

Основные термины и обозначения

1. **Популяция** — особи одного вида, которые живут на общей территории и свободно скрещиваются друг с другом. При этом они частично или полностью изолированы от других групп (популяций).
2. **Равновесная популяция** — теоретическая популяция, в которой частоты аллелей и генотипов остаются постоянными из поколения в поколение.

В такой популяции действует **закон Харди-Вайнберга**.

3. **Неравновесная популяция** — популяция, в которой частоты аллелей и генотипов меняются из поколения в поколение.

В такой популяции **не** действует **закон Харди-Вайнберга**.

4. **Закон Харди-Вайнберга**: в идеальной, бесконечно большой популяции при свободном скрещивании и отсутствии факторов эволюции (естественный отбор, мутации, миграции, дрейф генов) частоты аллелей и генотипов остаются постоянными из поколения в поколение.

$$p + q = 1$$

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

5. **p** или **f_A** — частота доминантного аллеля A;

q или **f_a** — частота рецессивного аллеля a;

p² или **f_{AA}** — частота генотипа доминантной гомозиготы AA;

q² или **f_{aa}** — частота генотипа рецессивной гомозиготы aa;

2pq или **f_{Aa}** — частота генотипа гетерозиготы Aa.

Обозначения **p², q², 2pq** применимы только для равновесных популяций.

Для неравновесных популяций рекомендуется использовать обозначения **f_{AA}, f_{Aa}, f_{aa}** или фразы «частота генотипа AA / Aa / aa».



Курс подготовки к ЕГЭ–2027 по биологии

- ♥ Короткие теоретические видео.
- ♥ Практические вебинары.
- ♥ Бумажная рабочая тетрадь по генетике.
- ♥ Чат с учителем и проверка заданий 2 части.

 stepenin.ru/bio



6. **N** — общее число особей в популяции;
N_{AA} — число особей с генотипом AA;
N_{Aa} — число особей с генотипом Aa;
N_{aa} — число особей с генотипом aa.

Основные формулы

Равновесная популяция

Частоты аллелей и генотипов постоянны из поколения в поколение

$$\begin{aligned}f_{AA} &= N_{AA} / N = p^2 \\f_{Aa} &= N_{Aa} / N = 2pq \\f_{aa} &= N_{aa} / N = q^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_A &= f_{AA} + 0,5 f_{Aa} = p = \sqrt{p^2} \\f_a &= f_{aa} + 0,5 f_{Aa} = q = \sqrt{q^2}\end{aligned}$$

Неравновесная популяция

Частоты аллелей и генотипов меняются из поколения в поколение

$$\begin{aligned}f_{AA} &= N_{AA} / N \neq p^2 \\f_{Aa} &= N_{Aa} / N \neq 2pq \\f_{aa} &= N_{aa} / N \neq q^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_A &= f_{AA} + 0,5 f_{Aa} = p \\f_a &= f_{aa} + 0,5 f_{Aa} = q\end{aligned}$$

1. Расчет частот генотипов: **f_{AA}**, **f_{Aa}** и **f_{aa}**

Допустим, в популяции число особей с генотипом AA (N_{AA}) = 49; с генотипом Aa (N_{Aa}) = 42; с генотипом aa (N_{aa}) = 9;

Тогда общее число всех особей в популяции: $N = 49 + 42 + 9 = 100$

Частота генотипа AA = $49 / 100 = 0,49$

$$f_{AA} = N_{AA} / N$$

Частота генотипа Aa = $42 / 100 = 0,42$

$$f_{Aa} = N_{Aa} / N$$

Частота генотипа aa = $9 / 100 = 0,09$

$$f_{aa} = N_{aa} / N$$

$$f_{AA} + f_{Aa} + f_{aa} = 1$$

2. Расчет частот аллелей: **f_A** и **f_a**

Допустим, в популяции частота генотипа AA (f_{AA}) = 0,49; генотипа Aa (f_{Aa}) = 0,42; генотипа aa (f_{aa}) = 0,09;

Тогда:

1) Особи с генотипом AA содержат по два аллеля A →

→ частота аллеля A = (частота генотипа AA) • 2 = $0,49 \cdot 2$



Теория для задания №27 закон Харди-Вайнберга

2) Особи с генотипом Aa содержат один аллель A и один аллель a →

→ частота аллеля A = частота аллеля a = частота генотипа Aa = 0,42

3) Особи с генотипом aa содержат по два аллеля a →

→ частота аллеля a = (частота генотипа aa) • 2 = 0,09 • 2

Так как особи диплоидны, то сумма частот аллелей будет в два раза больше суммы частот генотипов, то есть 2 • 100% или 2 • 1

Общая частота аллеля A = (0,49 • 2 + 0,42) / 2 = 0,49 + ½ • 0,42 = 0,7

$$f_A = f_{AA} + \frac{1}{2} f_{Aa}$$

Общая частота аллеля a = (0,09 • 2 + 0,42) / 2 = 0,09 + ½ • 0,42 = 0,3

$$f_a = f_{aa} + \frac{1}{2} f_{Aa}$$

$$f_A + f_a = 1$$

3. Расчет частот генотипов через частоты аллелей: p^2 , $2pq$ и q^2 через p и q

Допустим, в популяции частота аллеля A (f_A или p) = 0,7; частота аллеля a (f_a или q) = 0,3;

Тогда частоты сочетаний аллелей (в генотипах):

	$f_A = 0,7 = p$	$f_a = 0,3 = q$
$f_A = 0,7 = p$	$f_{AA} = 0,7 \cdot 0,7 = p^2$	$f_{Aa} = 0,7 \cdot 0,3 = pq$
$f_a = 0,3 = q$	$f_{Aa} = 0,7 \cdot 0,3 = pq$	$f_{aa} = 0,3 \cdot 0,3 = q^2$

