

## Изменение генетической структуры популяции при неполной элиминации рецессивных гомозигот

### Задание 1. Определить динамику генетической структуры популяции при неполной элиминации рецессивных гомозигот

Чаще всего мутации снижают продуктивность растений. В каждом поколении элиминируется только часть растений, поэтому коэффициент отбора чаще всего имеет значение больше 0 (табл. 1).

Таблица 1. Динамика частот генотипических классов и частот аллелей  
при неполной элиминации рецессивных гомозигот  $S \neq 1 \rightarrow (aa)$

Показатели	Генотип			Сумма
	AA	Aa	aa	
Частоты аллелей до отбора	pA		qa	
Частоты генотипов до отбора, f	p <sup>2</sup> AA	2pqAa	q <sup>2</sup> Aa	1
Относительная приспособленность, W	1	1	1 - S	
Частоты генотипов после отбора, fW	p <sup>2</sup> AA	2pqAa	q <sup>2</sup> aa · (1 - S)	1 - Sq <sup>2</sup> aa
Нормализованные частоты генотипов	$\frac{p^2 AA}{1 - Sq^2 aa}$	$\frac{2pq Aa}{1 - Sq^2 aa}$	$\frac{q^2 aa \cdot (1 - S)}{1 - Sq^2 aa}$	
Частоты аллелей после отбора	pA'		qa'	

Примечание:  $pA' = \frac{p^2 AA + pqAa}{1 - Sq^2 aa} = \frac{1 - qa}{1 - Sq^2 aa}$ ;

$$qa' = \frac{q^2 aa \cdot (1 - S) + pqAa}{1 - Sq^2 aa} = \frac{qa - Sq^2 aa}{1 - Sq^2 aa}.$$

Разница ( $\Delta qa$ ) между частотами аллелей в двух смежных поколениях составляет:

$$\Delta qa = qa' - qa;$$

$$\Delta qa = \frac{qa - Sq^2 aa}{1 - Sq^2 aa} - qa = \frac{qa - Sq^2 aa - qa + Sq^3 aa}{1 - Sq^2 aa} = \frac{-Sq^2 aa + Sq^3 aa}{1 - Sq^2 aa} = \frac{-Sq^2 aa \cdot (1 - qa)}{1 - Sq^2 aa}.$$

Изменение частоты рецессивного аллеля в популяции при неполной элиминации рецессивных гомозигот определяют по формуле 1:

$$\Delta qa = \frac{-Sq^2 aa \cdot (1 - qa)}{1 - Sq^2 aa}, \quad (1)$$

где S – коэффициент отбора;

$\Delta qa$  – изменение частоты рецессивного аллеля после отбора;

qa – частота рецессивного аллеля до отбора.

При значении S меньше 0,5 расчет  $\Delta qa$  можно производить по упрощенной формуле (2):

$$\Delta qa = -Sq^2 aa \cdot (1 - qa). \quad (2)$$

## Задание 2. Решение задач на неполную элиминацию рецессивных гомозигот

### Пример.

У озимой ржи доминантный аллель Н обуславливает развитие растений, имеющих нормальную высоту и плодовитость, а рецессивный аллель h в гомозиготном состоянии детерминирует карликовость и снижение продуктивности растений на 50 %. Частота рецессивного аллеля в популяции составляет 0,2.

1. Определите генетическую структуру исходной популяции.
2. Какова частота рецессивного и доминантного аллелей в первом поколении?
3. Какова частота гомозиготного доминантного генотипа HH в первом поколении?
4. Какова частота гетерозиготного генотипа Hh в первом поколении?
5. Какова частота гомозиготного рецессивного генотипа hh в первом поколении?

### Решение.

Озимая рожь

Высота растений.

H – нормальная высота;

h – карликовость.

q<sub>h</sub> = 0,2;

S = 0,5 → (aa).

