

Закон Харди и Вайнберга

Решение
ОСНОВНЫХ ТИПОВ задач

Безух Ксения Евгеньевна – канд. биол. наук, доцент
кафедры биологии и методики обучения биологии
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный
педагогический университет им. К.Д. Ушинского»,
председатель региональной предметной комиссии
ЕГЭ по биологии

Закон Харди и Вайнберга

Популяционный метод

Это дает информацию о степени гетерозиготности и полиморфизма человеческих популяций, выявляет различия частот аллелей между разными популяциями.

закон Харди-Вайнберга

при наличии альтернативных форм (аллелей) в популяции при условии свободного скрещивания, при одинаково высокой жизнеспособности разных генотипов первоначальное количество аллелей сохраняется во всех последующих поколениях, независимо от абсолютной исходной частоты.

Частота генотипов и фенотипов рассчитывается по формуле Харди-Вайнберга:

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

где p – частота доминантного гена A ,

q – частота рецессивного гена a ,

q^2 — число гомозиготных особей по

рецессивному гену с генотипом aa .

| | | |
|-------|---------|---------|
| ♀ \ ♂ | pA | qa |
| pA | p^2AA | $pqAa$ |
| qa | $pqAa$ | q^2aa |

Сумма частот аллелей одного гена в данной популяции
есть величина постоянная: $p + q = 1$,
где p – частота доминантного аллеля A ,
 q – частота рецессивного аллеля a (в долях единицы)

Например:

при частоте доминантного аллеля $p = 0.6$, а рецессивного $q = 0.4$
генотипы распределяются: AA (p^2) = 0.36; Aa ($2pq$) = 0.48; aa (q^2) =
0.16. В следующем поколении распределение аллелей по гаметам
будет идти следующим образом: гомозиготы по доминантному
аллелю (AA) дадут 0.36 гамет с аллелем A и 0.24 таких же гамет
дадут гетерозиготы, следовательно, $p = 0.36 + 0.24 = 0.6$.

Гаметы с рецессивным аллелем a будут формироваться: 0.24 за счет
гетерозигот и 0.16 за счет гомозигот по рецессивному аллелю,
т.е. $q = 0.24 + 0.16 = 0.4$. Таким образом, и во втором поколении
сохраняется то же соотношение, которое было в предыдущем

Сборник Рохлов-2024 вар. 11

27

В популяции растений львиного зева большого (*Antirrhinum majus*) 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.

27

Схема решения задачи включает следующие элементы:

- 1) частота растений с ярко-красной окраской венчика составляет $6/150 = 0,04$;
- 2) красную окраску имеют растения с генотипом AA, в равновесной популяции доля таких растений составляет p^2 ;
- 3) частота аллеля p в популяции составляет 0,2;
- 4) частота аллеля q в популяции составляет $1 - p = 0,8$;
- 5) частота генотипа Aa (розовая окраска) в равновесной популяции равна $2pq = 0,32$;
- 6) частота генотипа aa (белая окраска) в равновесной популяции равна $q^2 = 0,64$.

(Допускается иная генетическая символика.)

Сборник Рохлов-2024 вар. 2

27

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

27

Схема решения задачи включает следующие элементы:

- 1) Мутантный фенотип представлен исключительно рецессивными гомозиготами (aa);
 - 2) нормальный фенотип представлен доминантными гомозиготами (AA) и гетерозиготами (Aa);
 - 3) частота мутантного фенотипа составляет $f(aa) = \frac{1}{250000} = 0,000004$;
 - 4) частота нормального фенотипа составляет $1 - q^2 = 1 - 0,000004 = 0,999996$;
 - 5) частота аллеля q' в популяции коренных доминиканцев $q' = \sqrt{\frac{1}{19000}} = 0,007255$;
 - 6) такая частота существенно отклоняется от равновесных (предсказанных по уравнению Харди — Вайнберга) частот;
 - 7) дрейф генов (эффект основателя).
- (Допускается иная генетическая символика.)

Сборник Рохлов-2024 вар. 29

27

В популяции растений ночной красавицы (*Mirabilis jalapa*) 96 растений имеют ярко-красную окраску венчика, а 54 — белую. Рассчитайте частоты аллелей красной и белой окраски 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?

27 Схема решения задачи включает:

- 1) частота растений с ярко-красной окраской венчика (генотип AA) составляет $96/150 = 0,64$;
 - 2) частота растений с белой окраской венчика (генотип aa) составляет $54/150 = 0,36$;
 - 3) аллель A в популяции представлен только в красных растениях, а аллель a только в белых;
 - 4) частота аллеля $A = p = 0,64$;
 - 5) частота аллеля $a = q = 0,36$;
 - 6) равновесные частоты генотипов $f(AA) = p^2 = 0,4096$; $f(aa) = q^2 = 0,1296$; $f(Aa) = 2pq = 0,4608$;
 - 7) за одно поколение.
- (Допускается иная генетическая символика.)

