

УДК 575.17

И. С. Дашкевич

О ВЫВОДЕ ФОРМУЛЫ ЗАКОНА ХАРДИ-ВАЙНБЕРГА ДЛЯ СЛУЧАЯ ГЕНОВ, СЦЕПЛЕННЫХ С ПОЛОМ

*В статье предлагаются рассуждения по вопросу распределения частот генотипических классов в панмиксической популяции при различиях по одной паре аллельных генов, сцепленных с полом (вывод формулы закона Харди-Вайнберга для случая сцепленной с полом наследственности). Формула может быть применена для прогнозирования фенотипического проявления признаков в последующих поколениях при условии жизнеспособности и способности к размножению гомозигот **AA**, **aa**, гетерозигот **Aa**.*

Ключевые слова: Панмиксическая популяция, закон Харди-Вайнберга, сцепленная с полом наследственность

Dashkevich Ivan Simeonovich. About making a formula of Hardy-Vainberg's law for a gene located in a sex chromosome.

*The given article suggests ideas about making a formula of Hardy-Vainberg's law for a gene located in a sex chromosome. The formula can be used for predicting appearance of signs in next generations on condition of their viability and ability to reproduce **AA**, **aa**, **Aa**.*

Keywords: A panmixed population, Hardy-Weinberg principle, sex determining mechanisms of heredity

Рассмотрим на конкретных примерах соотношение гамет в ряду поколений при различиях по одной паре аллельных генов, локализованных в половой X-хромосоме.

Допустим, что в популяции кошек 25% рыжих котов, 75% - чёрных (соотношение 1:3). Кошки, соответственно, чёрной, рыжей и черепаховой окраски (у кошек ген чёрной окраски, как и ген рыжей окраски, даёт неполное доминирование. При сочетании этих генов получается черепаховый окрас шерсти. Аллельные гены окраски шерсти сцеплены с полом и находятся в X-хромосоме).

Обозначим ген рыжей окраски шерсти – **A**, ген чёрной окраски – **a**. Учитывая, что генотип котов XY, естественно предположить, что в данной популяции соотношение мужских гамет будет следующим: 0,5Y:0,5X с геном

либо **A**, либо **a**. Поскольку чёрных котов в популяции в 3 раза больше, чем рыжих, то и мужских гамет с **a** будет больше в 3 раза гамет с **A**. Следовательно, мужские гаметы: 0,5у, 0,125A, 0,375a. Женских гамет с генами **A** и **a** будет в два раза больше, чем соответствующих мужских, поскольку женская особь имеет две X-хромосомы: 0,25A, 0,75a.

В следующем поколении (F₁) пойдёт расщепление (табл. 1):

Таблица 1

	♂	0,25A	0,75a
♀	0,125A	0,031AA	0,094Aa
	0,375a	0,094Aa	0,281aa
	0,5Y	0,125AY	0,375aY

То есть, в потомстве F₁ соотношение рыжих и чёрных котов (мужских особей) остаётся прежним 1:3, женские особи с рыжим, черным и черепаховым окрасом шерсти (AA – рыжие, aa – черные, Aa – черепаховые). Подсчёт гамет показывает, что и количественное их соотношение не изменится: женские гаметы – с геном **A** 0,062 (от AA)+0,188 (от Aa)=0,25; с геном **a** 0,562 (от aa)+0,188 (от Aa)=0,75; мужские гаметы – 0,125A, 0,375a, 0,5Y.

Следовательно, это соотношение должно оставаться постоянным в ряду поколений.

Рассмотрим ещё один пример. Представим искусственно образованную панмиксическую популяцию кур, состоящую из 20% птиц с жёлтой (золотистой) окраской оперения, 80% с серебристой. Исходные родительские особи гомозиготны по окраске оперения. Проследим установление равновесия гамет и их фенотипическое проявление в последующих поколениях. Известно, что ген серебристой окраски оперения – **A** доминирует над геном золотистой окраски – **a**; оба аллельных гена сцеплены с полом и локализованы X-хромосоме. У птиц имеет место мужская гомогаметность (XX) и женская гетерогаметность (XY).

Определяем генотипы родителей. Исходя из условий задачи и принятых обозначений: птицы с жёлтой окраской оперения – самцы **aa**, самки - **aY**; с серебристой окраской самцы **AA**, самки – **AY**. Особей с серебристой окраской оперения больше в четыре раза, чем с золотистой, следовательно, мужских гамет в популяции будет 0,8 A, 0,2a, соответственно женских гамет – 0,5Y, 0,1a, 0,4A. Потомство первого поколения (F₁) (табл. 2):

Таблица 2

	♂	0,2a	0,8A
♀	0,1a	0,02aa	0,08Aa
	0,4A	0,08Aa	0,32AA
	0,5Y	0,1aY	0,4Ay

Таким образом, соотношение женских особей останется прежним по окраске оперения 1:4 (0,1aY : 0,4AY), а петухов с золотистой окраской будет уже не в четыре раза меньше, чем с серебристой, а в 24 (0,02aa : 0,32AA + 0,16Aa).