1. Определяем генетическую структуру популяции в исходном поколении:

При частоте рецессивного аллеля равной 0,2 частота доминантного аллеля составит 0,8:

$$p_H = 1 - q_h = 1 - 0,2 = 0,8.$$

$$P = p^2_{HH} = (p_H)^2 = 0,8^2 = 0,64;$$

$$G = 2pq_{Hh} = 2 \cdot p_H \cdot q_h = 2 \cdot 0,8 \cdot 0,2 = 0,32;$$

$$Q = q^2_{hh} = (q_h)^2 = 0,2^2 = 0,04.$$

Таким образом, соотношение генотипов в исходной популяции будет следующим:  
0,64 HH : 0,32 Hh : 0,04 hh.

2. Находим значение  $\Delta q_h$ , т. е. изменение частоты рецессивного аллеля h в первом поколении:

$$\Delta q_h = \frac{-Sq^2_{hh} \cdot (1 - q_{hh})}{1 - Sq^2_{hh}} = \frac{-0,5 \cdot 0,04 \cdot (1 - 0,2)}{1 - 0,5 \cdot 0,04} = \frac{-0,016}{0,98} = -0,0163.$$

Определяем частоту рецессивного и доминантного аллелей в первом поколении.

$$q_{h_1} = q_h + \Delta q_h = 0,2 + (-0,0163) = 0,1837.$$

$$p_{H_1} = 1 - q_{h_1} = 1 - 0,1837 = 0,8163.$$

3. Определяем частоту гомозиготного доминантного генотипа HH в первом поколении:

$$P_1 = p^2_{HH_1} = (p_{H_1})^2 = 0,8163^2 = 0,6663.$$

4. Определяем частоту гетерозиготного генотипа Hh в первом поколении:

$$G_1 = 2pq_{Hh_1} = 2 \cdot p_{H_1} \cdot q_{h_1} = 2 \cdot 0,8163 \cdot 0,1837 = 0,3000.$$

5. Определяем частоту гомозиготного рецессивного генотипа hh в первом поколении:

$$Q_1 = q^2 h h_1 = (q h_1)^2 = 0,1837^2 = 0,0337.$$

Полученные величины целесообразнее выразить в процентах, т. е. частоты растений, имеющих соответствующие генотипы в первом поколении, будут равны:  $HH = 66,63 \%$ ;  $Hh = 30,00 \%$ ;  $hh = 3,37 \%$ .

### **Лабораторная работа: определение продуктивности растений озимой ржи, коэффициента отбора S и динамики популяции до 10-го поколения**

**Цель работы:** определить продуктивность растений озимой ржи, коэффициент отбора S и динамику популяции до 10-го поколения.

#### **Материал и оборудование:**

- 1) 10–20 растений озимой ржи, отобранных в фазу восковой спелости и имевших красно-фиолетовую окраску всходов;
- 2) 10–20 растений озимой ржи, отобранных в фазу восковой спелости и имевших зеленую окраску всходов;
- 3) данные анализа популяции по генетической структуре по признаку окраски всходов;
- 4) весы;
- 5) микрокалькуляторы.

#### **Ход работы:**

- 1) Определите продуктивность растений озимой ржи, имеющих зеленую и красно-фиолетовую окраску всходов.
- 2) Определите коэффициент отбора S.
- 3) Определите генетическую структуру исходной популяции.
- 4) Вычислите для каждого поколения изменение частоты рецессивного аллеля и определите динамику генетической структуры популяции в поколениях.
- 5) Сформулируйте вывод.

#### **Пример.**

У растений озимой ржи, имевших красно-фиолетовую окраску всходов, масса семян с растения составляет 2,0 г, у растений, имевших зеленые всходы, – 1,6 г. Из 500 проанализированных растений 5 имели зеленую окраску всходов.

Определите генетическую структуру исходной популяции и ее динамику в 10 поколениях.

#### **Решение.**

##### Озимая рожь

Окраска всходов.

A – красно-фиолетовая;

a – зеленая окраска.

$M_{кр.} = 2$  г;

$M_{зел.} = 1,6$  г;

$N = 500$  растений;

$n_Q = 5$  растений.

1. Определяем, на сколько процентов продуктивность растений с красно-фиолетовой окраской всходов больше продуктивности растений с зеленой окраской всходов.

Пусть наибольшая продуктивность растений, т. е. 2 г. составляет 100 %. Тогда продуктивность растений с зелеными всходами составляет 80 %, что на 20 % ниже, чем у растений с красно-фиолетовыми всходами, т. е., можно сказать, что 20 % рецессивных гомозигот будут элиминироваться из популяции. Отсюда  $S = 0,2$ .

