

## Определение генетической структуры популяции при моногенных различиях

### Задание. 1. Познакомиться с методикой определения генетической структуры популяции

**Генетической структурой популяции** называется соотношение частоты доминантного и рецессивного аллелей (А и а), а также частоты гомозиготных (АА и аа) и гетерозиготного Аа генотипов, определяемых в процентах или долях единицы.

Например, генетическая структура популяции может быть записана таким образом: 0,5 А : 0,5 а или 50 % А : 50 % а; 0,25 АА : 0,50 Аа : 0,25 аа или 25 % АА : 50 % Аа : 25 % аа.

Генетическая структура панмиктической популяции может:

1. Быть в состоянии равновесия и не изменяться в поколениях;
2. Претерпевать динамические изменения под воздействием отбора, мутагенеза и других причин.

**Равновесием генетической структуры** панмиктической популяции называется сохранение в поколениях частот аллелей и генотипов.

Генетическая структура панмиктической популяции, определяемая частотой распределения генотипов, подчиняется закону Харди – Вайнберга.

### Пример.

Установлено, что у кукурузы в отдельных гибридных популяциях растения-альбиносы (генотип аа) встречаются с частотой 0,0025.

1. Определите частоту аллеля а в исходной популяции.
2. Определите частоту аллеля А в исходной популяции.
3. Определите частоту генотипа АА в исходной популяции.
4. Определите частоту генотипа Аа в исходной популяции.
5. Вычислите частоту (р) доминантного аллеля и частоту (q) рецессивного аллеля в следующих выборках из популяций: а) 400 особей А\_ и 100 особей аа; б) 700 особей А\_ и 300 особей аа; в) 180 особей А\_ и 20 особей аа; г) 60 особей А\_ и 40 особей аа.

### Решение.

Кукуруза

Окраска всходов.

А – зеленая;

а – белая.

Q = 0,0025.

1. Частоты генов и генотипов в популяции подчиняются закону Харди – Вайнберга (см. лабораторное занятие 1):

$$p^2 AA + 2pq Aa + q^2 aa = 1;$$

$$P + G + Q = 1;$$

$$0,0025.$$

Частота рецессивного генотипа (Q) соответствует доле рецессивных гомозигот в популяции ( $q^2 aa$ ). Зная  $q^2 aa$ , можно определить частоту рецессивного аллеля (q) в данной популяции:

$$Q = q^2aa = 0,0025.$$

$$qa = \sqrt{q^2aa} = \sqrt{0,0025} = 0,05.$$

2. Определяем частоту аллеля А (р) по формуле  $pA + qa = 1$ :

$$pA = 1 - qa = 1 - 0,05 = 0,95.$$

3. Определяем частоту доминантных гомозигот по формуле  $P = p^2AA$ :

$$P = p^2AA = (pA)^2 = 0,95^2 = 0,9025 \text{ (или 90,25 \%)}.$$

4. Определяем частоту гетерозигот по формуле  $G = 2pqAa$ :

$$G = 2pqAa = 2 \cdot pA \cdot qa = 2 \cdot 0,95 \cdot 0,05 = 0,0950 \text{ (или 9,50 \%)}.$$

Таким образом, исходная популяция состоит на 90,25 % из генотипа АА, 9,5 % из генотипа Аа и 0,25 % из генотипа аа.

5. Чтобы вычислить частоты доминантного и рецессивного аллелей (рА и qа) в выборках из популяции работаем по следующей схеме:

1) Определяем объем выборки  $N = P + G + Q$ .

2) Определяем в долях частоту рецессивного генотипа:  $Q = q^2aa = \frac{n_Q}{N}$ .

3) Определяем частоту рецессивного аллеля:  $qa = \sqrt{q^2aa}$ .

4) Определяем частоту доминантного аллеля:  $pA = 1 - qa$ .

а) частота (q) аллеля а = 0,44; частота (р) аллеля А = 0,56;

б) частота (q) аллеля а = 0,54; частота (р) аллеля А = 0,46;

в) частота (q) аллеля а = 0,32; частота (р) аллеля А = 0,68;

г) частота (q) аллеля а = 0,63; частота (р) аллеля А = 0,37.