Задача с курсов для председателей ЕГЭ



Врожденный нефротический синдром – моногенное заболевание, возникающее в результате нарушения формирования почечного фильтра в нефронах, наследуется по аутосомно-рецессивному типу. В финской популяции заболевание встречается в среднем 1 раз на 820 рождений. Известно, что частота мутантного аллеля в целом по человеческой популяции составляет 0.01. Рассчитайте равновесные частоты нормального и мутантного фенотипа в человеческой популяции, а также частоту мутантного аллеля в финской популяции. Поясните ход решения. При расчете округляйте значения до четвертого знака после запятой

Схема решения задачи включает следующие элементы

1) равновесная частота мутантного фенотипа (aa) составляет $q^2 = 0.01^2 = 0.0001$;

2) равновесная частота нормального фенотипа составляет $1 - q^2 = 0.9999$;

ИЛИ

2) равновесная частота нормального фенотипа составляет $p^2 + 2pq = 0.99^2 + 2 \cdot 0.99 \cdot 0.01 = 0.9801 + 0.0198 = 0.9999$;

3) нормальный фенотип представлен доминантными гомозиготами (AA) и гетерозиготами (Aa);

4) частота мутантного фенотипа (aa) в финской популяции составляет $1/820 = 0.0012 = q^2$;

5) частота мутантного аллеля в финской популяции $q = \sqrt{0.0012} = 0.0346$;

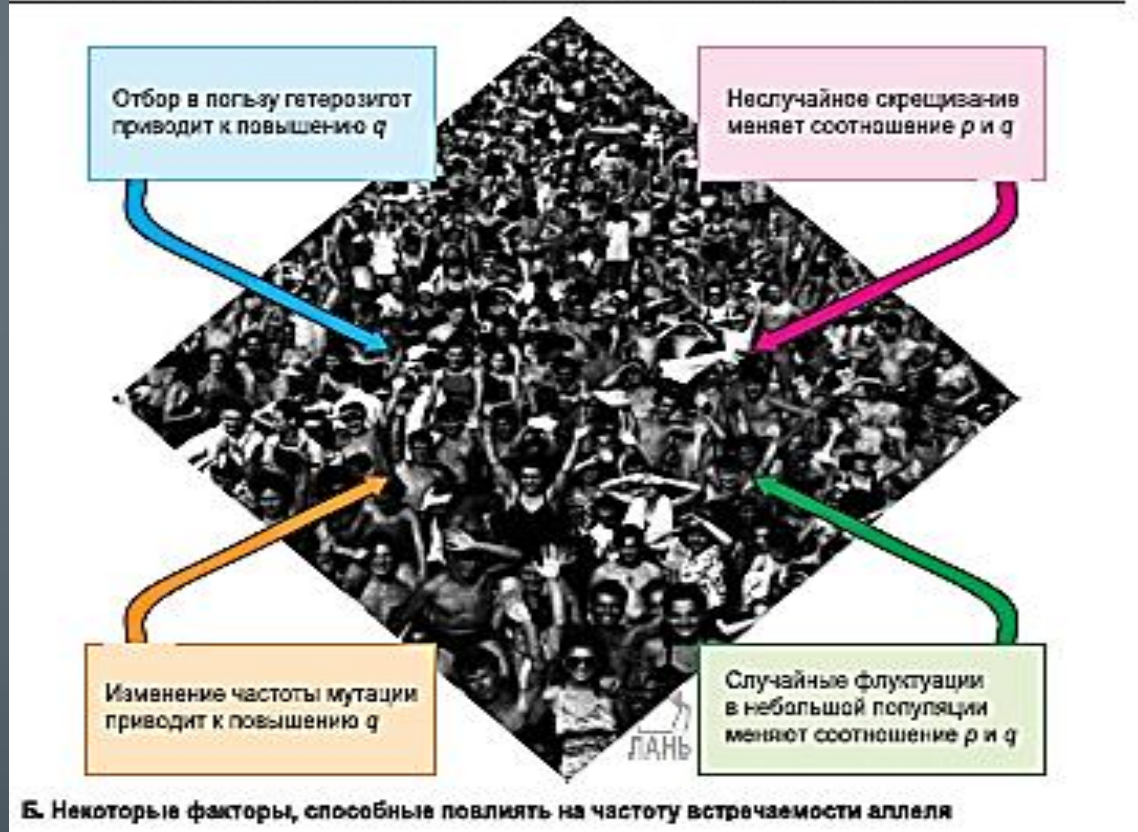
Примеры задач

За время кругосветного плавания на корабле расплодилось крысы, образовав популяцию следующего состава: 140 животных с нормальной длиной хвоста (доминантный признак), 105 с укороченным хвостом и 5 без хвоста. Рассчитайте частоты всех генотипов в данной популяции и частоты аллелей нормальной длины хвоста и бесхвостости. Определите, находится ли данная популяция в равновесии Харди-Вайнберга. Ответ поясните.

Васин среди каракульских овец стада Заревшанской овчарни обнаружил следующее соотношение генотипов по гену безухости: $729 AA : 111 Aa : 4 aa$. Соответствует ли это соотношение формуле Харди-Вайнберга?