2. Определяем генетическую структуру исходной популяции озимой ржи.

$$Q = \frac{n_Q}{N} = \frac{5}{500} = 0,01.$$

$$q^2_{aa} = Q = 0,01 \text{ (или 1 \%);}$$

$$q_a = \sqrt{q^2_{aa}} = \sqrt{0,01} = 0,1;$$

$$p_A = 1 - q_a = 1 - 0,1 = 0,9.$$

$$P = p^2_{AA} = (p_A)^2 = 0,9^2 = 0,81 \text{ (или 81 \%);}$$

$$G = 2pq_{Aa} = 2 \cdot 0,9 \cdot 0,1 = 0,18 \text{ (или 18 \%)}.$$

3. Определяем генетическую структуру первого поколения данной популяции.

Полученные данные вносим в табл. 2.

Таблица 2. Динамика генетической структуры панмиктической популяции озимой ржи при  $S = 0,2 \rightarrow (aa)$ .

Поколение	Частота аллеля		Частота генотипов, %		
	$q_a$	$p_A$	$aa$	$AA$	$Aa$
Исходное	0,1	0,9	1	81	18
1	0,0982	0,9018	0,96	81,32	18,72
2	0,0965	0,9035	0,93	81,63	17,44
3	0,0948	0,9052	0,90	81,94	17,16
4	0,0932	0,9068	0,87	82,23	16,90
5	0,0916	0,9084	0,84	82,52	16,64
6	0,0901	0,9099	0,81	82,79	16,40
7	0,0886	0,9114	0,78	83,06	16,16
8	0,0872	0,9128	0,76	83,32	15,92
9	0,0858	0,9142	0,74	83,58	15,68
10	0,0845	0,9155	0,71	83,81	15,48

Вычисляем изменение частоты рецессивного аллеля в первом поколении популяции при  $S = 0,2$  по упрощенной формуле (2).

$$\Delta q_a = -Sq^2_{aa} \cdot (1 - q_a) = -0,2 \cdot 0,01 \cdot (1 - 0,1) = -0,2 \cdot 0,01 \cdot 0,9 = -0,0018.$$

Вычисляем частоту  $q_{a_1}$  в первом поколении после отбора:

$$q_{a_1} = q_a + \Delta q_a = 0,1000 + (-0,0018) = 0,0982.$$

Вычисляем частоту доминантного аллеля  $p_{A_1}$  в первом поколении после отбора:

$$p_{A_1} = 1 - q_{a_1} = 1 - 0,0982 = 0,9018.$$

Определяем генетическую структуру популяции в первом поколении после отбора:

$$P_1 = p^2_{AA_1} = (p_{A_1})^2 = (0,9018)^2 = 0,8132 \text{ (или 81,32 \%);}$$

$$G_1 = 2pqAa_1 = 2 \cdot pA_1 \cdot qa_1 = 2 \cdot 0,9018 \cdot 0,0982 = 0,1872 \text{ (или 18,72 \%)}.$$

$$Q_1 = q^2aa_1 = (qa_1)^2 = (0,0982)^2 = 0,0096 \text{ (или 0,96 \%)}.$$

Таким образом, частота доминантных гомозигот составит 81,32 %, частота гетерозигот – 18,72 %, а рецессивных гомозигот – 0,96 %. Данные вносим в табл. 2.

4. Определяем генетическую структуру популяции во втором поколении после отбора:

$$\Delta qa_1 = -0,2 \cdot 0,0096 \cdot 0,9018 = -0,00173;$$

$$qa_2 = qa_1 + \Delta qa_1 = 0,0982 - 0,0017 = 0,0965;$$

$$pA_2 = 1 - qa_2 = 1 - 0,0965 = 0,9035;$$

$$P_2 = p^2AA_2 = (pA_2)^2 = (0,9035)^2 = 0,8163 \text{ (или 81,63 \%)};$$

$$G_2 = 2pqAa_2 = 2 \cdot pA_2 \cdot qa_2 = 2 \cdot 0,9035 \cdot 0,0965 = 0,1744 \text{ (или 17,44 \%)}.$$

$$Q_2 = q^2aa_2 = (qa_2)^2 = (0,0965)^2 = 0,0093 \text{ (или 0,93 \%)};$$

Генетическую структуру третьего и последующих поколений вычисляем таким же образом.

