

## Изменение генетической структуры популяции при полной элиминации рецессивных гомозигот

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

Многие рецессивные гены в гетерозиготном генотипе практически не влияют на жизнеспособность. Они существенно снижают ее, переходя в гомозиготное состояние.

Чаще всего отбор бывает направлен против рецессивных гомозигот. Так, в популяциях растений  $S = 1 \rightarrow (aa)$  может наблюдаться, если:

- возникают рецессивные хлорофильные мутации, и растения погибают в фазе всходов;
- возникают стерильные мутанты, у которых в цветках не образуются плоды и семена (табл. 1).

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

Показатели	Генотип			Сумма
	AA	Aa	aa	
Частоты аллелей до отбора	pA		qa	
Частоты генотипов до отбора, f	$p^2AA$	2pqAa	$q^2aa$	1
Относительная приспособленность, W	1	1	0	
Частоты генотипов после отбора, fW	$p^2AA$	2pqAa	0	$1 - q^2aa$
Нормализованные частоты генотипов	$\frac{p^2AA}{1 - q^2aa}$	$\frac{2pqAa}{1 - q^2aa}$	0	
Частоты аллелей после отбора	pA'		qa'	

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

$qa' = \frac{pqAa}{1 - q^2aa} = \frac{qa}{1 + qa}$ .

При  $S = 1 \rightarrow (aa)$  частота рецессивного аллеля в популяции вычисляется по формуле 1:

$$qa_n = \frac{qa}{1 + n \cdot qa}, \quad (1)$$

где n – поколение, для которого ведут расчет.

Из этой формулы легко найти, сколько поколений придется ждать, чтобы частота летального рецессивного аллеля изменилась от исходного до заданного значения:  $n = \frac{1}{q_n a} - \frac{1}{qa}$ .

Если нам необходимо, чтобы частота такого аллеля уменьшилась вдвое, то предстоит ждать  $\frac{1}{qa}$  поколений:  $n = \frac{1}{qa : 2} - \frac{1}{qa} = \frac{2}{qa} - \frac{1}{qa} = \frac{1}{qa}$ .

Таким образом, чем меньше частота рецессивного аллеля, тем медленнее он исчезает из популяции.

Но даже при полной элиминации гомозигот  $aa$ , рецессивные мутации (аллель  $a$ ) могут сохраняться у растений в гетерозиготном состоянии. Элиминации будут подвергаться лишь редкие гомозиготные носители этого аллеля, и генетическая структура популяции будет меняться очень слабо.

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

### Пример.

У озимой ржи в фазу всходов встречаются белые проростки, обусловленные геном  $wh$ , вызывающие гибель растений. Частота рецессивного аллеля ( $q_{wh}$ ) составляет 0,13 в бесконтрольных гибридных популяциях. Генотипы с геном  $Wh$  имеют зеленые всходы.

1. Определите частоту рецессивного аллеля в первом поколении после отбора?
2. Определите частоту доминантного аллеля в первом поколении после отбора.
3. Определите генетическую структуру популяции в первом поколении после отбора.
4. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) во втором поколении после отбора.
5. Определите частоту рецессивных гомозигот (%) в десятом поколении после отбора.

### Решение.

Озимая рожь

Окраска проростков.

$Wh$  – зеленая;

$wh$  – белая.

$q_{wh} = 0,13$ .

1. Рассчитаем частоту рецессивного аллеля в первом поколении после отбора по формуле 1.

$$q_{a_1} = \frac{q_a}{1 + n \cdot q_a} = \frac{0,13}{1 + 1 \cdot 0,13} = \frac{0,13}{1,13} = 0,115.$$

2. Определяем частоту доминантного аллеля в первом поколении после отбора:

$$p_{A_1} = 1 - q_{a_1} = 1 - 0,115 = 0,885.$$

3. Определяем генетическую структуру популяции для 1 поколения после отбора.

$$P_1 = p^2 AA_1 = (p_{A_1})^2 = (0,885)^2 = 0,7832 \text{ (или 78,32 \%)};$$

$$G_1 = 2pq Aa_1 = 2 \cdot p_{A_1} \cdot q_{a_1} = 2 \cdot 0,885 \cdot 0,115 = 0,2036 \text{ (или 20,36 \%)}.$$

$$Q_1 = q^2 aa_1 = (q_{a_1})^2 = (0,115)^2 = 0,0132 \text{ (или 1,32 \%)}.$$

4. Определяем частоту рецессивного аллеля, а затем частоту рецессивных гомозигот во втором поколении после отбора.

