

*Тема:*  
*«Генетика популяций»*

Задачи:

- Изучить генетические основы структуры и эволюции популяций.
- Научиться решать задачи, связанные с генофондом популяций.

# Характеристика популяции



*Популяция* — это совокупность особей одного вида, длительное время обитающих на определенной территории, свободно скрещивающихся друг с другом, имеющих общее происхождение, определенную генетическую структуру и в той или иной степени изолированных от других таких совокупностей особей данного вида.

Популяция не только единица вида, форма его существования, но и единица эволюции.

# Характеристика популяции



*Элементарный эволюционный материал* – мутации (?).

*Элементарная эволюционная единица* – популяция. (По Ламарку? По Дарвину?)

В основе микроэволюционных процессов, завершающихся видообразованием, лежат генетические преобразования в популяциях.

Изучением генетической структуры и динамики популяций занимается особый раздел генетики — *популяционная генетика*.



# Характеристика популяции



С генетической точки зрения, популяция является *открытой системой*, а *вид* — *закрытой*. В общей форме процесс видообразования сводится к преобразованию генетически открытой системы в генетически закрытую. Каждая популяция имеет определенный *генофонд* и *генетическую структуру*.

*Генофондом* популяции называют совокупность генотипов всех особей популяции.

Под *генетической структурой* популяции понимают соотношение в ней различных генотипов и аллелей.

## Характеристика популяции



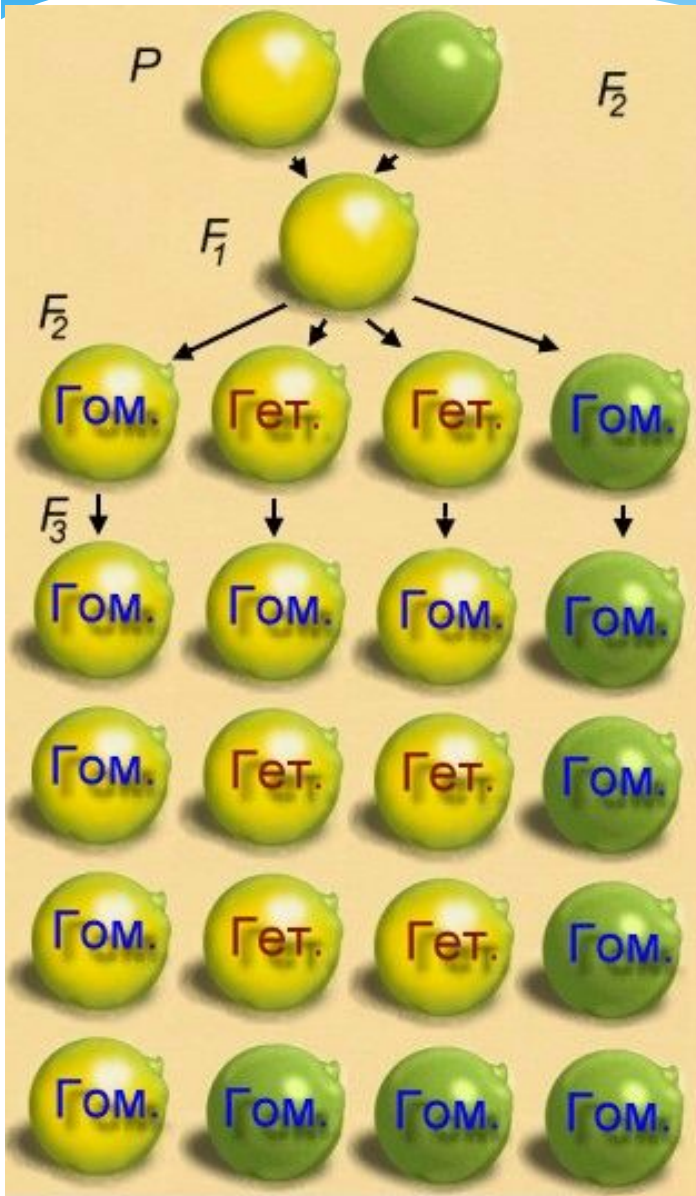
Одними из основных понятий популяционной генетики являются частота генотипа и частота аллеля. Под *частотой генотипа (или аллеля)* понимают его долю, отнесенную к общему количеству генотипов (или аллелей) в популяции.

