬЗЯ применять уравнение Харди-Вайнберга. Частоты генотипов рассчитываются исходя из численности особей, а частоты аллелей рассчитываем исходя из общего количества аллелей и количества особей с определенными генотипами.

Можно не тратить время на расчеты частот аллелей (р и q). Найдите частоты генотипов АА(р2) и аа(q2), а частоты аллелей будут такие же, то есть частота аллеля А будет равна частоте генотипа АА, частота аллеля а будет равна частоте генотипа аа (это если в условиях задания не просят показать эти расчеты). Но если в условиях это будет прописано (например, объясните определение частот аллелей), то это надо показать. Поэтому надо знать, как рассчитывать.

****

Частоты генотипов рассчитать легко: количество особей с данным признаком делим на общее количество особей. А вот как рассчитать частоту аллелей?

Надо помнить, что все особи диплоидные, а значит, у каждого организма по одному признаку есть два аллеля (гены, определяющие альтернативные признаки по одному признаку).

**У особей с генотипом АА** – только доминантный аллель (два аллеля А),

**у особей с генотипом Аа** (гетерозиготы) половина аллелей А и половина а,

**у особей с генотипом аа** – только рецессивные аллели (два аллеля а).

Допустим, гомозигот по доминанте (АА)15 особей, значит у них 30 аллелей гена А, гетерозигот 20 (Аа), значит всего аллелей 40, из них доминантного аллеля А- 20, рецессивного аллеля -20, гомозигот по рецессивному признаку (аа) 10, значит, рецессивных аллелей 20. Всего особей -45 (15+20+10), значит, всего аллелей 90. Чтобы найти частоты аллелей количество конкретного аллеля делим на 90: р= (30+20) /90=0,555 и q= (20+20)/90=0,444. Суммарное число 0,999 (округляется до 1).

**Задание из методических рекомендаций ФИПИ 2023**.

*27. В популяции растений ночной красавицы (Mirabilis jalapa) 96 растений имеют ярко- красную окраску венчика, а 54 – белую. Рассчитайте частоты аллелей красной и белой окрасок в популяции. Какими были бы частоты всех генотипов, если бы популяция находилась в равновесии? Если представить, что все условия равновесной популяции начнут выполняться, то за сколько поколений популяция придёт в равновесие?*

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1)частота растений с ярко-красной окраской венчика (частота генотипа АА) составляет: **96/150 = 0,64;**

2) частота растений с белой окраской венчика (частота генотипа аа) составляет: **54/150 = 0,36;**

3) аллель А в популяции представлен только в красных растениях, а аллель а – только в белых;

4) частота аллеля А = р = 0,64 (96 х2=192 /300 аллелей (так как 150 диплоидных особей)

5) частота аллеля а = q = 0,36; (54 х 2= 108 /300= 0,36)

6) равновесные частоты генотипов:f(АА) = p2 = 0,4096, f(aa) = q2 = 0,1296, f(Aa) = 2pq = 0,4608;

7) за одно поколение.

**Пояснение к последнему вопросу задания** *(если представить, что все условия равновесной популяции начнут выполняться, то за сколько поколений популяция придёт в равновесие?)*

Изучая генетические процессы в естественных популяциях, английский ученый Карл Пирсон в 1904 году вывел *закон стабилизирующего скрещивания*, или *закон Пирсона:* при любом исходном соотношении частот гомозигот и гетерозигот при первом скрещивании внутри популяции устанавливается состояние равновесия, если исходные частоты аллелей одинаковы у обоих полов.

Нужно запомнить, что не соответствуют равновесию Харди-Вайнберга все популяции, где нет особей с тремя видами генотипов (АА,Аа,аа). Такие популяции при свободном скрещивании уже после первого скрещивания приходят в состояние равновесия, так как появляются особи с тремя разными генотипами. Это можно легко проверить.

1)Если в популяции особи только гомозиготные (АА, аа).

При свободном скрещивании возможно только три вида скрещиваний:

**АА × AA-**--F1: **все АА**, **AA × aa**---- F1: **все Aa,** **aa × aa**--- F1: **все** **aa**.

Появляются все три генотипа, популяция придет в равновесное состояние.