Частота генотипа AA = $p^2 = 0,7^2 = 0,49$

Частота генотипа aa = $q^2 = 0,3^2 = 0,09$

Частота генотипа Aa = $2pq = 2 \cdot 0,7 \cdot 0,3 = 0,42$

$$p + q = 1$$

$$p^2 + 2pq + q^2 = (p + q)^2 = 1$$

4. Расчет частот генотипов после гибели части особей

Допустим, в популяции из вышеприведенного примера погибло 40% особей с генотипом AA;

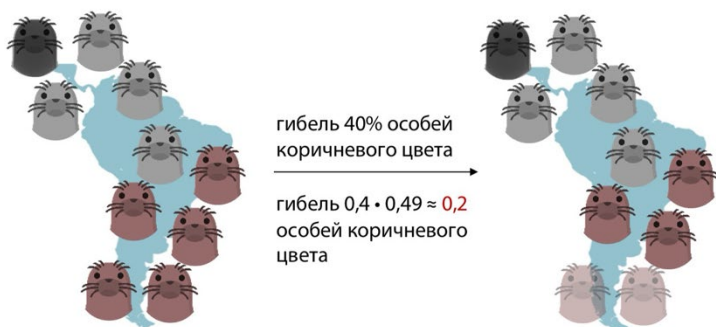
Тогда:

Погибло особей: $0,4 \cdot (\text{частота генотипа AA}) = 0,4 \cdot 0,49 = 0,196 \approx 0,2$

Осталось особей: $= 1 - 0,4 \cdot (\text{частота генотипа AA}) = 1 - 0,2 = 0,8$



Теория для задания №27 закон Харди-Вайнберга



Частота = $5/10 \approx 0,49$	} 1	Частота = $3/8 \approx (0,49 - 0,2) / (1 - 0,2) = (0,49 - 0,2) / 0,8$
Частота = $4/10 \approx 0,42$		Частота = $4/8 \approx 0,42 / (1 - 0,2) = 0,42 / 0,8$
Частота = $1/10 \approx 0,09$		Частота = $1/8 \approx 0,09 / (1 - 0,2) = 0,09 / 0,8$

Составим наглядную таблицу для расчета частот генотипов:

Параметр популяции	Исходная популяция	Новая популяция
Всего особей	1	0,8
Частота генотипа AA	$0,49 / 1$	$(0,49 - 0,2) / 0,8$
Частота генотипа Aa	$0,42 / 1$	$0,42 / 0,8$
Частота генотипа aa	$0,09 / 1$	$0,09 / 0,8$

Допустим, доля погибших особей с генотипом AA = x, тогда:

Параметр популяции	Исходная популяция	Новая популяция
Всего особей	1	$1 - x$
Частота генотипа AA	$p^2 / 1$	$(p^2 - x) / (1 - x)$
Частота генотипа Aa	$2pq / 1$	$2pq / (1 - x)$
Частота генотипа aa	$q^2 / 1$	$q^2 / (1 - x)$

5. Признаки неравновесной популяции в задачах:

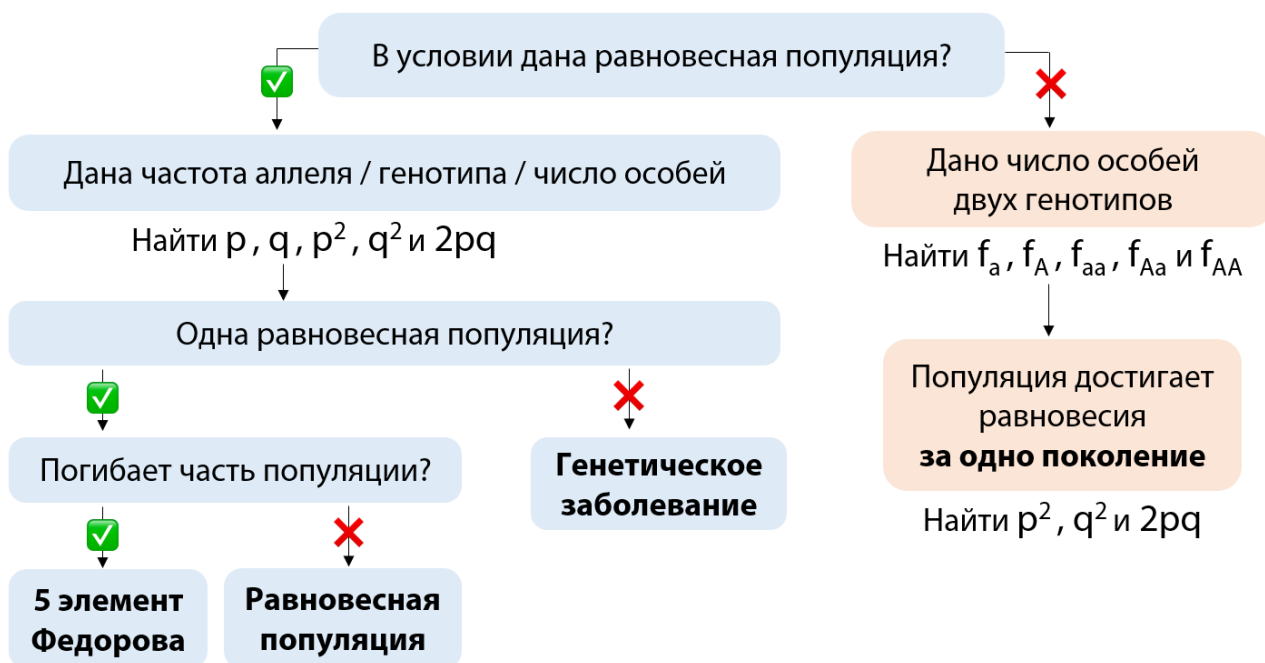
- гибель части особей;
- отсутствие гетерозигот (гомозигот);
- вопрос в условии «за сколько поколений популяция придёт в равновесие».