Частота генотипа, или аллеля, выражается либо в процентах, либо в долях единицы.

Так, если ген имеет две аллельные формы и доля рецессивного аллеля **a** составляет  $\frac{3}{4}$  (или 75%), то доля доминантного аллеля **A** будет равна  $\frac{1}{4}$  (или 25%) общего числа аллелей данного гена в популяции.



# Характеристика популяции

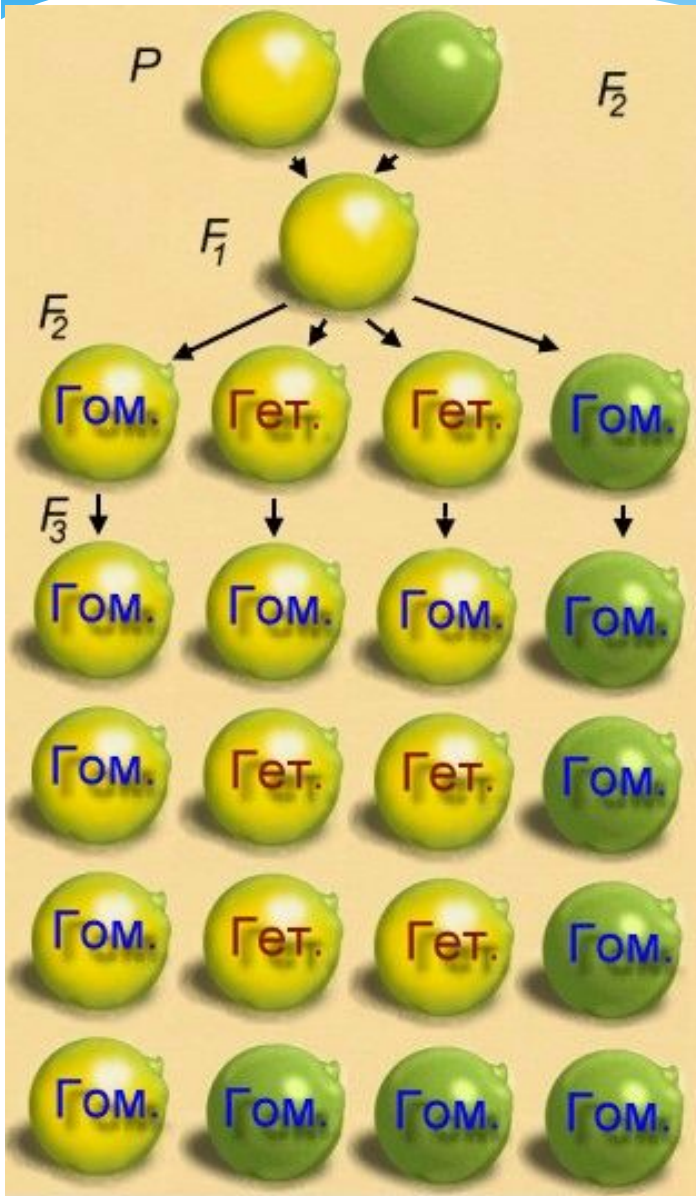


Популяции самоопыляющихся и перекрестноопыляющихся растений существенно отличаются друг от друга.

Впервые исследование генетической структуры популяции было предпринято В. Иоганнсенем в 1903 г. В качестве объектов исследования были выбраны популяции самоопыляющихся растений.

Исследуя в течение нескольких поколений массу семян у фасоли, он обнаружил, что у самоопылителей популяция состоит из генотипически разнородных групп, так называемых *чистых линий*, представленных гомозиготными особями.

# Характеристика популяции



Причем из поколения в поколение в такой популяции сохраняется равное соотношение гомозиготных доминантных и гомозиготных рецессивных генотипов.

Их частота в каждом поколении увеличивается, в то время как частота гетерозиготных генотипов будет уменьшаться.

Таким образом, в популяциях самоопыляющихся растений наблюдается процесс гомозиготизации, или разложения на линии с различными генотипами.