Но соотношение гамет при дальнейшем размножении при условии свободного скрещивания останется таким же: особи женского пола из F₁ дадут гаметы 0,1a, 0,4A, 0,5Y; мужские особи образуют гамет с геном A – 0,8 (0,16 от Aa + 0,64 от AA), гамет с геном a – 0,2 (0,16 от Aa + 0,04 от aa). Следовательно, соотношение фенотипов в F₂ не изменится. Не трудно обнаружить проявление этого соотношения гамет и их фенотипических проявлений в последующих поколениях.

Представим отношения классов гамет в общей форме. Обозначим частоту доминантного гена **A** в популяции через **P**, а частоту рецессивного гена **a** через **q**. Поскольку каждый ген либо **A**, либо **a**, то в связи с их нахождением в половой X-хромосоме **P+q=1** для гомогаметных особей. Гетерогаметные особи несут одну X-хромосому, поэтому и частота встречаемости в гаметах генов **A** и **a** у них будет меньше в два раза, чем у гомогаметных (половина гамет имеет Y-хромосому): **0,5Y+0,5P+0,5q=1**. Поясним примером. Допустим, что популяция состоит из особей с генотипами AA, Aa, aa, AY, aY. Представим все возможные варианты скрещиваний и подсчитаем соотношение гамет с генами A и a у гомо- и гетерогаметных особей.

	♀		♂
Родители:	AY, AY, AY	x	AA, Aa, aa
	aY, aY, aY	x	AA, Aa, aa
гаметы	3A, 3a, 6Y		6A, 6a
соотношение гамет:	0,25A, 0,25a, 0,5Y;		0,5A, 0,5a.

Гомогаметные особи (в данном случае) дают гамет с геном **A** 50% (0,5), гамет с геном **a** – 50% (0,5). Гетерогаметные образуют таких гамет меньше в два раза, то есть по 0,25, а вторая половина половых клеток у них несёт Y-хромосому (0,5). Это соотношение гамет сохранится в последующих поколениях (табл. 3):

Таблица 3

Гетерогаметные особи	Гомогаметные особи	
	0,5A	0,5a
0,25A	0,125AA	0,125Aa
0,25a	0,125Aa	0,125aa
0,5Y	0,25AY	0,25aY

Заменяем цифровые значения количества классов гамет буквенным. **P** гамет с геном **A** и **q** гамет с геном **a** оплодотворяются **0,5P** гаметами с геном **A**, **0,5q** гаметами с геном **a**, 0,5 (50%) - гаметами с Y-хромосомой (табл. 4):

Таблица 4

Гетерогаметные особи	Гомогаметные особи	
	PA	qa
0,5PA	0,5P ² AA	0,5PqAa
0,5qa	0,5PqAa	0,5q ² aa
0,5Y	0,5PAY	0,5qaY

Суммируем полученные результаты.

Соотношение гомогаметных особей $0,5P^2AA : PqAa : 0,5q^2aa$, гетерогаметных – $0,5PAY : 0,5qaY$.

Таким образом, в потомстве будут следующие соотношения:

$$(P_A + q_a)(0,5P_A + 0,5q_a + 0,5Y) = 0,5P^2_{AA} + Pq_{Aa} + 0,5q^2_{aa} + 0,5P_{YA} + 0,5q_{Ya}$$

Отсюда следует, что:

а) при локализации гена в половой X-хромосоме, также как и при аутосомном наследовании, достигается равновесие Харди-Вайнберга;

б) частоты аллеля **a** в следующем поколении у гетерогаметных особей – $0,5q$, у гомогаметных = $0,5Pq + 0,5Pq + 0,5q^2 \cdot 2 = Pq + q^2 = q(P+q) = q$, так как $P+q=1$.

в) частоты аллеля **A** у гетерогаметных особей – $0,5P$, у гомогаметных – $2 \cdot 0,5P^2 + 0,5Pq + 0,5Pq = P^2 + Pq = P(P+q) = P \cdot 1 = P$

Рассмотренные случаи наследования в панмиксической популяции и установления генетического равновесия при аутосомном и сцепленным с полом наследовании соблюдаются при обязательном условии – одинаковой жизнеспособности и способности к размножению гомозигот AA, aa, гетерозигот Aa.

Литература

1. Фогель Ф., Мотульски А. Генетика человека: в 3 т. Т 2. / Ф. Фогель, А. Мотульски; пер. с англ. – М.: «Мир», 1990. – С. 279-280.
2. Дашкевич И.С. Генетика популяций. Закон Харди-Вайнберга: учебное пособие. / И.С. Дашкевич. – Биробиджан: Изд-во БГПИ, 1997. – 25 с.
3. Дашкевич И.С. Популяционная генетика: сборник задач. / И.С. Дашкевич. – Биробиджан: Изд-во БГПИ, 2004. – 95 с.
4. Дашкевич И.С. Распределение частот генотипических классов в панмиксической популяции при различиях по одной паре аллельных генов, сцепленных с полом при условии жизнеспособности рецессивных гомозигот / И.С. Дашкевич // Дальний Восток - территория, природа, люди: тезисы докладов региональной научно-практической конференции. – Биробиджан. 1997. - С. 7-17.