6. Частые ответы на вопросы задач:

- **Естественный отбор** может приводить к снижению доли рецессивных гомозигот.
- **Дрейф генов** приводит различию частот аллелей в разных популяциях.
- **Неравновесная популяция** достигает равновесия **за одно поколение**.



Определение типов задач №27 на закон Харди-Вайнберга



Типы задач на закон Харди-Вайнберга

1. Одна равновесная популяция

- Известна частота одного из аллелей (p или q)
- Известна частота одного из генотипов (p^2 или q^2 или $2pq$)
- Известно число особей с доминантным или рецессивным фенотипом (N_{aa} , N_{AA} или N_{AA+Aa})
- Известно число особей с промежуточным фенотипом (N_{Aa})

2. Две равновесные популяции (генетическое заболевание)

3. Гибель в равновесной популяции (5 элемент Федорова)

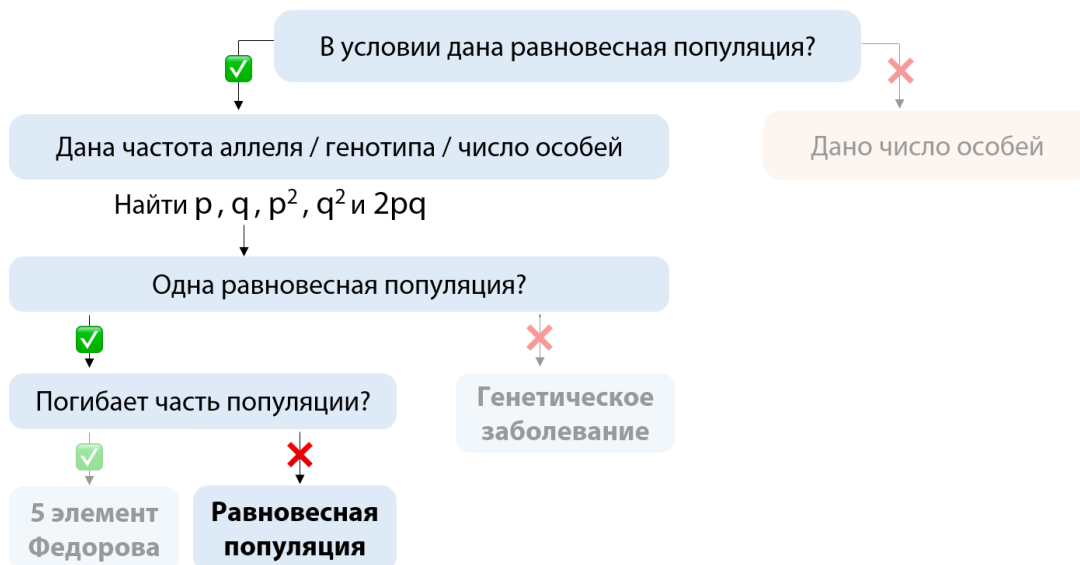
- Гибель особей с одним из генотипов
- Гибель особей с доминантным фенотипом

4. Одна неравновесная популяция



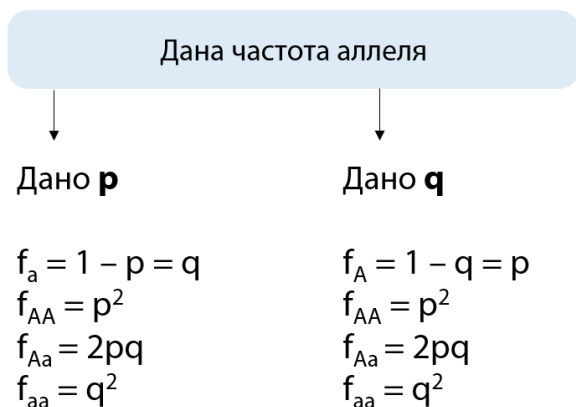
Примеры решения задач

1. Задания с одной равновесной популяцией



1^а. Равновесная популяция, известна частота одного из аллелей (р или q)

Синдром Марфана наследуется по аутосомно-доминантному типу. Частота аллеля А составляет 0,0001. Рассчитайте частоты всех возможных генотипов, частоту встречаемости заболевания, если известно, что популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните.



Решение :

1. Определить тип задачи:

В задаче одна равновесная популяция, нет гибели особей. Известна частота аллеля А.

2. Рассчитать частоты аллелей:

По условию частота доминантного аллеля А: $p = 0,0001$

Частота рецессивного аллеля а: $q = 1 - p = 1 - 0,0001 = 0,9999$

3. Рассчитать частоты генотипов:



Теория для задания №27 закон Харди-Вайнберга

Частота доминантных гомозигот (генотип AA): $p^2 = 0,0001^2 = 0,00000001$

Частота гетерозигот (генотип Aa): $2pq = 2 \cdot 0,0001 \cdot 0,9999 = 0,0002$

Частота рецессивных гомозигот (генотип aa): $q^2 = 0,9999^2 = 0,9998$

4. Рассчитать частоты фенотипов:

Частота встречаемости заболевания (мутантный фенотип, генотипы AA и Aa): $p^2 + 2pq = 0,00000001 + 0,0002 = 0,0002$

1⁶. Равновесная популяция, известна частота одного из генотипов (p^2 , q^2 или $2pq$)

Фенилкетонурия — моногенное заболевание, возникающее в результате нарушения аминокислотного обмена, наследующееся по аутосомно-рецессивному типу. Частота встречаемости заболевания в равновесной популяции человека составляет 1:10 000. Рассчитайте частоты мутантных и нормальных аллелей, частоты всех фенотипов в данной популяции. Поясните ход решения. Какой эволюционный фактор может приводить к снижению доли рецессивных гомозигот во всей человеческой популяции?

