

## Изменение генетической структуры популяции при миграции (обмене генами)

### Задание 1. Изучение генетической структуры популяции в результате миграции (обмена генами между популяциями)

**Миграция**, или **поток генов**, возникает, когда особи из одной популяции перемещаются в другую и скрещиваются с представителями второй популяции.

Миграции особей ведут к выравниванию генетических различий между популяциями.

Исследуя генетические процессы, идущие при миграциях, С. Райт в 1931 г. показал, что изменение частоты рецессивного аллеля ( $\Delta q_a$ ) при миграциях подчиняется формуле 1:

$$\Delta q_a = -m \cdot (q_a - q_{a_m}), \quad (1)$$

где  $m$  – интенсивность миграции;

$q_a$  – частота рецессивного аллеля в данной популяции;

$q_{a_m}$  – средняя частота аллеля по всей системе популяций, между которыми идет обмен генами, или в той определенной популяции, откуда идет поток иммигрантов.

Пусть доля мигрантов в популяции равна  $m$ , тогда в следующем поколении потомство получает от мигрантов долю генов  $m$ , а от «хозяев» –  $1 - m$ .

Пусть исходная частота аллеля  $a$  в популяции была  $q$ , а у мигрантов –  $q_m$ , тогда в следующем поколении (после однократного скрещивания «хозяев» с мигрантами) частота этого аллеля станет равна:

$$q_{a_1} = (1 - m) \cdot q_a + m \cdot q_{a_m} = q_a - m \cdot q_a + m \cdot q_{a_m} = q_a - m \cdot (q_a - q_{a_m}).$$

Отсюда изменение частоты рецессивного аллеля ( $\Delta q_a$ ) за одно поколение равно:

$$\Delta q_a = q_{a_1} - q_a = q_a - m \cdot (q_a - q_{a_m}) - q_a = -m \cdot (q_a - q_{a_m}).$$

Таким же образом рассуждают для определения изменения частоты доминантного аллеля ( $\Delta p_A$ ) за одно поколение (формула 2):

$$\Delta p_A = -m \cdot (p_A - p_{A_m}), \quad (2)$$

Чем больше доля мигрантов и чем больше отличие частот аллеля у мигрантов от «хозяев», тем большим будет изменение частоты соответствующего аллеля.

#### Пример.

Частота аллеля  $a$  в исходной популяции ромашки аптечной составляла 0,3, а в популяции, откуда мигрируют особи – 0,5. Частота миграции равна 0,2.

Определить изменение частоты рецессивного аллеля ( $\Delta q_a$ ) в результате миграции.

#### Решение.

##### Ромашка аптечная

$$q_a = 0,3;$$

$$q_{a_m} = 0,5;$$

$$m = 0,2.$$

Определяем изменение концентрации рецессивного аллеля по формуле С. Райта:

$$\Delta q_a = -m \cdot (q_a - q_{a_m}) = -0,2 \cdot (0,3 - 0,5) = 0,04 \text{ (или 4 \%)}.$$

Таким образом, концентрация аллеля  $a$  возрастет за поколение на 4 %, т. е. величина  $q_a$  в данной популяции возрастет с 0,3 до 0,34. Соответственно концентрация доминантного аллеля ( $p_A$ ) уменьшится на такую же величину (с 0,7 до 0,66).

## Задание 2. Определить частоты аллелей в популяции через $n$ поколений миграции и интенсивность миграции

Найдем теперь разницу частот аллелей между популяцией «хозяев» после первого скрещивания с мигрантами ( $q_{a_1}$ ) и мигрантами ( $q_{a_m}$ ):

$$q_{a_1} - q_{a_m} = q_a - m \cdot (q_a - q_{a_m}) - q_{a_m} = q_a - q_{a_m} - m \cdot (q_a - q_{a_m}) = (q_a - q_{a_m}) - m \cdot (q_a - q_{a_m}) = (1 - m) \cdot (q_a - q_{a_m}).$$

Частота рецессивного аллеля после второго поколения скрещивания «хозяев» с мигрантами будет равна:

$$q_{a_2} = q_{a_1} + \Delta q_a = q_a - m \cdot (q_a - q_{a_m}) - m \cdot (q_a - q_{a_m}) = q_a - 2m \cdot (q_a - q_{a_m}).$$

Разница частот аллелей между популяцией «хозяев» после второго скрещивания с мигрантами ( $q_{a_2}$ ), и мигрантами ( $q_{a_m}$ ) составит:

$$q_{a_2} - q_{a_m} = q_a - 2m \cdot (q_a - q_{a_m}) - q_{a_m} = q_a - q_{a_m} - 2m \cdot (q_a - q_{a_m}) = (q_a - q_{a_m}) - 2m \cdot (q_a - q_{a_m}) = (1 - 2m) \cdot (q_a - q_{a_m}).$$