$$q_{a_2} = \frac{0,13}{1 + 2 \cdot 0,13} = \frac{0,13}{1,26} = 0,103.$$

$$Q_2 = q^2 aa_2 = (q_{a_2})^2 = (0,103)^2 = 0,0106 \text{ (или 1,06 \%)}.$$

5. Определяем частоту рецессивного аллеля, а затем частоту рецессивных гомозигот в десятом поколении после отбора.

$$q_{a_{10}} = \frac{0,13}{1 + 10 \cdot 0,13} = \frac{0,13}{2,3} = 0,057.$$

$$Q_{10} = q^2 a a_{10} = (q_{a_{10}})^2 = (0,057)^2 = 0,0032 \text{ (или } 0,32 \text{ \%)}.$$

**Лабораторная работа: определение изменения частот генотипов  
в поколениях озимой ржи при полной элиминации рецессивных гомозигот**

**Цель работы:** определить изменение частот аллелей и генотипов в поколениях озимой ржи при полной элиминации рецессивных гомозигот.

**Материал и оборудование:**

- 1) сноп озимой ржи сорта Пуховчанка;
- 2) микрокалькулятор.

**Ход работы:**

- 1) Проанализируйте пробный сноп озимой ржи сорта Пуховчанка и установите процент стерильных растений.
- 2) Определите частоты рецессивного и доминантного аллелей, а также генетическую структуру популяции в исходном поколении.
- 3) Определите динамику генетической структуры популяции при полной элиминации рецессивных гомозигот для 10 поколений.
- 4) Сформулируйте вывод о характере динамики генетической структуры популяции при полной элиминации рецессивных гомозигот.

**Пример.**

У озимой ржи сорта Пуховчанка обнаружена аномалия мейоза «деление в тетрадах», обусловленная рецессивным геном *t*. Встречаемость этого гена в гомозиготном состоянии (*tt*) приводит к полной стерильности (не образуются семена). Доминантный аллель – *T* как в гомозиготном, так и в гетерозиготном генотипе обуславливает нормальную фертильность (озерненные колосья).

Из 1000 проанализированных растений 20 имели стерильные колосья.

Определите динамику генетической структуры популяции в 10 поколениях.

**Решение.**

Озимая рожь

Озерненность колосьев.

*T* – нормальная озерненность;

*t* – стерильность;

*N* = 1000 растений;

*n<sub>Q</sub>* = 20 растений.

*1. Определяем частоты рецессивного генотипа и рецессивного аллеля в исходном поколении:*

$$Q = q^2 tt = \frac{n_Q}{N} = \frac{20}{1000} = 0,02 \text{ (или } 2 \text{ \%)};$$

$$qt = \sqrt{q^2 tt} = \sqrt{0,02} = 0,14.$$

2. Зная частоту рецессивного аллеля в исходном поколении популяции, определяем частоту доминантного аллеля и генетическую структуру популяции в исходном поколении:

$$pT = 1 - qt = 1 - 0,14 = 0,86.$$

$$P = p^2TT = (pT)^2 = (0,86)^2 = 0,7396 \text{ (или 73,96 \%)};$$

$$G = 2pqTt = 2 \cdot pT \cdot qt = 2 \cdot 0,86 \cdot 0,14 = 0,2408 \text{ (или 24,08 \%)};$$

$$Q = q^2tt = (qt)^2 = (0,14)^2 = 0,0196 \text{ (или 1,96 \%)}.$$

3. Определяем частоты рецессивного и доминантного аллелей в первом поколении после отбора, а также генетическую структуру популяции по соответствующим формулам.

$$qt_1 = \frac{qt}{1 + n \cdot qt} = \frac{0,14}{1 + 1 \cdot 0,14} = \frac{0,14}{1,14} = 0,1228.$$

$$pT_1 = 1 - qt_1 = 1 - 0,1228 = 0,8772.$$

$$P_1 = p^2TT_1 = (pT_1)^2 = (0,8772)^2 = 0,7695 \text{ (или 76,95 \%)};$$

$$G_1 = 2pqTt_1 = 2 \cdot pT_1 \cdot qt_1 = 2 \cdot 0,8772 \cdot 0,1228 = 0,2154 \text{ (или 21,54 \%)};$$

$$Q_1 = q^2tt_1 = (qt_1)^2 = (0,1228)^2 = 0,0151 \text{ (или 1,51 \%)}.$$

4. Таким же образом ведем расчет частот рецессивного и доминантного аллелей, определение генетической структуры популяции для поколений  $F_2-F_{10}$ . Полученные данные вносим в табл. 2.