Дана частота генотипа

Дано p^2

$$f_A = \sqrt{p^2} = p$$

$$f_a = 1 - p = q$$

$$f_{aa} = q^2$$

$$f_{Aa} = 2pq$$

Дано q^2

$$f_a = \sqrt{q^2} = q$$

$$f_A = 1 - q = p$$

$$f_{AA} = p^2$$

$$f_{Aa} = 2pq$$

Дано $2pq$

* см. пример 1^Г

Решение :

1. Определить тип задачи:

В задаче одна равновесная популяция, нет гибели особей. Известна частота генотипа aa (рецессивного фенотипа).

2. Рассчитать частоту одного из генотипов (фенотипов):

Частота рецессивных гомозигот (aa, мутантного фенотипа) в равновесной популяции составляет $q^2 = 1 / 10000 = 0,0001$

3. Рассчитать частоты аллелей:

Частота мутантного аллеля a: $q = \sqrt{q^2} = \sqrt{0,0001} = 0,01$

Частота нормального аллеля A: $p = 1 - q = 1 - 0,01 = 0,99$

4. Рассчитать остальные частоты генотипов (фенотипов):



Теория для задания №27 закон Харди-Вайнберга

Нормальный фенотип представлен доминантными гомозиготами (AA) и гетерозиготами (Aa), его частота составляет $1 - q^2 = 1 - 0,0001 = 0,9999$

5. **Естественный отбор** может приводить к снижению доли рецессивных гомозигот во всей человеческой популяции

1^В. Равновесная популяция, известно число особей с доминантным или рецессивным фенотипом (N_{aa} , N_{AA} или N_{AA+Aa})

Дано число особей с рецессивным фенотипом	Дано число особей с доминантным фенотипом	
	Полное доминирование признака?	
	✗	✓
Дано N_{aa}	Дано N_{AA}	Дано N_{AA+Aa}
$f_{aa} = N_{aa} / N = q^2$	$f_{AA} = N_{AA} / N = p^2$	$N_{aa} = N - N_{AA+Aa}$
$f_a = \sqrt{q^2} = q$	$f_A = \sqrt{p^2} = p$	$f_{aa} = N_{aa} / N = q^2$
$f_A = 1 - q = p$	$f_a = 1 - p = q$	$f_a = \sqrt{q^2} = q$
$f_{AA} = p^2$	$f_{aa} = q^2$	$f_A = 1 - q = p$
$f_{Aa} = 2pq$	$f_{Aa} = 2pq$	$f_{AA} = p^2$
		$f_{Aa} = 2pq$

У одной из пород коров сплошная окраска доминирует над пестрой. В хозяйстве 48 коров из 1200 имеют пеструю окраску. Рассчитайте частоты аллелей сплошной и пестрой окраски, а также частоты всех возможных генотипов, если известно, что популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните.

Решение :

1. Определить тип задачи:

В задаче одна равновесная популяция, нет гибели особей. Известно число особей с рецессивным фенотипом.

2. Рассчитать частоту одного из генотипов (фенотипов):

Пёструю окраску имеют коровы с генотипом aa, в равновесной популяции доля таких животных составляет $q^2 = N_{aa} / N = 48 / 1200 = 0,04$

3. Рассчитать частоты аллелей:

Частота рецессивного аллеля a: $q = \sqrt{q^2} = \sqrt{0,04} = 0,2$

Частота доминантного аллеля A: $p = 1 - q = 1 - 0,2 = 0,8$

4. Рассчитать остальные частоты генотипов (фенотипов):

Частота генотипа Aa (сплошная окраска): $2pq = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,8 = 0,32$

Частота генотипа AA (сплошная окраска): $p^2 = 0,8^2 = 0,64$



У коров породы шотгорн красная масть не полностью доминирует над белой. У гетерозигот развивается чалая окраска. Из 2000 животных данной породы 980 имеют красную масть. Рассчитайте частоты аллелей красной и белой окраски, а также частоты всех возможных генотипов, если известно, что популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните.

Решение :

1. Определить тип задачи:

В задаче одна равновесная популяция, нет гибели особей. Известно число особей с доминантным фенотипом. Неполное доминирование.

2. Рассчитать частоту одного из генотипов (фенотипов):

Красную масть имеют коровы с генотипом AA, в равновесной популяции доля таких животных составляет $p^2 = N_{AA} / N = 980 / 2000 = 0,49$

3. Рассчитать частоты аллелей:

Частота доминантного аллеля A: $p = \sqrt{p^2} = \sqrt{0,49} = 0,7$

Частота рецессивного аллеля a: $q = 1 - p = 1 - 0,7 = 0,3$

4. Рассчитать остальные частоты генотипов (фенотипов):

Частота генотипа Aa (чалая окраска): $2pq = 2 \cdot 0,3 \cdot 0,7 = 0,42$

Частота генотипа aa (белая окраска): $q^2 = 0,3^2 = 0,09$

У кроликов шерсть нормальной длины доминирует над короткой. В популяции из 600 кроликов 504 имеют шерсть нормальной длины. Рассчитайте частоты аллелей нормальной и короткой шерсти, а также частоты всех возможных генотипов, если известно, что популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните.