На рис. 1 показан график изменения частоты рецессивного аллеля и рецессивных гомозигот при неполной элиминации рецессивных гомозигот в 10 поколениях.

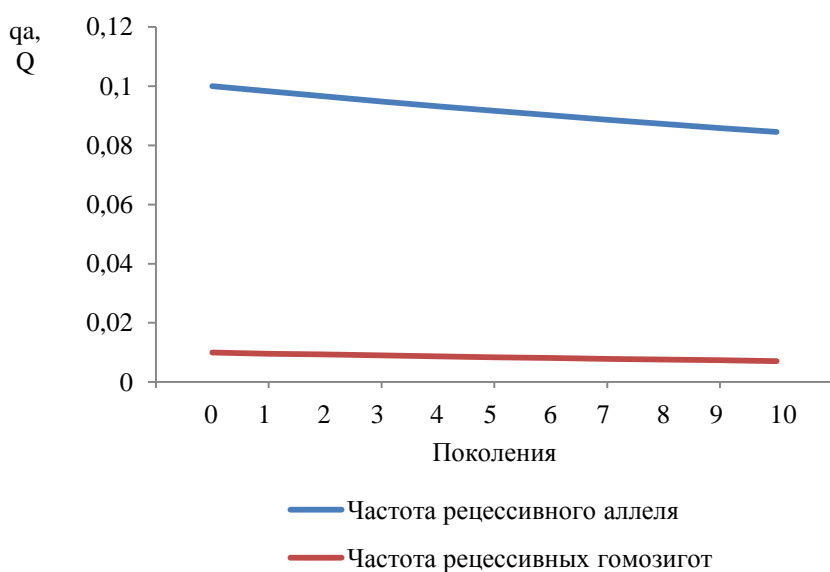


Рис. 1. Кривые, отражающие уменьшение частот рецессивного аллеля и рецессивных гомозигот при неполной элиминации рецессивных гомозигот.

5. Делаем выводы по результатам выполненного задания.

В панмиктической популяции при неполной элиминации (20 %) рецессивных гомозигот наблюдается снижение частоты рецессивного аллеля на 0,0155 (или 1,55 %) за 10 поколений при таком же увеличении частоты доминантного аллеля. Частота рецессивных гомозигот за 10 поколений снизилась на 0,0029, что соответствует 0,29 %, частота гетерозигот – на 0,0252 (2,52 %), а частота доминантных гомозигот увеличилась на 0,0281 (2,81 %).

В соответствии с вариантами, приведенными в табл. 3, рассчитайте динамику генетической структуры панмиктической популяции озимой ржи при соответствующем коэффициенте отбора.

Таблица 3. Задания к лабораторной работе.

Вариант	Продуктивность растения, г		Количество проанализированных растений, шт.	Количество растений с рецессивным признаком, шт.	Поколения
	с красно-фиолетовыми всходами	с зелеными всходами			
1	2,0	1,65	1005	12	10
2	2,0	1,87	1200	35	7
3	2,0	1,35	1045	18	8
4	2,0	1,88	1011	20	9
5	2,0	1,90	1069	24	7
6	2,0	1,46	1040	15	10
7	2,0	1,50	1100	37	9
8	2,0	1,70	1002	13	10
9	2,0	1,78	1000	11	8
10	2,0	1,19	1015	10	9
11	2,0	1,45	1008	31	10
12	2,0	1,41	1201	28	8
13	2,0	1,39	1016	19	7
14	2,0	1,92	1060	39	9
15	2,0	1,64	1022	22	10
16	2,0	1,75	1112	17	9
17	2,0	1,90	1105	29	7
18	2,0	1,86	1090	16	6
19	2,0	1,40	1108	26	8
20	2,0	1,21	1003	40	9