Таким образом, после  $n$  поколений различия в частотах будут соответствовать:

$$q_{a_n} - q_{a_m} = (1 - n \cdot m) \cdot (q_a - q_{a_m}).$$

Отсюда легко найти частоту рецессивного аллеля в популяции через  $n$  поколений миграции (формула 3):

$$q_{a_n} = (1 - n \cdot m) \cdot (q_a - q_{a_m}) + q_{a_m}. \quad (3)$$

Частоту доминантного аллеля в популяции через  $n$  поколений миграции находим по формуле 4:

$$p_{A_n} = (1 - n \cdot m) \cdot (p_A - p_{A_m}) + p_{A_m}. \quad (4)$$

Если известны исходные частоты аллелей в популяции хозяев ( $q_a$ ) и мигрантов ( $q_{a_m}$ ), а также частота, которая возникла в популяции хозяев через  $n$  поколений ( $q_{a_n}$ ), то можно найти интенсивность миграции  $m$  (формула 5):

$$m = \frac{q_a - q_{a_n}}{n \cdot (q_a - q_{a_m})}. \quad (5)$$

Интенсивности миграции можно также определять по формуле 6:

$$m = \frac{p_A - p_{A_n}}{n \cdot (p_A - p_{A_m})}. \quad (6)$$

### Пример.

В США частота аллеля «Rh<sup>-</sup>» у белого населения составляет 0,028, у африканских негров – 0,630, у современного негритянского населения – 0,446.

Прошло примерно 10 поколений с тех пор, как негров вывозили из Африки и началось смешение популяций.

Определите интенсивность миграции.

**Решение.**Человек

Резус-фактор.

$$qRh^- = 0,028;$$

$$qRh_m^- = 0,630;$$

$$qRh_{10}^- = 0,446;$$

$$n = 10.$$

*Определяем интенсивность миграции по формуле 5:*

$$m = \frac{qRh^- - qRh_{10}^-}{n \cdot (qRh^- - qRh_m^-)} = \frac{0,028 - 0,446}{10 \cdot (0,028 - 0,63)} = \frac{-0,418}{-6,02} = 0,0694.$$

Таким образом, интенсивность миграции составила 6,94 % в среднем за поколение.

**Задание 3. Решение задач на миграции****Пример.**

В одной популяции люцерны 88 % растений имели доминантный ген синей окраски цветков. В рядом расположенной популяции частота этого гена составляет 0,9. В результате переноса семян из второй популяции в первую доля мигрантов в суммарной популяции составила 0,05.

1. Чему равна частота доминантного аллеля в исходной популяции?
2. Как изменится частота доминантного аллеля в результате миграции?
3. Определите частоту доминантного аллеля суммарной популяции.
4. Как изменится частота доминантных гомозигот в результате миграции?
5. Определите частоту растений с белой окраской цветков в суммарной популяции.

**Решение.**Люцерна

Окраска цветков.

А – синяя;

а – белая.

$$P + G = 88 \%$$

$$pA_m = 0,9.$$

$$m = 0,05.$$

*1. Определяем частоту рецессивного аллеля в исходной популяции:*

$$\underbrace{P + G} + Q = 1 \text{ (100 \%)}$$

$$88 \%$$

$$Q = q^2aa = 100 - 88 = 12 \% \text{ (0,12)}.$$

$$q = \sqrt{q^2aa} = \sqrt{0,12} = 0,35.$$

*Определяем частоту доминантного аллеля в исходной популяции:*

$$pA = 1 - qa = 1 - 0,35 = 0,65.$$

*2. Определяем изменение частоты доминантного аллеля за поколение по формуле 2:*

$$\Delta p_A = -m \cdot (p_A - p_m A) = -0,05 \cdot (0,65 - 0,9) = 0,013.$$

Частота доминантного аллеля увеличится на 0,013 или 1,3 %

7: 3. Частоту доминантного аллеля в суммарной популяции ( $p_{A_{\text{сум.}}}$ ) определяем по формуле

$$p_{A_{\text{сум.}}} = p_A + \Delta p_A, \quad (7)$$

где  $p_A$  – частота доминантного аллеля в исходной популяции;

$\Delta p_A$  – изменение частоты доминантного аллеля после скрещивания «хозяев» и мигрантов.