Решение :

1. Определить тип задачи:

В задаче одна равновесная популяция, нет гибели особей. Известно число особей с доминантным фенотипом. Полное доминирование.

2. Рассчитать частоту одного из генотипов (фенотипов):

По условию кролики с нормальной шерстью имеют генотип AA или Aa, с короткой шерстью — генотип aa;

Тогда число особей с генотипом aa составляет: $N_{aa} = N - N_{AA+Aa} = 600 - 504 = 96$

В равновесной популяции доля таких животных составляет $q^2 = N_{aa} / N = 96 / 600 = 0,16$

3. Рассчитать частоты аллелей:



Теория для задания №27 закон Харди-Вайнберга

$$\text{Частота рецессивного аллеля } a: q = \sqrt{q^2} = \sqrt{0,16} = 0,4$$

$$\text{Частота доминантного аллеля } A: p = 1 - q = 1 - 0,4 = 0,6$$

4. Рассчитать остальные частоты генотипов (фенотипов):

$$\text{Частота генотипа } AA \text{ (шерсть нормальной длины): } p^2 = 0,6^2 = 0,36$$

$$\text{Частота генотипа } Aa \text{ (шерсть нормальной длины): } 2pq = 2 \cdot 0,4 \cdot 0,6 = 0,48$$

1^г. Равновесная популяция, известно число особей с промежуточным фенотипом (N_{Aa})

В популяции растений львиного зева 630 растений из 1500 имели розовую окраску венчика. Рассчитайте частоты аллелей красной и белой окраски цветка в популяции, а также частоты всех возможных генотипов, если известно, что популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга и растения с красной окраской венчика в популяции встречаются чаще, чем растения с белой окраской венчика. Ответ поясните.

Дано число особей с **промежуточным** фенотипом (N_{Aa})

$$f_{Aa} = N_{Aa} / N = 2pq$$

Если $q = 1 - p$, то

$$2pq = 2 \cdot p \cdot (1 - p) = 2p - 2p^2$$

$$f_a = 1 - p = q$$

$$f_{aa} = q^2$$

$$f_{AA} = p^2$$

Решение
квадратного уравнения

Если $2pq = c$, то

$$2p - 2p^2 = c$$

$$2p^2 - 2p + c = 0$$

$$p = \frac{2 \pm \sqrt{4 - 4 \cdot 2 \cdot c}}{2 \cdot 2}$$

Решение :

1. Определить тип задачи:

В задаче одна равновесная популяция, нет гибели особей. Известно число особей с промежуточным фенотипом.

2. Рассчитать частоту одного из генотипов (фенотипов):

Растения с розовой окраской венчика имеют генотип Aa , в равновесной популяции их доля составляет $2pq = 630 / 1500 = 0,42$

3. Рассчитать частоты аллелей:

Из закона Харди-Вайнберга $p + q = 1$ или $q = 1 - p$

$$\text{Тогда } 2pq = 2 \cdot p \cdot (1 - p) = 0,42$$

$$2p - 2p^2 = 0,42$$

$$2p^2 - 2p + 0,42 = 0$$



Теория для задания №27 закон Харди-Вайнберга

$$D = 4 - 4 \cdot 2 \cdot 0,42 = 0,64$$

$$p_1 = (2 + \sqrt{0,64}) / 2 \cdot 2 = 0,7$$

$$p_2 = (2 - \sqrt{0,64}) / 2 \cdot 2 = 0,3$$

По условию частота встречаемости растений с красной окраской венчика (p^2) больше, чем с белой (q^2), поэтому частота аллеля А (p) должна быть больше, чем частота аллеля а (q). Из двух корней уравнения выбираем больший. Отсюда:

Частота доминантного аллеля А: $p = 0,7$

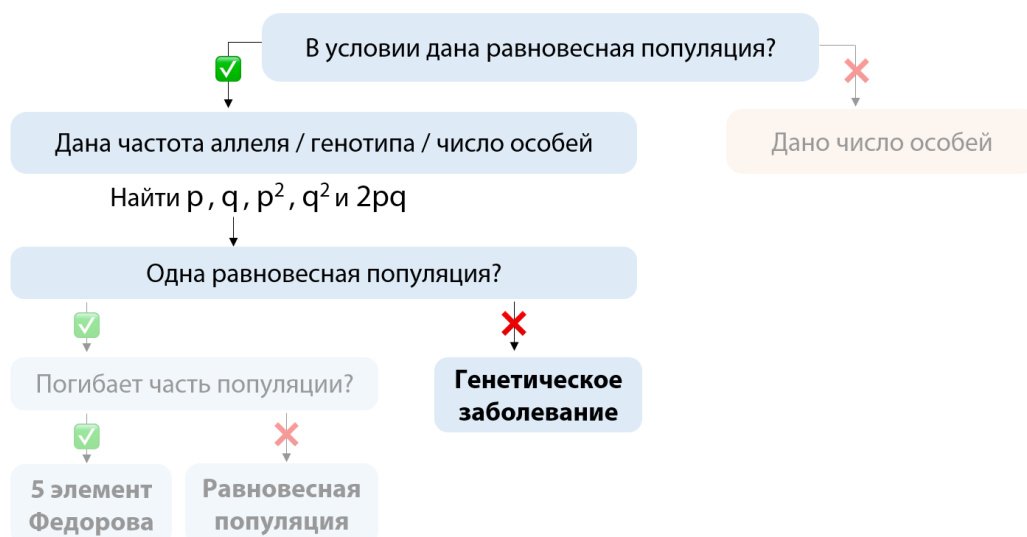
Частота рецессивного аллеля а: $q = 1 - p = 1 - 0,7 = 0,3$

5. Рассчитать остальные частоты генотипов (фенотипов):

Частота генотипа АА (красная окраска): $p^2 = 0,7^2 = 0,49$

Частота генотипа аа (белая окраска): $q^2 = 0,3^2 = 0,09$.