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

Таблица 2. Динамика популяции при полной элиминации рецессивных гомозигот  $S = 1 \rightarrow (tt)$ .

Поколения	Частота		Количество особей в популяции с генотипом, %		
	доминантного аллеля pT	рецессивного аллеля qt	$q^2tt$	$2pqTt$	$p^2TT$
Исходное	0,86	0,14	1,96	24,08	73,96
1	0,8772	0,1228	1,51	21,54	76,95
2	0,8906	0,1094	1,20	19,48	79,32
3	0,9014	0,0986	0,97	17,78	81,25
4	0,9103	0,0897	0,81	16,33	82,86
5	0,9176	0,0824	0,68	15,12	84,20
6	0,9239	0,0761	0,58	14,06	85,36
7	0,9293	0,0707	0,50	13,14	86,36
8	0,9340	0,0660	0,44	12,32	87,24
9	0,9381	0,0619	0,38	11,62	88,00
10	0,9417	0,0583	0,34	10,98	88,68

5. Формулируем вывод о характере динамики генетической структуры популяции при полной элиминации рецессивных гомозигот в 10 поколениях.

В панмиктической популяции при полной элиминации рецессивных гомозигот за 10 поколений отбора частота рецессивного аллеля уменьшилась с 0,14 до 0,0583, т. е. в 2,4 раза; доля

рецессивных гомозигот уменьшилась на 1,62 % (или в 5,8 раз), гетерозигот – на 13,10 % (или в 2,2 раза), а доля доминантных гомозигот выросла на 14,72 % (или в 1,2 раза).

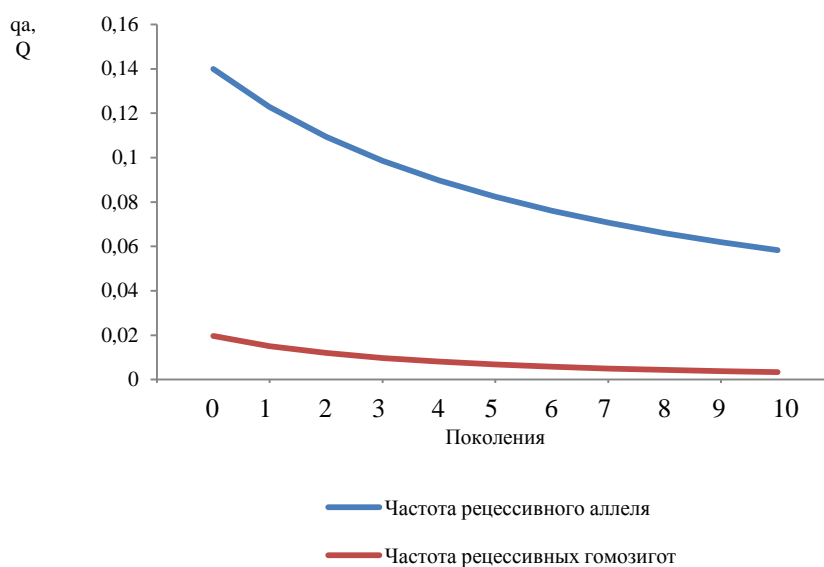


Рис. 1. Кривые, отражающие уменьшение частот рецессивного аллеля и рецессивных гомозигот при полной элиминации рецессивных гомозигот.

В соответствии с вариантами, приведенными в табл. 3, рассчитайте динамику генетической структуры панмиктической популяции озимой ржи при полной элиминации рецессивных гомозигот для указанного числа поколений.

Таблица 3. Задания для практической работы.

Вариант	Количество проанализированных растений, шт.	Количество растений с рецессивным признаком, шт.	Поколения
1	2	3	4
1	1501	14	F <sub>12</sub>
2	1424	28	F <sub>14</sub>
3	1382	22	F <sub>9</sub>
4	1806	45	F <sub>11</sub>
5	1021	16	F <sub>10</sub>
6	1750	32	F <sub>15</sub>
7	1608	28	F <sub>10</sub>
8	1014	12	F <sub>11</sub>
9	1790	21	F <sub>12</sub>
10	1306	25	F <sub>13</sub>
11	1902	17	F <sub>11</sub>
12	1720	42	F <sub>15</sub>
13	1561	29	F <sub>10</sub>
14	1616	31	F <sub>12</sub>