У крыс аллель кудрявой шерсти неполно доминирует над аллелем прямой шерсти. В один из питомников завезли 58 животных с волнистой шерстью и 42 крысы с прямой шерстью. Рассчитайте частоты аллелей кудрявой и прямой шерсти в образованной популяции. Какими будут частоты всех генотипов, когда популяция придет в состояние равновесия Харди-Вайнберга? Если представить, что все условия равновесной популяции начнут выполняться, то за сколько поколений популяция придет в равновесие?

Факторы, нарушающие равновесие в популяциях



Неравновесная популяция

Изучая генетические процессы в естественных популяциях, английский ученый К.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.

ЕСЛИ В ПОПУЛЯЦИИ ОСОБИ ТОЛЬКО ГОМОЗИГОТНЫЕ (AA,aa)
При свободном скрещивании возможно только три вида скрещиваний:

$AA \times AA \rightarrow F1$ все AA,

$AA \times aa \rightarrow F1$ все Aa

$aa \times aa \rightarrow F1$ все aa.

Поэтому популяция придет в равновесное состояние.

ЕСЛИ В ПОПУЛЯЦИИ ОСОБИ ТОЛЬКО С ДОМИНАНТНЫМИ ПРИЗНАКАМИ (AA,Aa)

При свободном скрещивании возможно только три вида скрещиваний:

$AA \times AA \rightarrow F1$ все AA,

$AA \times Aa \rightarrow F1$ 50% Aa, 50%-AA

$Aa \times Aa \rightarrow F1$ 25%AA, 50%Aa, 25%-aa.

Поэтому популяция придет в равновесное состояние.

ЕСЛИ В ПОПУЛЯЦИИ ОСОБИ ТОЛЬКО ГЕТЕРОЗИГОТНЫЕ (Aa)

При свободном скрещивании возможен только ОДИН ВИД скрещиваний:

$Aa \times Aa \rightarrow F1$ 25%AA, 50%Aa, 25%-aa.

Поэтому популяция придет в равновесное состояние.

ВОПРОС 1: Какая популяция?

РАВНОВЕСНАЯ ПОПУЛЯЦИЯ (в задаче написано "Популяция находится в состоянии равновесия Харди-Вайнберга")

НЕРАВНОВЕСНАЯ ПОПУЛЯЦИЯ

А) В задаче написано "ЕСЛИ популяция придет в состояние равновесия"
 Б) В популяции есть не все генотипы из возможных: AA, Aa и aa
 В) В популяции есть все генотипы, но их количество не соответствует ЗХВ

Что можно найти, зная p и q (Всё)

Доля рецессивных гомозигот (q^2)
 $q^2 = q * q$

Доля доминантных гомозигот (p^2)
 $p^2 = p * p$

Доля гетерозигот ($2pq$)
 $2pq = 2 * p * q$

Количество рецессивных гомозигот (Каа)
 Каа = $q^2 * \text{ОЧП}$

Количество доминантных гомозигот (КАА)
 КАА = $p^2 * \text{ОЧП}$

Количество гетерозигот (КАа)
 КАа = $2pq * \text{ОЧП}$

Количество особей с доминантным фенотипом (КА?)
 КА? = $\text{ОЧП} - \text{Каа}$

ВОПРОС 2: Что дано?

Дано количество организмов

Дана доля организмов

Дана доля гена

Вход 1) Дано кол-во организмов с доминантным фенотипом (КА?)

Вход 4) Дана доля организмов с доминантным фенотипом (ДА?)



Вход 9) Считаем гены вручную

Находим долю организмов с доминантным фенотипом:
 ДА = КА?/ОЧП

Находим долю организмов с рецессивным фенотипом:
 $q^2 = 1 - \text{ДА?}$

Количество доминантного гена
 КА = $2КАА + КАа$
 (КАА - количество гомозигот по доминанте, КАа - количество гетерозигот)

Находим долю рецессивных гомозигот:
 $q^2 = \text{Каа}/\text{ОЧП}$

Находим долю рецессивного гена: $q = \sqrt{q^2}$

Находим долю доминантного гена: $p = 1 - q$

Вход 2) Дано кол-во рецессивных гомозигот (Организмов с рецессивным фенотипом) - Каа

Вход 5) Дана доля рецессивных гомозигот (q^2)

Вход 7) Дана доля рецессивного гена (q)

Доля доминантного гена $p = \text{КА}/(2 * \text{ОЧП})$

Вход 3) Дано количество доминантных гомозигот (КАА)

Вход 6) Дана доля доминантных гомозигот (p^2)

Вход 8) Дана доля доминантного гена (p)

Количество рецессивного гена
 Ка = $2Каа + КАа$
 (Каа - количество гомозигот по рецессиву, КАа - количество гетерозигот)

Находим долю доминантных гомозигот:
 $p^2 = \text{КАА}/\text{ОЧП}$

Находим долю доминантного гена: $p = \sqrt{p^2}$

Находим долю рецессивного гена: $q = 1 - p$

Доля рецессивного гена $q = \text{Ка}/(2 * \text{ОЧП})$