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие значения коэффициента отбора чаще всего наблюдаются в природных популяциях?
2. Что означает понятие «неполная элиминация» рецессивных гомозигот?
3. Как рассчитывают изменение частоты рецессивного аллеля в популяции при неполной элиминации рецессивных гомозигот?
4. Как определить частоты аллелей в следующем после отбора поколении?
5. Как определить частоты генотипов в следующем после отбора поколении?
6. Как определить коэффициент отбора по продуктивности растений у озимой ржи?
7. Как рассчитывают изменение частоты рецессивного аллеля в популяции при неполной элиминации рецессивных гомозигот, если  $S$  меньше 0,5?
8. Расскажите о методике расчета динамики популяции во втором и последующих поколениях.
9. Как меняются частоты аллелей в ряду поколений при неполной элиминации рецессивных гомозигот?
10. Как меняются частоты генотипов в ряду поколений при неполной элиминации рецессивных гомозигот?

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. У рецессивных гомозиготных по гену  $b$  растений мягкой пшеницы завязываемость семян на 12 % ниже, чем у доминантных гомозигот или гетерозиготных особей.

В исходной гибридной популяции такие растения составляли 20 %.

1. Определите приспособленность разных генотипов в данной популяции.
2. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в следующем поколении?
3. Чему будет равна частота доминантного аллеля в следующем поколении?
4. На сколько (%) изменится частота гетерозигот после однократного пересева популяции?
5. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) после однократного пересева популяции.

2. У пшеницы доминантный ген  $A$  контролирует закрытую форму колоска, связанную с высокой степенью озерненности колоса. Рецессивные гомозиготы ( $aa$ ) имеют открытую форму колоска, что приводит к снижению степени озерненности колоса на 21 %.

После однократно контролируемого самоопыления в посевах озимой пшеницы сорта Пошук из каждых 100 растений 12 растений проявили доминантный признак, а остальные – имели открытую форму колоска.

1. Определите коэффициент отбора для разных генотипов в данной популяции.
2. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в исходной популяции?
3. Чему равна частота доминантного аллеля в исходной популяции?
4. Чему будет равна частота доминантного аллеля после однократного пересева популяции?
5. Рассчитайте изменение частоты доминантного аллеля ( $\Delta p$ ) за одно поколение в другой популяции при том же коэффициенте отбора и исходной частоте доминантного аллеля равной 0,81.

3. У подсолнечника гомозиготное состояние рецессивных аллелей  $aa$  обуславливает зеленую окраску всходов, имеющую пониженную устойчивость к засухе на 15 %, по сравнению с растениями, имеющими антоциановую окраску.

При идентификации по всходам число растений с зеленой окраской всходов в популяции составило 7 %.

1. Определите приспособленность разных генотипов в данной популяции.
2. Определите частоту доминантных гомозигот (%) в исходной популяции.
3. Определите частоту доминантных гомозигот (%) после однократного пересева популяции.
4. Определите частоту гетерозигот после однократного пересева популяции.
5. Рассчитайте изменение частоты доминантного аллеля ( $\Delta p$ ) за одно поколение в другой популяции при том же коэффициенте отбора и исходной частоте рецессивного аллеля равной 0,024.

4. После обработки посевов кормовой свеклы бетоном вероятность оставления потомства у растений с генотипом  $aa$  оказалась на 10 % меньше, чем у растений с генотипами  $AA$  и  $Aa$ .

По результатам обработки было установлено, что 75 % растений имеют высокую устойчивость к препарату.

1. Определите коэффициент отбора для разных генотипов в данной популяции.
2. Определите приспособленность рецессивных гомозигот.
3. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в исходной популяции.
4. Чему будет равна частота доминантного аллеля после однократного пересева популяции?
5. Определите частоту гетерозигот (%) после однократного пересева популяции.

5. В северо-восточных районах Беларуси в отдельные годы устанавливается пониженная температура (до  $-18^{\circ}\text{C}$ ) на уровне узла кущения озимой пшеницы. Морозостойкие формы озимой пшеницы сорта Гармония имеют генотипы AA и Aa, и их приспособленность составляет 1. Для неморозостойких форм этого сорта приспособленность составляет 0,52.