## Задание 2. Ознакомиться с понятиями ассортативное и дизассортативное скрещивание

Из равенства  $p^2AA + 2pqAa + q^2aa = 1$ , следует, что отношение гомо- и гетерозиготных генотипов в популяции можно записать следующим образом (формула 1):

$$\frac{G}{\sqrt{PQ}} = \frac{2pqAa}{\sqrt{p^2AA \cdot q^2aa}} = 2$$

или

$$G^2 = 4 PQ. \tag{1}$$

Если выполняется данное равенство, можно утверждать, что частоты генов и генотипов находятся в равновесии, т. е. в популяции выполняется закон Харди-Вайнберга.

Если нарушено данное равенство в пользу гомозигот ( $4 PQ > G^2$ ), то говорят, что имело место **ассортативное скрещивание** – предпочтительное скрещивание между «родственными» генотипами, т. е. родительские пары состоят из особей, более похожих одна на другую, чем случайные особи в популяции.

Если же в популяции наблюдается избыток гетерозигот ( $G^2 > 4 PQ$ ), то говорят, что

имеет место **дизассортативное скрещивание** – предпочтительное скрещивание между «неродственными» генотипами, т. е. скрещиваются особи менее сходные по определенному признаку, чем произвольные особи популяции.

**Пример.**

Популяция гречихи насчитывает 800 растений, в том числе 189 растений имели генотип АА, 370 растений – Аа, остальные – аа.

Определите, выполняется ли закон Харди – Вайнберга.

**Решение.**

Гречиха

N = 800 растений;

n<sub>P</sub> = 189 растений;

n<sub>G</sub> = 370 растений.

1. Определяем количество растений с генотипом аа:

$$n_Q = N - n_P - n_G = 800 - 189 - 370 = 241.$$

2. Определяем частоту генотипа аа в данной популяции:

$$Q = \frac{n_Q}{N} = \frac{241}{800} = 0,3012 \text{ (или 30,12 \%)}.$$

3. Определяем частоты генотипов АА и Аа в популяции:

$$P = \frac{n_P}{N} = \frac{189}{800} = 0,2363 \text{ (или 23,63 \%)};$$

$$G = \frac{n_G}{N} = \frac{370}{800} = 0,4625 \text{ (или 46,25 \%)}.$$

4. Проверяем равенство  $G^2 = 4 PQ$ :

$$G^2 = 0,4625^2 = 0,2139;$$

$$4PQ = 4 \cdot 0,2363 \cdot 0,3012 = 0,2847.$$

Таким образом, закон Харди – Вайнберга не выполняется. Равновесие нарушено в пользу гомозигот, т. е. имеет место ассортативное скрещивание.

**Задание 3. Лабораторная работа: определение генетической структуры популяции озимой ржи, кукурузы, подсолнечника по признакам семян**

**Цель работы:** определить генетическую структуру популяции озимой ржи, кукурузы, подсолнечника в поколениях.

**Материал:**

- 1) зерновки районированных сортов ржи;
- 2) початки кукурузы;
- 3) семянки подсолнечника;
- 4) микрокалькулятор.

**Ход работы.**

1) Проанализируйте среднюю пробу конкретной культуры. Подсчитайте в образце семян ржи, кукурузы, подсолнечника количество зерен с рецессивным фенотипом, т. е. с зеленой

окраской для ржи, восковидным эндоспермом у кукурузы, отсутствием панцирного слоя у подсолнечника.

- 2) Определите частоты аллелей в исходной популяции.
- 3) Определите генетическую структуру исходной популяции.
- 4) Определите генетическую структуру популяции для 3 последующих поколений.
- 5) Сформулируйте вывод.

### **Пример.**

Из 4000 проанализированных зерновок озимой ржи 160 имеют зеленую окраску. Определите генетическую структуру популяции озимой ржи в поколениях.

### **Решение.**

#### Озимая рожь

Окраска зерна.

A – желтая окраска;

a – зеленая окраска.

N = 4000 семян.

n<sub>Q</sub> = 160 семян.

1. Записываем формулу Харди – Вайнберга.

$$p^2AA + 2pqAa + q^2aa = 1;$$
$$P + G + Q = 1.$$

2. Определяем частоту рецессивного аллеля:

$$Q = \frac{n_Q}{N} = \frac{160}{4000} = 0,04 \text{ (или 4 \%)}.$$

Частота рецессивного генотипа (Q) соответствует доле рецессивных гомозигот в популяции (q<sup>2</sup>aa). Зная q<sup>2</sup>aa, можно определить частоту рецессивного аллеля (qa) в данной популяции:

$$q^2aa = Q = 0,04.$$

$$qa = \sqrt{q^2aa} = \sqrt{0,04} = 0,2 \text{ (или 20 \%)}.$$

Определяем частоту доминантного аллеля:

$$pA = 1 - qa = 1 - 0,2 = 0,8 \text{ (или 80 \%)}.$$

Определяем частоту доминантных гомозигот в популяции:

$$P = p^2AA = (pA)^2 = 0,8^2 = 0,64 \text{ (или 64 \%)}.$$

Определяем частоту гетерозигот в популяции:

$$G = 2pqAa = 2 \cdot pA \cdot qa = 2 \cdot 0,8 \cdot 0,2 = 0,32 \text{ (или 32 \%)}.$$