$$p_{A_{\text{сум.}}} = p_A + \Delta p_A = 0,65 + 0,013 = 0,663.$$

4. Определяем частоту доминантных гомозигот в исходной и суммарной популяции:

$$P = p^2 AA = (p_A)^2 = 0,65^2 = 0,4225 \text{ (или 42,25 \%)};$$

$$P_{\text{сум.}} = p_{\text{сум.}}^2 AA = (p_{A_{\text{сум.}}})^2 = 0,663^2 = 0,4396 \text{ (или 43,96 \%)};$$

Определяем изменение частоты доминантных гомозигот в результате миграции:

$$\Delta P = P_{\text{сум.}} - P = 0,4396 - 0,4225 = 0,0171.$$

Таким образом, частота доминантных гомозигот увеличилась на 0,0171 или 1,71 %.

5. Частоту рецессивного аллеля в суммарной популяции ( $q_{a_{\text{сум.}}}$ ) определяем по формуле 8:

$$q_{a_{\text{сум.}}} = q_a + \Delta q_a, \quad (8)$$

где  $q_a$  – частота рецессивного аллеля в исходной популяции;

$\Delta q_a$  – изменение частоты рецессивного аллеля после скрещивания «хозяев» и мигрантов.

$$\Delta q_a = -\Delta p_A = -0,013.$$

$$q_{a_{\text{сум.}}} = q_a + \Delta q_a = 0,35 + (-0,013) = 0,337.$$

Определяем частоту растений с рецессивным генотипом в суммарной популяции.

$$Q_{\text{сум.}} = q^2 aa_{\text{сум.}} = (q_{a_{\text{сум.}}})^2 = 0,337^2 = 0,1136 \text{ (или 11,36 \%)}.$$

### **Лабораторная работа: определение изменения частот аллелей и генотипов в результате миграции**

**Цель работы:** определить изменение частот аллелей и генотипов в результате миграции (обмена генами между популяциями).

**Материал:**

- 1) данные по численности особей в исходной и суммарной популяциях.
- 2) данные по частотам аллелей и генотипов в исходной и суммарной популяциях;
- 3) микрокалькулятор.

**Ход работы:**

- 1) Определите частоты аллелей в исходной популяции.
- 2) Определите генетическую структуру исходной популяции.
- 3) Рассчитайте долю мигрантов в суммарной популяции.
- 4) Определите генетическую структуру суммарной популяции.

5) Определите, как изменились частоты аллелей и генотипов в результате миграции и сформулируйте вывод.

**Пример.**

Из одной популяции земляники в другую мигрировала часть растений, и вторая популяция увеличилась с 300 до 350 растений. В исходной популяции частота доминантного аллеля красной окраски ягод составляла 0,7. В новой (суммарной) популяции рецессивный аллель розовой окраски ягод проявлялся у 10 % растений.

Определите изменение частот аллелей и генотипов в результате миграции.

**Решение.**

Земляника

Окраска ягод.

$N = 300$  растений;

$N_{\text{сум.}} = 350$  растений;

$p_A = 0,7$ ;

$Q_{\text{сум.}} = 10 \%$ .

1. Определяем частоту рецессивного аллеля в исходной популяции

$$q_a = 1 - p_A = 1 - 0,7 = 0,3.$$

2. Определяем частоту доминантных гомозигот, гетерозигот и рецессивных гомозигот в исходной популяции:

$$P = p^2 AA = (p_A)^2 = 0,7^2 = 0,49 \text{ (или 49 \%)};$$

$$G = 2pqAa = 2 \cdot p_A \cdot q_a = 2 \cdot 0,7 \cdot 0,3 = 0,42 \text{ (или 42,0 \%)};$$

$$Q = q^2 aa = (q_a)^2 = 0,3^2 = 0,09 \text{ (или 9 \%)}.$$

Генетическая структура популяции будет иметь следующий вид:  
0,49 AA : 0,42 Aa : 0,09 aa.

3. Определяем долю мигрантов в суммарной популяции по пропорции:

$$n_m = N_{\text{сум.}} - N = 350 - 300 = 50 \text{ растений.}$$

350 растений суммарной популяции составляют 100 %;