2)Если в популяции особи только с доминантным признаком (АА, Аа).

При свободном скрещивании возможно только три вида скрещиваний:

**АА × AA-**--F1: **все** **АА**, **AA × Аa**---- F1: **50% АА, 50%-Аа**, **Аa × Аa**--- F1: **25%АА, 50%Аа, 25%-aa**.

Появляются все три генотипа, популяция придет в равновесное состояние.

3)Если в популяции особи только гетерозиготы (Аа).

При свободном скрещивании возможен только один вида скрещиваний:

**Аa × Аa**--- F1: **25%АА, 50%Аа, 25%-aa.**

Появляются все три генотипа, популяция придет в равновесное состояние.

**Пример задания**.

27*. В популяции норок темная окраска неполностью доминирует над белой, и она состоит только из гомозиготных особей: 70 особей имеют темную окраску, 33-белую окраску. Рассчитайте частоты аллелей темной и белой окрасок в популяции. Какими были бы частоты всех генотипов, если бы популяция находилась в равновесии? Если представить, что все условия равновесной популяции начнут выполняться, то за сколько поколений популяция придёт в равновесие? Какой процент серых норок появится в популяции в первом поколении? Ответ поясните.*

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1)частота особей с темной окраской (частота генотипа АА) составляет: **0,68 (70/103)**

2) частота особей с белой окраской (частота генотипа аа) составляет: **0,32 (33/103)**

3) аллель А в популяции представлен только у темных норок, аллель **а** – только у белых;

4) частота аллеля А = р = 0,68 (70 х 2=140 /206 аллелей (так как всего 103 диплоидных особей)

5) частота аллеля а = q = 0,32; (33 х 2= 66 /206= 0,32)

6) равновесные частоты генотипов: f(АА) = p2 = 0,4624, f(aa) = q2 = 0,1024, f(Aa) = 2pq =0,4352

7) за одно поколение.

8) серые норки гетерозиготные, поэтому их количество составит 43,52%

**Пример задания**. *27. У кроликов черная окраска доминирует над белой. В популяции 120 кроликов и она состоит только из гетерозиготных и гомозиготных черных кроликов, где доля гомозигот составляет 25%. Рассчитайте частоты аллелей черной и белой окрасок в популяции. Какими были бы частоты всех генотипов, если бы популяция находилась в равновесии? Если представить, что все условия равновесной популяции начнут выполняться, то за сколько поколений популяция придёт в равновесие? Какой процент белых кроликов появится в популяции в первом поколении? Ответ поясните*.

**Схема решения задачи включает следующие элементы:**

1)частота генотипа АА составляет: **0,25** (25/100). Таких кроликов-30(120-100%, Х-25%)

2) частота генотипа Аа составляет: **0,75** (75/100). Таких кроликов -90(120-100%, Х-75%)

3) аллель **А** в популяции представлен во всех черных кроликах, аллель **а** только у гетерозигот.

4) частота аллеля А = р = 0,625 (у гомозигот АА 30 х 2= 60 аллелей А, у гетерозигот (Аа) всего 180 аллелей (90 х 2 =180), из них 90 аллелей А, в итоге всего аллелей А 150/240 (у 120 кроликов) =0,625)

5) частота аллеля а = q = 0,375 (90/240=0,375)

6) равновесные частоты генотипов: f(АА) = p2 = 0,3906, f(aa) = q2 = 0,1406, f(Aa) = 2pq =0,4687

7) за одно поколение.

8) 14,06%, так как белые кролики рецессивные, их генотип аа.

**Советы по решению заданий на применение уравнений Харди-Вайнберга**

1) Выучите наизусть два уравнения Харди-Вайнберга и обозначения символов в этих уравнениях.

2) Внимательно читайте условия задания и определите доминантные и рецессивные признаки, тип наследования признаков (если они не написаны в условиях задания).

3) В черновиках напишите, что дано из символов уравнений Харди-Вайнберга, и что нужно найти.