# Закон Харди-Вайнберга

Фенотипы первого поколения	Доминантный	×	Доминантный
Генотипы первого поколения	$Aa$	×	$Aa$
Случайное оплодотворение	Гаметы	$A$ ( $p$ )	$a$ ( $q$ )
	$A$ ( $p$ )	$AA$ ( $p^2$ )	$Aa$ ( $pq$ )
	$a$ ( $q$ )	$Aa$ ( $pq$ )	$aa$ ( $q^2$ )
Генотипы второго поколения	$AA$ ( $p^2$ )	$2Aa$ ( $2pq$ )	$aa$ ( $q^2$ )
Фенотипы второго поколения	Доминантные гомозиготы	Доминантные гетерозиготы	Рецессивные гомозиготы

Большинство растений и животных в популяциях размножаются половым путем при свободном скрещивании, обеспечивающем равновероятную встречаемость гамет. Равновероятную встречаемость гамет при свободном скрещивании называют *панмиксией*, а такую популяцию — *панмиктической*.

В 1908 г. английский математик Г.Харди и немецкий врач Н.Вайнберг независимо друг от друга сформулировали закон, которому подчиняется распределение гомозигот и гетерозигот в панмиктической популяции, и выразили его в виде алгебраической формулы.



# Закон Харди-Вайнберга

Фенотипы первого поколения	Доминантный	×	Доминантный
Генотипы первого поколения	Aa	×	Aa
Случайное оплодотворение	Гаметы	A (p)	a (q)
	A (p)	AA (p <sup>2</sup> )	Aa (pq)
	a (q)	Aa (pq)	aa (q <sup>2</sup> )
Генотипы второго поколения	AA (p <sup>2</sup> )	2Aa (2pq)	aa (q <sup>2</sup> )
Фенотипы второго поколения	Доминантные гомозиготы	Доминантные гетерозиготы	Рецессивные гомозиготы

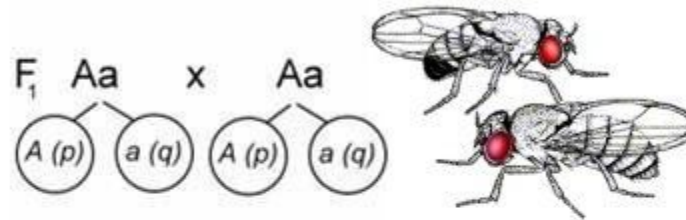
Частоту встречаемости гамет с доминантным аллелем **A** обозначают **p**, а частоту встречаемости гамет с рецессивным аллелем **a** — **q**. Частоты этих аллелей в популяции выражаются формулой **p + q = 1** (или 100%). Поскольку в панмиктической популяции встречаемость гамет равновероятна, можно определить и частоты генотипов.

Харди и Вайнберг, суммируя данные о частоте генотипов, образующихся в результате равновероятной встречаемости гамет, вывели формулу частоты генотипов в панмиктической популяции:

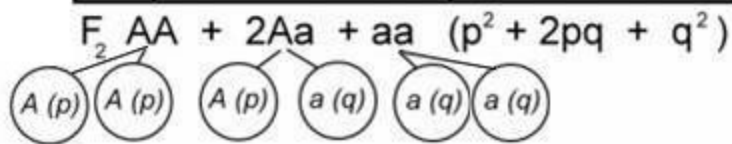
$$AA + 2Aa + aa = 1$$

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

# Закон Харди-Вайнберга



	A (p)	a (q)
A (p)	 AA (p <sup>2</sup> )	 Aa (pq)
a (q)	 Aa (pq)	 aa (q <sup>2</sup> )



Пользуясь этими формулами, можно рассчитать частоты аллелей и генотипов в конкретной панмиктической популяции.

Однако действие этого закона выполняется при соблюдении следующих условий:

1. Неограниченно большая численность популяции, обеспечивающая свободное скрещивание особей друг с другом;
2. Все генотипы одинаково жизнеспособны, плодовиты и не подвергаются отбору;
3. Прямые и обратные мутации возникают с одинаковой частотой или настолько редко, что ими можно пренебречь;
4. Отток или приток новых генотипов в популяцию отсутствует.





# Закон Харди-Вайнберга



Больные **фенилкетонурией** имеют генотип  $q^2(aa) = 0,0001$ .

Отсюда  $q = 0,01$ .

$p = 1 - 0,01 = 0,99$ .

Частота встречаемости гетерозигот равна  $2pq$ , равна

$2 \times 0,99 \times 0,01 \approx 0,02$  или  $\approx 2\%$ .