2. Задания с двумя равновесными популяциями (генетическое заболевание)



Две равновесные популяции, известны частота аллеля / частота генотипа / число особей одной популяции и частота аллеля / частота генотипа / число особей — другой

Алкаптонурия — метаболическое моногенное, аутосомно-рецессивное заболевание, которое возникает из-за нарушения обмена тирозина в организме человека. Известно, что частота заболевания в большинстве человеческих популяций составляет 1 : 250 000. Однако среди коренных жителей Доминиканской Республики заболевание встречается с частотой 1 : 19 000. Рассчитайте равновесные частоты нормального и мутантного фенотипа в человеческой популяции. Поясните ход решения. Покажите, что популяция не



Теория для задания №27 закон Харди-Вайнберга

находится в равновесии Харди-Вайнберга. За счёт действия какого эволюционного фактора наблюдается отклонение от равновесия?

Решение :

1. Определить тип задачи:

В задаче две равновесные популяции (человеческая популяция и популяция жителей Доминиканской республики). Известна частота генотипа aa (рецессивного фенотипа) для обеих популяций.

2. Рассчитать частоты аллелей и генотипов (фенотипов) для одной из популяций по схеме решения заданий с одной равновесной популяцией (1^{a-r}):

Мутантный фенотип представлен рецессивными гомозиготами (aa), равновесная частота мутантного фенотипа в человеческой популяции составляет: $q^2 = 1 / 250000 = 0,000004$

Нормальный фенотип представлен доминантными гомозиготами (AA) и гетерозиготами (Aa), равновесная частота нормального фенотипа в человеческой популяции: $1 - q^2 = 1 - 0,000004 = 0,999996$

Частота мутантного аллеля a в человеческой популяции: $q = \sqrt{q^2} = \sqrt{0,000004} = 0,002$

3. Рассчитать частоты аллелей и генотипов (фенотипов) для второй популяции по схеме решения заданий с одной равновесной популяцией (1^{a-r}):

Частота мутантного фенотипа в популяции коренных доминиканцев: $(q')^2 = 1 / 19000 = 0,000053$

Частота мутантного аллеля a в популяции коренных доминиканцев: $q' = \sqrt{(q')^2} = \sqrt{0,000053} = 0,00728$

4. Сравнить две популяции:

Такая частота существенно отклоняется от равновесных (предсказанных по уравнению Харди-Вайнберга) частот

ИЛИ

Частота мутантного аллеля a (q') в популяции коренных доминиканцев не совпадает с частотой мутантного аллеля a (q) в равновесной человеческой популяции.

5. Дрейф генов приводит к наблюдаемому различию частот мутантного аллеля.



Секретная страница к ЕГЭ по биологии

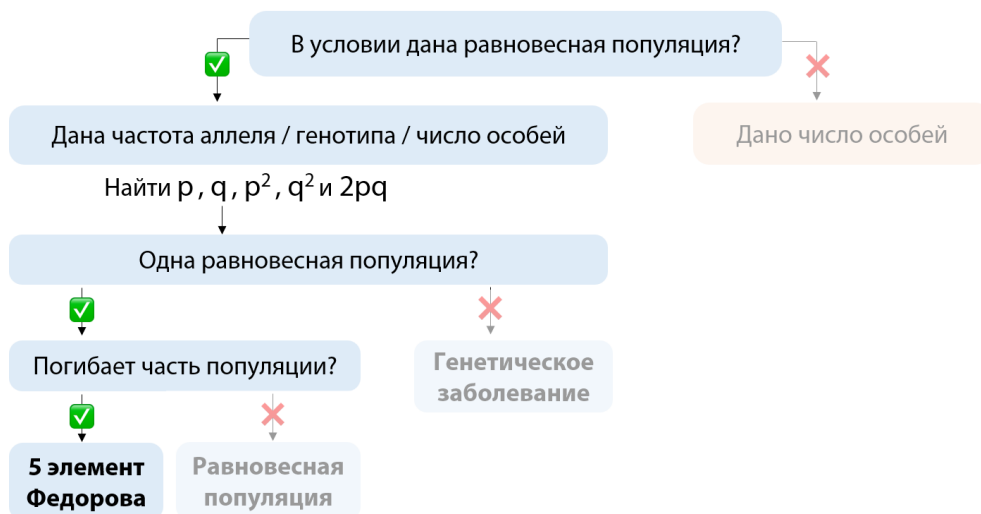
- ♥ Мега-вебинары с теорией.
- ♥ Практические вебинары по всем темам.
- ♥ Домашнее задание к каждой теме.
- ♥ Интенсивы к ЕГЭ.



stepenin.ru/courses/bio-ege



3. Задания на гибель особей в равновесной популяции (5 элемент Федорова)



3^а. Гибель особей с одним из генотипов (AA или Aa или aa)

Окраска тела у бородатой агамы *Pogona vitticeps* контролируется одним геном. Доминантные гомозиготы имеют зеленый цвет; рецессивные гомозиготы — желтый. Гетерозиготы имеют промежуточную окраску. В равновесной популяции бородатых агам на 1000 особей приходится 70 желтых. Популяция попала в новые условия, в которых в результате интенсивного отлова хищниками погибло 25% особей с промежуточной окраской. Рассчитайте частоту появления особей с зеленой окраской и частоты аллелей в изначальной популяции, а также частоты всех фенотипов в популяции после отлова хищниками. Поясните ход решения. При расчётах округляйте значения до четвертого знака после запятой.