3. Определяем генетическую структуру данной популяции:

$$0,64 AA : 0,32 Aa : 0,04 aa; pA = 0,8; qa = 0,2.$$

4. Определяем генетическую структуру популяции в 3 последующих поколениях. Данные вносим в табл. 1.

**Таблица 1. Состояние генетического равновесия в панмиктической популяции озимой ржи.**

Поколение	Частота генотипов			Частота аллелей	
	AA	Aa	aa	A	a
Исходное	0,64	0,32	0,04	0,8	0,2
F <sub>1</sub>	0,64	0,32	0,04	0,8	0,2
F <sub>2</sub>	0,64	0,32	0,04	0,8	0,2
F <sub>3</sub>	0,64	0,32	0,04	0,8	0,2

*5. Формулируем вывод о генетической структуре популяции в последующих поколениях.*

Таким образом, если частоты рецессивного и доминантного аллелей в последующих поколениях не меняются, то частоты доминантных и рецессивных гомозигот и частота гетерозигот остаются такими же, как и в исходном поколении.

В соответствии с вариантами, приведенными в табл. 2, определите генетическую структуру популяции кукурузы, подсолнечника и озимой ржи в поколениях.

**Таблица 2. Задания для лабораторной работы.**

Вариант	Культура	Рецессивный признак	Количество семян в пробе, шт.	Количество семян с рецессивным признаком, шт.
1	Кукуруза	Восковидный эндосперм	2500	302
2	Подсолнечник	Отсутствие панцирного слоя	2000	214
3	Озимая рожь	Зеленая окраска семян	3500	450
4	Кукуруза	Восковидный эндосперм	5000	819
5	Подсолнечник	Отсутствие панцирного слоя	2900	460
6	Озимая рожь	Зеленая окраска семян	4500	900
7	Кукуруза	Восковидный эндосперм	3000	189
8	Подсолнечник	Отсутствие панцирного слоя	4000	180
9	Озимая рожь	Зеленая окраска семян	2200	500
10	Кукуруза	Восковидный эндосперм	4200	637
11	Подсолнечник	Отсутствие панцирного слоя	2800	153
12	Озимая рожь	Зеленая окраска семян	2400	301
13	Кукуруза	Восковидный эндосперм	3600	406
14	Подсолнечник	Отсутствие панцирного слоя	4200	128
15	Озимая рожь	Зеленая окраска семян	3200	165
16	Кукуруза	Восковидный эндосперм	1500	101
17	Подсолнечник	Отсутствие панцирного слоя	3700	516
18	Озимая рожь	Зеленая окраска семян	1200	108
19	Кукуруза	Восковидный эндосперм	4600	229
20	Подсолнечник	Отсутствие панцирного слоя	2100	364

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое генетическая структура популяции?
2. В каких состояниях может находиться генетическая структура панмиктической популяции?
3. Что такое равновесие генетической структуры панмиктической популяции?
4. Под воздействием каких факторов популяция претерпевает динамические изменения?
5. Какая зависимость существует между отношением гомо- и гетерозиготных генотипов в популяции?
6. Какие скрещивания называются асортативными?
7. Какие скрещивания называются дисортативными?
8. Расскажите о методике проверки выполнения закона Харди – Вайнберга.
9. Расскажите о методике определения генетической структуры популяции озимой ржи, кукурузы, подсолнечника.
10. Как изменятся частоты гомо- и гетерозигот в популяции, если частоты рецессивного и доминантного аллелей в последующих поколениях останутся постоянными?

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. У свеклы карминово-красная окраска мякоти корнеплода определяется доминантным геном, белая – рецессивным геном.

В панмиктической популяции столовой свеклы из 2460 проанализированных растений 72,8 % корнеплодов были карминово-красные и 27,2 % – с белой окраской.

1. Сколько растений имеют рецессивный признак?
2. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений является гетерозиготами?
4. Сколько растений является доминантными гомозиготами?
5. Чему равен процент гетерозигот у сорта Бордо, если при оценке установлено, что в посеве содержится 28,8% растений с белой окраской корнеплода?