**4) Составьте последовательность действий, учитывая следующие моменты:**

* если в условиях дается общее число особей и количество особей с доминантным признаком, то можно найти частоту генотипа АА р2, затем можно найти р, по формуле найти q, затем найти q2 и по формуле найти гетерозигот 2рq.
* если значения частот в условиях задания даются в виде %, соотношения чисел и т.д. переводим в десятичные числа (см. таблицу на стр.3)
* если в условиях даются соотношения генотипов (в процентах или числовых выражениях), находим общее число (суммируя данные) и находим частоту генотипов в десятичных числах, делая пропорции.
* если требуется идентификация популяции (находится или не находится в равновесии Харди-Вайнберга), суммируем частоты аллелей и частоты генотипов. Если сумма равна 1, значит популяция соответствует равновесию Харди-Вайнберга.
* если по условиям задания в популяции отсутствуют особи с тремя генотипами (АА, Аа, аа), значит, она не находится в состоянии равновесия. Но она при первом же свободном скрещивании придет в состояние равновесия Харди-Вайнберга за одно поколение (пояснения даны на стр.9)

5) Последовательно и внимательно сделайте все расчеты и запишите ответы.

6) Обязательно проверьте в конце, все ли вы нашли по тому, что спрашивается в условиях задания.

**Задачи для отработки умений и навыков с уравнениями Харди-Вайнберга**

1. *Альбинизм у ржи наследуется как аутосомный рецессивный признак. На участке из 84000 растений 210 оказались альбиносами. Определить частоту гена альбинизма у ржи.*

**Решение:** в связи с тем, что альбинизм у ржи наследуется как аутосомный рецессивный признак, все растения альбиносы будут гомозиготны по рецессивному гену — *аа.*Частота их в популяции *(q2)*равна 210/84000 = 0,0025. Частота ре­цессивного гена *а*будет равна 0,0025. Следовательно, *q* = 0,05.

**Ответ:**0,05

*2.У крупного рогатого скота красная масть неполностью доминирует над белой (гибриды имеют чалую окраску). В районе обнаружены: 4169 красных, 756 белых и 3708 чалых животных. Какова частота генов окраски скота в этом районе?*

**Решение:** если ген красной масти животных обозначить через *А,* а ген белой — *а,*то у красных животных генотип будет *АА* (4169), у чалых *Аа*(3780), у белых - *аа*(756). Всего зарегистрировано животных 8705. Можно рассчитать частоту гомозиготных красных и белых животных в долях единицы. Частота белых животных будет 756 : 8705 = 0,09. Следовательно q2 *=0.09 .*Частота рецессивного гена *q*= √0,09*=*0,3.

Частота гена *А*будет *р =*1- *q.*Следователь­но, *р*= 1 - 0,3 = 0,7.

**Ответ:***р*= 0,7, гена *q =*0,3.

*3.Врожденный вывих бедра у человека наследуется как аутосомный доминантный признак с пенетрантностью 25%. Болезнь встречается с частотой 6:10 000. Определите число здоровых новорожденных в популяции.*

**Решение:** генотипы лиц, имеющих врожденный вывих бедра, *АА*и *Аа*(доминантное наследование). Здоровые лица имеют генотип аа. Из формулы *р2*+ *2pq*+. *q2=1*ясно, что число особей, несущих доминантный ген равно (р2+2рq). Однако приведенное в задаче число больных 6/10000 представляет собой лишь одну четвертую (25%) носителей гена А в популяции. Следовательно, *р2 + 2pq =*(4 х 6)/10 000 = 24/10000. Тогда *q2*(число гомозиготных по рецессивному гену особей) равно 1 - (24/10000) = 0,9976 (99,76%) что составляет 9976 человек.

**Ответ:** 9976 человек

*4. При обследовании популяции каракульских овец было выявлено 729 длинноухих особей (АА), 111 короткоухих (Аа) и 4 безухих (аа). Вычислите наблюдаемые частоты фенотипов, частоты аллелей, ожидаемые частоты генотипов по формуле Харди-Вайнберга.***Решение:**

**1-ый способ:** сумма всех особей популяции равна 844, можно найти долю каждого фенотипа в процентах: 86,37% длинноухих, 13,15% короткоухих и 0,47% безухих.