1	2	3	4
15	1156	37	F <sub>14</sub>
16	1289	11	F <sub>9</sub>
17	1445	19	F <sub>13</sub>
18	1786	22	F <sub>11</sub>
19	1705	34	F <sub>10</sub>
20	1550	30	F <sub>12</sub>

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Как рецессивные гены в гетерозиготном генотипе влияют на жизнеспособность организмов?
2. Что происходит, если рецессивные гены переходят в гомозиготное состояние?
3. Что означает понятие «полная элиминация» рецессивных гомозигот?
4. Какие рецессивные мутации приводят к полной элиминации рецессивных гомозигот?
5. Как рассчитать частоту рецессивного аллеля в популяции при полной элиминации рецессивных гомозигот?
6. Как определить, через сколько поколений частота рецессивного аллеля уменьшится вдвое?
7. Исчезнет ли рецессивный аллель из популяции при полной элиминации рецессивных гомозигот?
8. Что будет происходить с частотой доминантного аллеля при полной элиминации рецессивных гомозигот?
9. Как изменится в поколениях частота доминантных гомозигот при полной элиминации рецессивных гомозигот?
10. Как изменится в поколениях частота гетерозигот при полной элиминации рецессивных гомозигот?

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. У озимой ржи гомозиготное состояние рецессивных аллелей  $ff$  обуславливает полную стерильность цветков. Доминантный аллель  $F$  как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии обуславливает нормальную фертильность.

В исходной популяции частота рецессивного аллеля составила 0,17.

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

2. Хлорофильная мутация у гречихи обусловлена мутацией доминантного гена  $A1$  в рецессивный ген  $a1$ . Гомозиготные растения, имеющие генотип  $alal$ , являются альбиносами и

погибают в фазе проростков, а доминантные гомозиготы и гетерозиготы развиваются нормально.

В исходной панмиктической популяции 99 % растений были зелеными, остальные – альбиносы.

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

3. У синегибридной люцерны гомозиготное состояние рецессивных аллелей ff обуславливает полную стерильность цветков. Доминантный аллель F как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии обуславливает нормальную плодовитость цветков.

Частота встречаемости стерильных растений синегибридной люцерны в панмиктической популяции составляет 6,5 %.

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

4. У земляники гомозиготное состояние рецессивных аллелей ff обуславливает отсутствие усов. Доминантный аллель F как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии, обуславливает наличие усов у земляники.

Частота встречаемости в панмиктической популяции безусых растений земляники составляет 2 %.

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

5. У кукурузы растения, содержащие в генотипе рецессивные аллели  $ba_1ba_1$  в гомозиготном состоянии, не образуют початков (бесплодный стебель). Доминантный аллель  $Ba_1$  как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии обуславливает наличие початков.

В исходной популяции кукурузы 86 % растений имели початки, остальные растения – бесплодный стебель.

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

6. У гречихи гомозиготное состояние рецессивных аллелей  $alal$  обуславливает полную стерильность цветков. Доминантный аллель  $A1$  как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии обуславливает нормальную фертильность.

В исходной популяции частота рецессивного аллеля составляет 40 %.

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

7. Хлорофильная мутация у озимой ржи обусловлена мутацией доминантного гена  $F$  в рецессивный  $f$ . Гомозиготные растения (альбиносы) имеют генотип  $ff$  и погибают в фазе проростков, а доминантные гомозиготы и гетерозиготы развиваются нормально.

В исходной панмиктической популяции 88 % растений были зелеными, остальные – альбиносы.

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

8. У синегибридной люцерны гомозиготное состояние рецессивных аллелей  $ff$  обуславливает полную стерильность цветков. Доминантный аллель  $F$  как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии обуславливает нормальную плодовитость цветков.

Частота встречаемость стерильных растений в панмиктической популяции равна 16 %.

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

9. У гибридов земляники гомозиготное состояние рецессивных аллелей  $ss$  обуславливает отсутствие цветков. Доминантный аллель  $S$  как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии обуславливает наличие цветков у земляники.

Частота встречаемости в панмиктической популяции растений, не имеющих цветки, составляет 8 %.

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

10. В кукурузы гомозиготное состояние рецессивных аллелей *tbtb* обуславливает развитие мужского соцветия вместо початка. Доминантный аллель *Tb* как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии обуславливает нормальное развитие початков.

Частота встречаемости в панмиктической популяции растений кукурузы, имеющих мужские соцветия вместо початков, составляет 8,5 %.

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