2. У озимой ржи сорта Радзима антоциановая (красно-фиолетовая) окраска всходов обусловлена доминантным аллелем А, зеленая – рецессивным аллелем а.

На участке площадью 0,5 га произрастает 2 млн. растений. При анализе растений на метровых площадях было установлено, что 87 % растений имеют антоциановые всходы, остальные – зеленые.

1. Сколько растений (%) имеет зеленую окраску всходов?
2. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
3. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
4. Сколько растений в данной популяции имеют генотип Аа?
5. Сколько растений в данной популяции имеют генотип АА?

3. У костреца безостого встречаются растения альбиносы (рецессивный признак). В панмиктической популяции из 2420 растений 50 имеют белую окраску листьев.

1. Сколько растений (%) имеет рецессивный признак?
2. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
3. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
4. Сколько растений является доминантными гомозиготами?
5. Сколько растений является гетерозиготами?

4. У кукурузы высокорослость растений доминирует над карликовостью.

При проведении анализа посева кукурузы было обнаружено 64 % высокорослых растений и 36 % карликовых. Число анализируемых растений составило 400.

1. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
2. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений является доминантными гомозиготами?
4. Сколько растений (%) является гетерозиготами?
5. Сколько растений является гетерозиготами?

5. У дикорастущей земляники красная окраска ягод доминирует над белой окраской.

В популяции земляники, состоящей из 1560 растений, 72 растения имеют белую окраску ягод.

1. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
2. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Чему равен процент гетерозигот в данной популяции?
4. Сколько растений имеют розовую окраску ягод?
5. Сколько растений имеют красную окраску ягод?

6. У моркови желтая окраска корнеплода доминирует над красной окраской.

В популяции моркови сорта Нантская 5, состоящей из 1500 растений, 50 растений имели красную окраску корнеплода.

1. Сколько растений (%) имеют рецессивный признак?
2. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
3. Чему равна частота доминантного аллеля в популяции?
4. Сколько растений является доминантными гомозиготами?
5. Сколько растений является гетерозиготами?

7. У тыквы зеленая окраска плода является рецессивной по отношению к белой окраске.

В популяции тыквы д. Забрево было найдено 345 растений с белой окраской плодов и 34 растения с зеленой окраской.

1. Сколько растений (%) является рецессивными гомозиготами?
2. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
3. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
4. Сколько растений (%) является доминантными гомозиготами?
5. Сколько растений является гетерозиготами?

8. У ржи наличие воскового налета на листьях и солоmine доминирует над отсутствием воскового налета.

При анализе апробационного снопа, состоящего из 340 растений, было обнаружено, что 40 растений не имели воскового налета.

1. Сколько растений (%) имеют рецессивный признак?
2. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
3. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
4. Сколько доминантных гомозиготных растений (%) содержится в популяции?
5. Сколько гетерозиготных по данным аллелям растений (%) содержится в популяции?

9. У люцерны пурпурная окраска цветков доминирует над белой окраской.

В популяции, состоящей из 2128 растений, 73 растения имели белую окраску.

1. Сколько растений (%) имеет рецессивный признак?
2. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
3. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
4. Сколько растений является доминантными гомозиготами?
5. Сколько растений является гетерозиготами?

10. В популяции укропа сорта Грибовский-3 встречаются растения с мелкими зонтиками (диаметр 5–10 см) – рецессивный признак и растения с крупными зонтиками (диаметр 15–25 см) – доминантный признак.

При апробации было установлено, что 7,5 % растений имели мелкий зонтик.

1. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
2. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений (%) является гетерозиготами?
4. Сколько растений (%) является доминантными гомозиготами?
5. В другой популяции сорта Грибовский-3, состоящей из 1100 растений, 91 имело мелкие зонтики. Определите частоту рецессивного аллеля в этой популяции.

11. У кукурузы ген С обуславливает развитие окрашенного алейрона, ген – с неокрашенного алейрона.

В исходной популяции содержится 12 % особей с рецессивным признаком.

1. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
2. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений (%) является доминантными гомозиготами?
4. Сколько растений (%) является гетерозиготами?
5. Сколько растений (%) другой панмиктической популяции будут гетерозиготными, если при апробации установлено, что в ней содержится 24 % растений с рецессивным признаком?

12. У подсолнечника наличие панцирного слоя в семянке доминирует над отсутствием его и наследуется моногенно.