Частоты генотипов после гибели x особей

<p>с генотипом AA:</p> $f_{AA} = (p^2 - x) / (1 - x)$ $f_{Aa} = 2pq / (1 - x)$ $f_{aa} = q^2 / (1 - x)$ <p>$x = p^2 \cdot$ доля погибших особей</p>	<p>с генотипом Aa:</p> $f_{AA} = p^2 / (1 - x)$ $f_{Aa} = (2pq - x) / (1 - x)$ $f_{aa} = q^2 / (1 - x)$ <p>$x = 2pq \cdot$ доля погибших особей</p>	<p>с генотипом aa:</p> $f_{AA} = p^2 / (1 - x)$ $f_{Aa} = 2pq / (1 - x)$ $f_{aa} = (q^2 - x) / (1 - x)$ <p>$x = q^2 \cdot$ доля погибших особей</p>
---	---	---

Решение :

1. Определить тип задачи:

В задаче одна равновесная популяция, есть гибель особей с генотипом Aa.



2. **Рассчитать частоты аллелей и генотипов (фенотипов)** по схеме решения заданий с одной равновесной популяцией (1^a -г):

Частота рецессивных гомозигот (aa, особей с желтой окраской) в изначальной популяции составляет: $q^2 = N_{aa} / N = 70 / 1000 = 0,07$

Частота рецессивного аллеля a в изначальной популяции составляет: $q = \sqrt{q^2} = \sqrt{0,07} = 0,2646$

Частота доминантного аллеля A в изначальной популяции составляет: $p = 1 - q = 1 - 0,2646 = 0,7354$

Частота доминантных гомозигот (AA, особей с зеленой окраской) в изначальной популяции составляет: $p^2 = 0,7354^2 = 0,5408$

Частота гетерозигот (Aa, особей с промежуточной окраской) в изначальной популяции составляет: $2pq = 2 \cdot 0,7354 \cdot 0,2646 = 0,3892$

3. **Рассчитать частоты генотипов (фенотипов) после гибели особей:**

Погибло 25% особей с промежуточной окраской (генотип Aa): $0,25 \cdot 2pq = 0,25 \cdot 0,3892 = 0,0973$

После гибели 25% особей с промежуточной окраской в популяции осталось: $1 - 0,25 \cdot 2pq = 1 - 0,0973 = 0,9027$

Частоты фенотипов (генотипов) сразу после гибели 25% гетерозигот:

- у зеленых особей (генотип AA): $p^2 / (1 - 0,25 \cdot 2pq) = 0,5408 / (1 - 0,0973) = 0,5408 / 0,9027 = 0,5991$
- у особей с промежуточной окраской (генотип Aa): $(2pq - 0,25 \cdot 2pq) / (1 - 0,25 \cdot 2pq) = (0,3892 - 0,0973) / (1 - 0,0973) = 0,2919 / 0,9027 = 0,3234$
- у желтых особей (генотип aa): $q^2 / (1 - 0,25 \cdot 2pq) = 0,07 / (1 - 0,0973) = 0,07 / 0,9027 = 0,0775$

3⁶. **Гибель особей с доминантным фенотипом (AA или AA + Aa)**

У серых крыс (*Rattus norvegicus*) одна из форм аденомы гипофиза вызывается аутосомно-доминантной мутацией. В исходной равновесной популяции данная форма аденомы гипофиза выявлена у 45 из 740 особей. Определите частоты всех возможных фенотипов и частоту мутантного аллеля в данной популяции. Крысы с аденомой гипофиза становятся более легкой добычей хищников. Рассчитайте долю здоровых особей непосредственно после того, как 75% крыс с заболеванием будет уничтожено хищниками. Поясните ход решения. При расчетах округляйте значения до четырех знаков после запятой.



Частоты фенотипов после гибели x особей с доминантным фенотипом

Полное доминирование признака?



с генотипами **AA** и **Aa**:

$$f_{AA+Aa} = (p^2 + 2pq - x) / (1 - x)$$

$$f_{aa} = q^2 / (1 - x)$$

$$x = (p^2 + 2pq) \cdot \text{доля погибших особей}$$



с генотипом **AA**:

* см. пример 3^a

Решение :

1. Определить тип задачи:

В задаче одна равновесная популяция, есть гибель особей с доминантным фенотипом.
Полное доминирование

2. Рассчитать частоты аллелей и генотипов (фенотипов) по схеме решения заданий с одной равновесной популяцией (1^{a-r}):

Особи с аденомой гипофиза (мутантный фенотип) имеют генотипы AA и Aa, их частота в равновесной популяции составляет: $p^2 + 2pq = N_{AA+Aa} / N = 45 / 740 = 0,0608$

Здоровые особи (нормальный фенотип) имеют генотип aa, их частота в равновесной популяции составляет: $q^2 = 1 - (p^2 + 2pq) = 1 - 0,0608 = 0,9392$

Частота рецессивного (нормального) аллеля a в изначальной популяции составляет: $q = \sqrt{q^2} = \sqrt{0,9392} = 0,9691$

Частота доминантного (мутантного) аллеля A в изначальной популяции составляет: $p = 1 - q = 1 - 0,9691 = 0,0309$