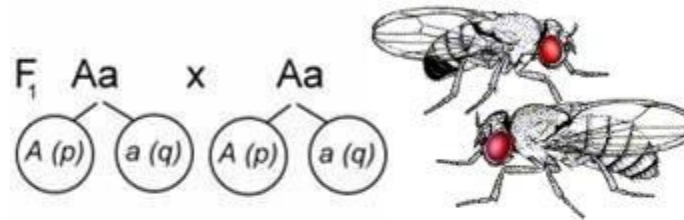
Частота встречаемости гомозигот по доминантному и рецессивному признакам:

$AA = p^2 = 0,99^2 = 0,9801 \approx 98\%$ ,

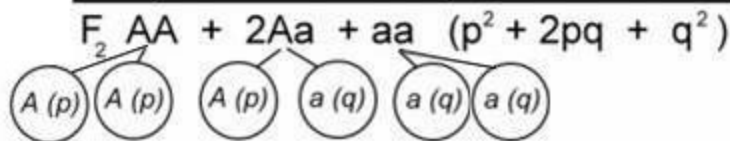
$aa = q^2 = 0,01^2 = 0,0001 = 0,01\%$ .

# Закон Харди-Вайнберга

Факторы, изменяющие генетическую структуру популяции:



	A (p)	a (q)
A (p)	 AA (p <sup>2</sup> )	 Aa (pq)
a (q)	 Aa (pq)	 aa (q <sup>2</sup> )



Изменение равновесия генотипов и аллелей в панмиктической популяции происходит под влиянием постоянно действующих факторов, к которым относятся:

1. Мутационный процесс;
2. Популяционные волны;
3. Изоляция;
4. Естественный отбор;
5. Дрейф генов и другие.

Именно благодаря этим явлениям возникает **элементарное эволюционное явление** — изменение генетического состава популяции, являющееся начальным этапом процесса видообразования.

# Закон Харди-Вайнберга

Фенотипы первого поколения	Доминантный	×	Доминантный
Генотипы первого поколения	Aa	×	Aa
Случайное оплодотворение	Гаметы	1/4 A (p)	3/4 a (q)
	1/4 A (p)	1/16 AA (p <sup>2</sup> )	3/16 Aa (pq)
	3/4 a (q)	3/16 Aa (pq)	9/16 aa (q <sup>2</sup> )
Генотипы второго поколения	1/16 AA (p <sup>2</sup> )	6/16 Aa (2pq)	9/16 aa (q <sup>2</sup> )
Фенотипы второго поколения	Доминантные гомозиготы	Доминантные гетерозиготы	Рецессивные гомозиготы

Задача:

Ген в популяции имеет две аллельные формы и доля рецессивного аллеля **a** составляет  $\frac{3}{4}$  (или 75%).

Какова частота встречаемости каждого генотипа в данной популяции?



## Подведем итоги:

Популяция:

*Популяция* — это совокупность особей одного вида, длительное время обитающих на определенной территории, свободно скрещивающихся друг с другом, имеющих общее происхождение, определенную генетическую структуру и в той или иной степени изолированных от других таких совокупностей особей данного вида.

Генофонд популяции:

*Генофондом* популяции называют совокупность генотипов всех особей популяции.

Элементарный эволюционный материал:

*Мутации.*

Элементарная эволюционная единица:

*Популяция.*

Элементарное эволюционное явление:

*Изменение генофонда популяции.*

Генетическая структура популяции:

*Под генетической структурой популяции понимают соотношение в ней различных генотипов и аллелей.*

Идеальная популяция:

Популяция, в которой выполняются 4 условия:

1. Неограниченно большая численность популяции, обеспечивающая свободное скрещивание особей друг с другом;
2. Нет мутаций, или прямые и обратные мутации возникают с одинаковой частотой или настолько редко, что ими можно пренебречь;
3. Нет миграций, или отток или приток новых генотипов в популяцию отсутствует.
4. Нет отбора;

## *Подведем итоги:*

Почему популяция – открытая структура, а вид – закрытая?

*Скрещивание между особями разных популяций возможно, между особями разных видов - нет.*

Почему закон Харди-Вайнберга не применим для гороха?