При апробации установлено, что у 4 % растений семянки не имеют панцирного слоя.

1. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
2. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений (%) является доминантными гомозиготами?

4. Сколько растений (%) является гетерозиготами?

5. Сколько гетерозиготных растений (%) будет в другой панмиктической популяции, если при апробации установлено, что в ней содержится 12,25 % растений с беспанцирными семянками?

13. У сахарной свеклы устойчивость к церкоспорозу определяется доминантным аллелем А, восприимчивость – рецессивным аллелем а.

На участке произрастает 1000 растений, из них 25 – восприимчивы к церкоспорозу.

1. Сколько растений (%) в данной панмиктической популяции поражено церкоспорозом?

2. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?

3. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?

4. Сколько растений (%) имеет генотип АА.

5. Сколько растений (%) имеет генотип Аа.

14. У гречихи ярко-красная окраска растений неполно доминирует над зеленой окраской. Гетерозиготные по данным генам растения имеют розовую окраску.

В панмиктической популяции, состоящей из 840 растений, содержалось 42 красных растения.

1. Сколько растений (%) имеет красную окраску?

2. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?

3. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?

4. Сколько растений (%) является рецессивными гомозиготами?

5. Сколько растений (%) имеет красную окраску и генотип Аа?

15. У клевера красного позднеспелость доминирует над скороспелостью и наследуется моногенно.

При анализе популяции клевера было установлено, что из 300 растений 12 были скороспелыми (имели число междоузлий меньше семи).

1. Сколько растений (%) является позднеспелыми?

2. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?

3. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?

4. Сколько растений в данной популяции является доминантными гомозиготами?

5. Сколько растений в данной популяции является гетерозиготами?

16. У ржи желтая окраска зерновки доминирует над зеленой окраской.

При апробации ржи сорта Тулунская зеленозерная было установлено, что наряду с зеленозерными растениями, в ней содержатся желтозерные растения. Желтозерных растений было 9 %, остальные были зеленозерными.

1. Сколько растений (%) является рецессивными гомозиготами?

2. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?

3. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?

4. Сколько растений (%) является доминантными гомозиготами?

5. Сколько растений (%) является доминантными гомозиготами в панмиктической популяции сорта Саратовская крупнозерная, если при апробации установлено, что в посеве содержится 60 % желтозерных растений?

17. У кукурузы крахмалистый эндосперм является доминантным по отношению к восковидному эндосперму и наследуется моногенно.

При апробации гибридной популяции кукурузы было обнаружено 18 % растений с восковидным эндоспермом.

1. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
2. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений (%) является гетерозиготами?
4. Сколько растений (%) является доминантными гомозиготами?
5. При анализе растений другой популяции кукурузы обнаружено 25 % растений с восковидным эндоспермом. Сколько растений (%) имеют крахмалистый эндосперм и генотип Аа?

18. У флоксов белая окраска венчика является доминантной по отношению к кремовой окраске.

При апробации в панмиктической популяции флоксов было обнаружено 5 % растений с кремовой окраской.

1. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
2. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений (%) является доминантными гомозиготами?
4. Сколько растений (%) является гетерозиготами?
5. В другой панмиктической популяции содержится 91 % растений с белой окраской венчика. Сколько из них (%) является доминантными гомозиготами?

19. В панмиктической популяции капусты сорта Амагер встречаются растения с длинными черешками (более 15 см) – доминантный признак и короткими черешками (от 4 до 10 см) – рецессивный признак.

При апробации растений было установлено 16 % растений с короткими черешками.

1. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
2. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?
3. Сколько растений (%) является доминантными гомозиготами?
4. Сколько растений (%) является гетерозиготами?
5. В другой проанализированной популяции у сорта Амагер было обнаружено 6,3 % растений с короткими черешками. Сколько растений (%) является гетерозиготами?

20. У сахарной кукурузы Кубанская консервная 148 встречаются растения с белой окраской цветковых чешуй. Красная окраска цветковых чешуй является доминантным признаком.

При апробации посева сахарной кукурузы, состоящей из 1500 растений, установлено, что 1401 растение имело красную окраску цветковых чешуй, остальные растения – белую.

1. Сколько растений (%) имеет генотип аа?
2. Чему равна частота рецессивного аллеля в данной популяции?
3. Чему равна частота доминантного аллеля в данной популяции?

4. Сколько растений является гетерозиготами?
5. Сколько растений является доминантными гомозиготами?