3. Рассчитать частоты генотипов (фенотипов) после гибели особей:

Погибло 75% больных аденомой гипофиза особей (генотипы AA и Aa): $0,75 \cdot (p^2 + 2pq) = 0,75 \cdot 0,0608 = 0,0456$

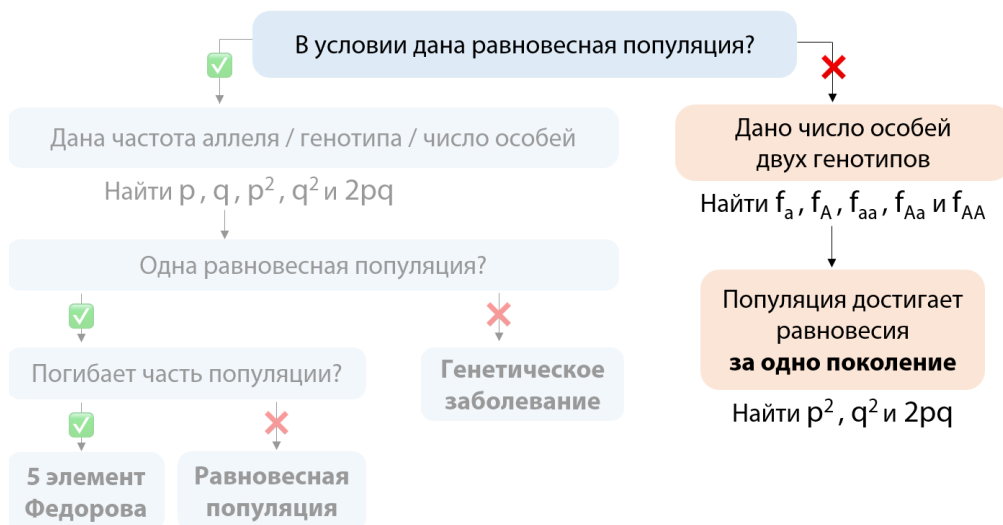
После гибели 75% больных аденомой гипофиза особей в популяции осталось: $1 - 0,75 \cdot (p^2 + 2pq) = 1 - 0,0456 = 0,9544$

Доля здоровых особей непосредственно после гибели 75% больных особей: $q^2 / (1 - 0,75 \cdot (p^2 + 2pq)) = 0,9392 / (1 - 0,0456) = 0,9392 / 0,9544 = 0,9841$

Доля больных аденомой гипофиза особей непосредственно после гибели 75% больных особей: $(p^2 + 2pq - 0,75 \cdot (p^2 + 2pq)) / (1 - 0,75 \cdot (p^2 + 2pq)) = (0,0608 - 0,0456) / (1 - 0,0456) = 0,0152 / 0,9544 = 0,0159$



4. Задания на неравновесную популяцию



Неравновесная популяция, известно число особей двух генотипов (N_{AA} и N_{aa} / N_{AA} и N_{Aa} / N_{Aa} и N_{aa})

У кур андалузской породы черная окраска оперения не полностью доминирует над белой. На птицеферме обнаружено 504 особи с черным оперением и 396 — с голубым оперением. Рассчитайте частоты аллелей черной и белой окрасок оперения 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 придет в равновесие?

Неравновесные частоты аллелей и генотипов

Дано N_{AA} и N_{aa}

$$f_{AA} = N_{AA} / N$$

$$f_{aa} = N_{aa} / N$$

$$f_A = f_{AA} + 0,5 f_{Aa}$$

$$f_a = f_{aa} + 0,5 f_{Aa}$$

Дано N_{AA} и N_{Aa}

$$f_{AA} = N_{AA} / N$$

$$f_{Aa} = N_{Aa} / N$$

$$f_A = f_{AA} + 0,5 f_{Aa}$$

$$f_a = f_{aa} + 0,5 f_{Aa}$$

Дано N_{Aa} и N_{aa}

$$f_{Aa} = N_{Aa} / N$$

$$f_{aa} = N_{aa} / N$$

$$f_A = f_{AA} + 0,5 f_{Aa}$$

$$f_a = f_{aa} + 0,5 f_{Aa}$$

Решение :

1. Определить тип задачи:

В задаче неравновесная популяция, известно число особей с генотипами AA и Aa.

2. Рассчитать неравновесные частоты генотипов (фенотипов):



Теория для задания №27 закон Харди-Вайнберга

Частота животных с чёрной окраской оперения (генотип AA) составляет: $f_{AA} = N_{AA} / N = 504 / 900 = 0,56$

Частота животных с голубой окраской оперения (генотип Aa) составляет: $f_{Aa} = N_{Aa} / N = 396 / 900 = 0,44$

3. Рассчитать частоты аллелей:

Аллель A в популяции представлен в животных с чёрной и голубой окраской оперения, а аллель a — только в животных с голубой окраской оперения.

Частота аллеля A: $p = f_{AA} + 0,5 f_{Aa} = 0,56 + 0,5 \cdot 0,44 = 0,78$

Частота аллеля a: $q = f_{aa} + 0,5 f_{Aa} = 0 + 0,5 \cdot 0,44 = 0,22$

4. Рассчитать равновесные частоты генотипов (фенотипов):

Равновесная частота генотипа AA: $p^2 = 0,78^2 = 0,6084$

Равновесная частота генотипа Aa: $2pq = 2 \cdot 0,78 \cdot 0,22 = 0,3432$

Равновесная частота генотипа aa: $q^2 = 0,22^2 = 0,0484$

5. Популяция достигнет равновесия **за одно поколение.**