По результатам испытания сохраняемость посевов сорта Гармония после перезимовки составила 57 %.

1. Определите коэффициент отбора для разных генотипов в данной популяции.
2. Чему равна частота доминантного аллеля в исходной популяции?
3. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в исходной популяции?
4. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) после однократного пересева популяции.
5. Рассчитайте изменение частоты доминантного аллеля ( $\Delta p$ ) за одно поколение в другой популяции при том же коэффициенте отбора и исходной частоте доминантного аллеля равной 0,76.

6. У рецессивных гомозиготных растений ржи, характеризующихся отсутствием воскового налета на листовых пластинках, отмечается снижение устойчивости к бурой ржавчине на 45 % по сравнению с доминантными гомозиготами и гетерозиготами, имеющими восковой налет на листовых пластинках.

В результате идентификации было установлено, что 77 % растений имеют высокую устойчивость к бурой ржавчине.

1. Определите приспособленность разных генотипов в данной популяции.
2. Чему равна частота доминантного аллеля в исходной популяции?
3. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) после однократного пересева популяции.
4. Определите частоту гетерозигот (%) после однократного пересева популяции?
5. Рассчитайте изменение частоты рецессивного аллеля ( $\Delta q$ ) за одно поколение в другой популяции при том же коэффициенте отбора и исходной частоте доминантного аллеля равной 0,69.

7. У ярового ячменя сорта Визит гомозиготное состояние рецессивных аллелей aa обуславливает зеленую окраску всходов, имеющую пониженную устойчивость к засухе на 12 % по сравнению с растениями, имеющими антоциановую окраску.

При идентификации по всходам число растений с зеленой окраской всходов составило 6 %.

1. Определите коэффициент отбора для разных генотипов в данной популяции.
2. Определите приспособленность рецессивных гомозигот.
3. Определите частоту доминантных гомозигот (%) после однократного пересева популяции.
4. Определите частоту гетерозигот (%) после однократного пересева популяции.
5. Рассчитайте изменение частоты рецессивного аллеля ( $\Delta q$ ) за одно поколение в другой популяции при том же коэффициенте отбора и исходной частоте рецессивного аллеля равной 0,22.

8. После обработки посевов желтого люпина симазинот вероятность сохранения потомства у растений с генотипом  $aa$  на 18 % меньше, чем у растений с генотипами  $AA$  и  $Aa$ .

После обработки было установлено, что 79 % растений имели плохую устойчивость к препарату.

1. Определите приспособленность разных генотипов в данной популяции.
2. Определите частоту гетерозигот (%) в исходной популяции.
3. Чему будет равна частота доминантного аллеля после однократного пересева популяции?
4. Определите частоту доминантных гомозигот (%) после однократного пересева популяции.
5. Определите частоту гетерозигот (%) после однократного пересева популяции.

9. У пшеницы аллель  $V_{rn}$  обуславливает яровой образ жизни и является доминантным по отношению к аллелю  $v_{rn}$ , детерминирующему озимый образ жизни.

Приспособленность озимых форм составляет 90 % от приспособленности яровых форм. Частота встречаемости доминантного аллеля в популяции составляет 70 %.

1. Определите коэффициент отбора для разных генотипов в данной популяции.
2. Чему равна частота рецессивного аллеля в исходной популяции?
3. Определите частоту доминантных гомозигот (%) в исходной популяции.
4. Чему будет равна частота рецессивного аллеля в третьем поколении после отбора?
5. Определите частоту гетерозигот (%) в третьем поколении после отбора.

10. У рецессивных гомозигот озимой ржи снижение концентрации сахаров в клетках конуса нарастания вызывает снижение морозостойкости на 26 % по сравнению с доминантными гомозиготами и гетерозиготами.

В результате анализа было установлено, что растения с высоким содержанием сахаров составляют 82 % в исходной популяции.

1. Определите коэффициент отбора для разных генотипов в данной популяции.
2. Чему равна частота рецессивного аллеля в исходной популяции?
3. Определите частоту доминантных гомозигот (%) в исходной популяции.
4. Чему будет равна частота рецессивного аллеля во втором поколении после отбора?
5. Определите частоту доминантных гомозигот (%) во втором поколении после отбора.