*Горох – самоопылитель. В популяциях самоопыляющихся растений наблюдается процесс гомозиготизации, или разложения на линии с различными генотипами.*

Какая популяция называется панмиктической?

*Популяция, в которой обеспечивается равновероятная встречаемость гамет при свободном скрещивании (панмиксия).*

# Закон Харди-Вайнберга

Задача:

На острове Умнак в 1824 г. добыто чернобурых – 40 лисиц (BB), сиводушек – 95 (Bb), красных лисиц 51 (bb). Определите частоты генотипов, частоты аллелей, сравните наблюдаемые соотношения с теоретическими.

Разделим численность особей с каждым генотипом на общую численность и получим следующие частоты генотипов:

$$BB: 40/186 = 0,215; Bb: 95/186 = 0,511; bb: 51/186 = 0,274.$$

Определим частоты аллелей. Поскольку каждая особь имела два аллеля (одинаковых или разных), то общее число аллелей равно удвоенному числу особей в выборке:

$$p(B) = (2BB + Bb)/2(BB + Bb + bb) = (2 \times 40 + 95)/2(40 + 95 + 51) = 0,470.$$
$$g = 1 - p = 0,530.$$

Ожидаемое соотношение генотипов должно быть:

$$BB = 0,470^2 = 0,221; Bb = 2 \times 0,470 \times 0,530 = 0,498 \text{ и } bb = 0,530^2 = 0,281.$$

Если мы умножим эти значения на число особей в выборке, мы получим, что при состоянии равновесия в популяции должны быть  $0,221 \times 186 = 41$  черных,  $0,498 \times 186 = 93$  сиводушек и  $0,281 \times 186 = 52$  красных лисицы.



# Закон Харди-Вайнберга

Задача:

На полуострове Нушагак в 1824 г. добыто чернобурых – 1 лисиц (BB), сиводушек – 7 (Bb), красных лисиц 121 (bb). Определите частоты генотипов, частоты аллелей, сравните наблюдаемые соотношения с теоретическими.

Разделим численность особей с каждым генотипом на общую численность (129) и получим следующие частоты генотипов:

$$BB: 1/129 = 0,0078; Bb: 7/129 = 0,054; bb: 121/129 = 0,938 .$$

Определим частоты аллелей. Поскольку каждая особь имела два аллеля (одинаковых или разных), то общее число аллелей равно удвоенному числу особей в выборке:

$$p(B) = (2BB + Bb)/2(BB + Bb + bb) = (2 \times 1 + 7)/2(1 + 7 + 121) = 0,0349.$$
$$g = 1 - p = 0,9651.$$

Ожидаемое соотношение генотипов должно быть:

$$BB = 0,0349^2 = 0,0012; Bb = 2 \times 0,0349 \times 0,9651 = 0,0674 \text{ и } bb = 0,9651^2 = 0,9314.$$

Если мы умножим эти значения на число особей в выборке, мы получим, что при состоянии равновесия в популяции должны быть  $0,0012 \times 129 = 0,15$  черных;  $0,0674 \times 129 = 9$  сиводушек и  $0,9314 \times 129 = 120$  красных лисицы.

# Закон Харди-Вайнберга

Задача:

На острове Умнак в 1824 г. жили 40 чернобурых лисиц (BB), 95 сиводушек (Bb), 51 красная лисица (bb). Предположим, что в результате эпидемии погибли красные лисицы. Определите частоты генотипов и частоты аллелей в оставшихся лисиц в этом и следующем поколении лисиц.

Разделим численность особей с каждым генотипом на общую численность и получим следующие частоты генотипов:

$$BB: 40/135 = 0,2963;$$

$$Bb: 95/135 = 0,7037.$$

Определим частоты аллелей. Поскольку каждая особь имела два аллеля (одинаковых или разных), то общее число аллелей равно удвоенному числу особей в выборке:

$$p(B) = (2BB + Bb)/2(BB + Bb) = (2 \times 40 + 95)/2(40 + 95) = 0,648.$$

$$g = 1 - p = 0,352.$$

В следующем поколении соотношение генотипов должно быть:

$$BB = 0,648^2 = 0,42;$$

$$Bb = 2 \times 0,648 \times 0,352 = 0,456;$$

$$bb = 0,352^2 = 0,124.$$

Установится новое равновесное состояние популяции.