50 растений-мигрантов — m;

$$m = \frac{50 \cdot 100 \%}{350} = 14,3 \% \text{ (или } m = 0,143 \text{)}.$$

4. Определяем частоту доминантных гомозигот, гетерозигот и рецессивных гомозигот в суммарной популяции:

$$Q_{\text{сум.}} = q^2 aa_{\text{сум.}} = 0,1;$$

$$q_{a_{\text{сум.}}} = \sqrt{q^2 aa_{\text{сум.}}} = \sqrt{0,1} = 0,316;$$

$$p_{A_{\text{сум.}}} = 1 - q_{a_{\text{сум.}}} = 1 - 0,316 = 0,684;$$

$$P_{\text{сум.}} = p^2 AA_{\text{сум.}} = (p_{A_{\text{сум.}}})^2 = 0,684^2 = 0,4679 \text{ (или 46,79 \%)};$$

$$G_{\text{сум.}} = 2pqAa_{\text{сум.}} = 2 \cdot p_{A_{\text{сум.}}} \cdot q_{a_{\text{сум.}}} = 2 \cdot 0,684 \cdot 0,316 = 0,4323 \text{ (или 43,23 \%)}.$$

5. Определяем изменение частот аллелей и генотипов в результате миграции:

$$\Delta pA = pA_{\text{сум.}} - pA = 0,684 - 0,7 = -0,016;$$

$$\Delta qa = qa_{\text{сум.}} - qa = 0,316 - 0,3 = 0,016;$$

$$\Delta P = P_{\text{сум.}} - P = 0,4679 - 0,49 = -0,221;$$

$$\Delta G = G_{\text{сум.}} - G = 0,4323 - 0,42 = 0,123;$$

$$\Delta Q = Q_{\text{сум.}} - Q = 0,1 - 0,09 = 0,01;$$

Таким образом, в результате миграции произошло уменьшение частоты доминантного аллеля на 0,016 (или 1,6 %) и доминантных гомозигот на 0,221 (или 2,21 %). Частота рецессивного аллеля увеличилась на 0,016 (1,6 %), что привело к увеличению частоты рецессивных гомозигот на 0,01 (или 1 %) и гетерозигот на 0,123 (или 1,23 %).

В соответствии с вариантами, приведенными в табл. 1, определите изменение частот аллелей и генотипов для указанных показателей.

Таблица 1. Задания для лабораторной работы.

Вариант	Численность популяции		Частота аллеля (pA) в исходной популяции	Частота генотипа (Q) в суммарной популяции
	исходной	суммарной		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое миграция?
2. К каким изменениям в популяции ведут миграции особей?
3. Как рассчитать изменение частоты доминантного аллеля при миграции?
4. Как рассчитать изменение частоты рецессивного аллеля при миграции?
5. При каких условиях изменение частоты соответствующего аллеля будет более значительным?

6. Как определить частоту доминантного аллеля в суммарной популяции?
7. Как определить частоту рецессивного аллеля в суммарной популяции?
8. Как определить частоту доминантного аллеля в популяции через  $n$  поколений миграции?
9. Как определить частоту рецессивного аллеля в популяции через  $n$  поколений миграции?
10. Как рассчитать интенсивность миграции?

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. В популяции клевера лугового 65 % растений были позднеспелыми (доминантный признак). В рядом расположенной популяции частота доминантного аллеля составляла 0,8. В результате переноса семян из второй популяции в первую доля иммигрантов в суммарной популяции составила 0,1.

1. Чему равна частота доминантного аллеля в первой популяции?
2. Определите частоту доминантного аллеля в суммарной популяции.
3. Как изменилась частота доминантных гомозигот (%) в результате миграции?
4. Определите частоту скороспелых растений (%) в суммарной популяции.
5. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в суммарной популяции при тех же частотах аллелей и доле мигрантов равной 0,1 %.

2. В популяции тетраплоидной ржи 91 % растений были остистыми (доминантный признак). В рядом расположенной популяции частота доминантного аллеля составляла 0,8. В результате переноса семян из второй популяции в первую доля иммигрантов в суммарной популяции составила 0,08.

1. Чему равна частота доминантного аллеля в первой популяции?
2. Определите частоту доминантного аллеля в суммарной популяции.
3. Как изменилась частота доминантных гомозигот (%) в результате миграции?
4. Определите частоту безостых растений (%) в суммарной популяции.
5. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в суммарной популяции при тех же частотах аллелей и доле мигрантов равной 0,2 %.

3. В популяции тимopheевки луговой 99 % растений имели восковой налет на листьях (доминантный признак). В рядом расположенной популяции частота доминантного аллеля составляла 0,3. В результате переноса семян из второй популяции в первую доля иммигрантов в суммарной популяции составила 0,4.

1. Чему равна частота доминантного аллеля в первой популяции?
2. Определите частоту доминантного аллеля в суммарной популяции.
3. Как изменилась частота рецессивных гомозигот (%) в результате миграции?
4. Определите частоту растений, не имеющих воскового налета на листьях, в суммарной популяции.
5. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в суммарной популяции при тех же частотах аллелей и доле мигрантов равной 0,4 %.