Затем выражаем в десятичных числах: р2= 0,8637 длинноухих, 2pq= 0,1315 короткоухих и q2aa =0,00474 безухих. (данный способ не подойдет, так как по условиям требуется вычислить по формуле Харди-Вайнберга).

**2-ой способ:** 1) находим сумму всех особей-844.

2)частота генотипа аа (безухие) q2 =4/844= 0,00474.

3)частота аллеля а q= √0,00474 =0,06884.

4)частота аллеля А р= 1 – 0,06884 = 0,93116.

5)частота генотипа АА (длинноухие) р2= 0,931162= 0,86706,

6) частота генотипа Аа(короткоухие) будет 2pq = 0,12820.

Обратите внимание, что полученные двумя способами частоты генотипов почти совпадают с вычисленными без формул Харди-Вайнберга, что подтверждает справедливость закона Харди-Вайнберга**.**

*5. Одна из форм глюкозурии наследуется как аутосомно-рецессивный признак и встречается с частотой 7:1000000. Определить частоту встречаемости гетерозигот в популяции.*

**Решение:** 1) частота встречаемости больных людей с генотипом аа (q2) равна 0,000007,

2)q = 0,00264575

3) р = 1 — q = 0,9973543

4)p2 = 0,9947155

5)частота встречаемости гетерозиготных особей 2pq = 2х0,00264575 х 0,9973543 = 0,0052775.

*Можно выразить в % (0,53%) или в количественном выражении (5300 чел.)*

*6. Альбинизм общий (молочно-белая окраска кожи, отсутствие меланина в коже, волосяных луковицах и эпителии сетчатки) наследуется как рецессивный аутосомный признак. Заболевание встречается с частотой 1: 20000 (К. Штерн, 1965). Определите процент гетерозиготных носителей гена.*

**Решение:** 1) частота генотипа аа q2= 1: 20 000=0,00005.

2)частота аллеля а q=√0,00005=0,0071.

3)частота аллеля А р=1-0,0071=0,9929

4)частота здоровых гомозигот АА будет р2=0,9859.

5)частота всех гетерозиготных носителей 2pq = 2 х 0,0071 х 0,9929 = 0,014 или 1,4%**.**

*Можно выразить в количественном выражении (280 чел.)*

*7. У кроликов окраска волосяного покрова “шиншилла” (А) доминирует над альбинизмом (а). Гетерозиготы Аа имеют светло-серую окраску. На кролиководческой ферме среди молодняка кроликов шиншилл появились альбиносы. Из 5400 крольчат 17 оказались альбиносами. Пользуясь формулой Харди-Вайнберга, определите, сколько было получено гомозиготных крольчат с окраской шиншилла.*

**Решение:** А-шиншилла, Аа-светло-серая, аа-альбинос

1)частота альбиносов (генотипа аа) q2=17/5400= 0,00315

2)частота аллеля а = =√0,00315=0,056

3)частота аллеля р= 1-0,056= 0,944

4) частота генотипа р2=0,9442=0,891 или 89,1% (от 5400)

5) количество гомозиготных крольчат 4811**.**

*8. Популяция европейцев по системе групп крови резус содержит 85% резус положительных индивидуумов. Определите насыщенность популяции рецессивным аллелем.*

**Решение:** р- резус+, q- резус-. Резус положительные могут быть гомозиготные и гетерозиготные. Резус отрицательных будет 15%

1)частота генотипа q2 = 0,15 от всех людей европейской популяции.

2)частота аллеля q или «насыщенность популяции рецессивным аллелем» составит корень квадратный из 0,15 = 0,39 или 39%.

**Список использованных источников:**

1. Гончаров О.В. Генетика. Задачи. Саратов: Изд-во «Лицей», 2005. – 120 с.
2. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2023 года по биологии – URL: <https://edsoo.ru/> (дата обращения: 21.10.2024)
3. Онлайн-школа по биологии. – URL: <https://vk.com/mayan_21> (дата обращения: 21.10.2024)
4. Песецкая Л.Н., Гончаренко Г.Г., Острейко Н.Н. Сборник задач по генетике. - Гомель, 2002. – 320 с.
5. Синюшин А.А. Решение задач по генетике. – Москва: Лаборатория знаний, 2019. – 148 с.