4. Из одной земляники лесной в другую мигрировала часть растений. В результате миграции популяция земляники лесной увеличилась с 13000 до 27000 растений. В исходной популяции частота доминантного аллеля (красная окраска ягод) была равна 0,6. В популяции, которой принадлежали иммигранты рецессивный признак (белая окраска ягод) проявлялся у 50 растений из 150.

1. Чему равна доля иммигрантов в суммарной популяции?
2. Сколько растений в исходной популяции имели красную окраску ягод?
3. Как изменилась частота доминантного аллеля в результате миграции?
4. Определите частоту гетерозигот (%) в популяции после миграции.
5. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в популяции после миграции.

5. В популяции ежеи сборной 75 % растений имели темную окраску пыльников (доминантный признак). В рядом расположенной популяции частота доминантного аллеля составляла 0,6. В результате переноса семян из второй популяции в первую доля иммигрантов в суммарной популяции составила 0,01.

1. Чему равна частота доминантного аллеля в первой популяции?
2. Определите частоту доминантного аллеля в суммарной популяции.
3. Как изменилась частота рецессивных гомозигот (%) в результате миграции?
4. Определите частоту растений со светлой окраской пыльников в суммарной популяции.
5. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в суммарной популяции при тех же частотах аллелей и доле мигрантов равной 0,1 %.

6. Из одной популяции малины в другую мигрировала часть растений. В результате миграции популяция малины увеличилась с 200 до 250 растений. В исходной популяции частота доминантного аллеля (красная окраска ягод) была равна 0,9. В популяции иммигрантов рецессивный признак (светлая окраска ягод) проявлялся у 9 растений из 100.

1. Чему равна доля иммигрантов в суммарной популяции?
2. Сколько растений в исходной популяции имели светлую окраску ягод?
3. Как изменилась частота доминантного аллеля в результате миграции?
4. Определите частоту гетерозигот (%) в популяции после миграции.
5. Определите частоту доминантных гомозигот (%) в популяции после миграции.

7. В одной популяции кукурузы 70 % растений имели красную окраску семян (доминантный признак). Частота доминантного аллеля в рядом расположенной популяции составила 0,7. В результате переноса семян из второй популяции в первую доля иммигрантов в суммарной популяции составила 0,07.

1. Чему равна частота доминантного аллеля в первой популяции?
2. Определите частоту доминантного аллеля в суммарной популяции.
3. Как изменилась частота гетерозигот (%) в результате миграции?
4. Определите частоту растений с белой окраской семян в суммарной популяции.
5. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в суммарной популяции при тех же частотах аллелей и доле мигрантов равной 0,7 %.

8. В популяции капусты 88 % растений имели синюю окраску листьев (доминантный признак). В рядом расположенной популяции частота доминантного аллеля составляла 0,9. В результате переноса семян из второй популяции в первую доля иммигрантов в суммарной популяции составила 0,05.

1. Чему равна частота доминантного аллеля в первой популяции?
2. Определите частоту доминантного аллеля в суммарной популяции.
3. Как изменилась частота гетерозигот (%) в результате миграции?
4. Определите частоту растений с синей окраской листьев и генотипом Aa (%) в суммарной популяции?
5. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в суммарной популяции при тех же частотах аллелей и доле мигрантов равной 0,5 %.

9. В популяции тюльпана 62 % растений имели красную окраску цветков (доминантный признак). В рядом расположенной популяции частота доминантного аллеля составляла 0,8. В результате переноса семян из второй популяции в первую доля иммигрантов в суммарной популяции составила 0,2.

1. Чему равна частота доминантного аллеля в первой популяции?
2. Определите частоту доминантного аллеля в суммарной популяции.
3. Как изменилась частота рецессивных гомозигот (%) в результате миграции?
4. Определите частоту гетерозигот (%) в суммарной популяции.
5. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в суммарной популяции при тех же частотах аллелей и доле иммигрантов равной 0,1 %.

10. Из одной популяции подорожника большого в другую мигрировала часть растений. В результате миграции популяция подорожника большого увеличилась с 820 до 900 растений. В исходной популяции частота доминантного аллеля темной окраски пыльников была равна 0,8. В популяции иммигрантов рецессивный признак (светлая окраска пыльников) проявлялся фенотипически у 20 растений из 80.

1. Чему равна доля иммигрантов в суммарной популяции?
2. Сколько растений в исходной популяции имели темную окраску пыльников?
3. Как изменилась частота доминантного аллеля в результате миграции?
4. Определите частоту гетерозигот (%) в популяции после миграции.
5. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в популяции после миграции.