

Задача №6**Анализ полученного
генотипического расщепления**

Проведите генетический анализ результатов анализирующего скрещивания тригетерозиготы **AaBbCc**

P: **AaBbCc × aabbcc**

F₁: 126 **AaBbCc**
 10 **AaBbcc**
 64 **AabbCc**
 62 **Aabbcc**
 68 **aaBbCc**
 70 **aaBbcc**
 14 **aabbCc**
 133 **aabbcc**

$\Sigma = 547$

Решение

Поскольку родительская особь с генотипом **aabbcc** всегда будет давать гаметы **abc**, мы можем переписать генотипы **F₁** в гаплоидном виде:

126 **ABC**
 10 **ABc**
 64 **AbC**
 62 **Abc**
 68 **aBC**
 70 **aBc**
 14 **abC**
 133 **abc**

1. Проведем анализ сцепления генов **A** и **B**:

AB 136
Ab 126
aB 138
ab 147
 $\Sigma = 547$

В случае независимого наследования генов при анализирующем скрещивании мы всегда будем наблюдать равные доли всех генотипов. Это и будет нулевой гипотезой:

H₀: **1 : 1 : 1 : 1** (независимое наследование, нет сцепления)

Проверим гипотезу по методу χ^2 :

	H	O	$\frac{(H - O)^2}{O}$	χ^2
AB	136	136,75	0,004	1,628
Ab	126	136,75	0,845	
aB	138	136,75	0,011	
ab	147	136,75	0,768	

Полученный $\chi^2 < \chi^2_{кр}$, следовательно, гипотеза не отвергается, то есть гены наследуются независимо.

2. Проведем анализ сцепления генов **A** и **C**:

AC 190
Ac 72
aC 82
ac 203
 $\Sigma = 547$

H₀: **1 : 1 : 1 : 1** (независимое наследование, нет сцепления)

Проверим гипотезу по методу χ^2 :

	H	O	$\frac{(H - O)^2}{O}$	χ^2
AC	190	136,75	20,735	105,41
Ac	72	136,75	30,659	
aC	82	136,75	21,920	
ac	203	136,75	32,096	

Полученный $\chi^2 > \chi^2_{кр}$, следовательно, гипотеза отвергается, то есть гены наследуются сцепленно. Нам необходимо определить, какие из гамет были кроссоверными. Поскольку количество кроссоверных гамет всегда меньше количества некроссоверных, мы делаем вывод, что кроссоверными являются гаметы **Ac** и **aC**:

некроссоверные	{	AC 190	}	кроссоверные
		Ac 72		
		aC 82		
		ac 203		
		Σ = 547		

Генотип родительского организма:



Рассчитаем долю кроссоверных гамет по формуле

$$\%_{\text{кроссинговера}} = \frac{\sum_{\text{кроссоверных}} \times 100\%}{\Sigma}$$

В данном случае

$$\%_{\text{кроссинговера}} = \frac{(72 + 82) \times 100\%}{547} = 28,1\%$$

3. Аналогичным образом проанализируем наследование пары генов **B** и **C**:

	H	O	$\frac{(H - O)^2}{O}$	χ^2
BC	194	136,75	23,968	93,494
Bc	80	136,75	23,551	
bC	78	136,75	25,240	
bc	190	136,75	20,735	

$\chi^2 > \chi^2_{кр} \Rightarrow$ гены наследуются сцепленно

некроссоверные	{	BC 194	}	кроссоверные
		Bc 80		
		bC 78		
		bc 190		
		Σ = 547		



$$\%_{\text{кроссинговера}} = \frac{(80 + 78) \times 100\%}{547} = 28,9\%$$

4. Мы видим, что гены **A** и **B** сцеплены с геном **C**. Это значит, что гипотеза о независимом наследовании генов **A** и **B** была неверна, и они наследуются сцепленно. Это объясняется тем, что процент кроссинговера между генами **A** и **B** близок к 50%, что дает картину статистически неотличимую от независимого наследования.

Проведем анализ сцепленного наследования генов **A** и **B**:

некроссоверные	{	AB 136	}	кроссоверные
		Ab 126		
		aB 138		
		ab 147		
		Σ = 547		



$$\%_{\text{кроссинговера}} = \frac{(126 + 138) \times 100\%}{547} = 48,3\%$$

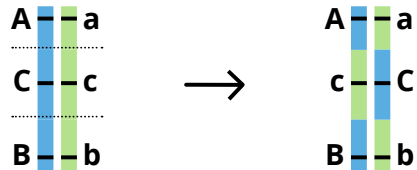
5. Теперь мы можем построить карту исследуемого участка хромосомы:



$$AB = AC + CB = 28,1 + 28,9 = 57\% \neq 48,3\%$$

Таким образом, согласно правилу аддитивности расстояние между генами **A** и **B** равно **57 cM**, но согласно экспериментальным данным мы видим иную картину – **48,3 cM**.

Такое расхождение объясняется процессом двойного кроссинговера, то есть ситуации, когда кроссинговер происходит как между генами **A** и **C**, так и между генами **C** и **B**:



Таким образом, гаметы **ABc** и **abC** были образованы в результате двойного кроссинговера.

ABC	126	} двойные кроссоверы
ABc	10	
AbC	64	
Abc	62	
aBC	68	
aBc	70	
abC	14	
abc	133	
<hr/>		
Σ	547	

Рассчитаем процент двойных кроссоверов:

$$\%_{\text{двойных кроссоверов}} = \frac{(10 + 14) \times 100\%}{547} = 4,4\%$$

Для того чтобы пересчитать расстояние между генами **A** и **B** с учетом двойных кроссоверов, необходимо сложить экспериментально полученную кроссоверов между генами **A** и **B** с удвоенной вероятностью двойного кроссинговера (поскольку кроссинговер происходит независимо в двух точках):

$$AB = 48,3\% + 2 \times 4,4\% = 57\%,$$

что соответствует расчетам, полученным по правилу аддитивности.

6. При сцеплении генов мы можем наблюдать явление ДНК-интерференции – изменение вероятности прохождения одного кроссинговера при прохождении другого.

Степень ДНК-интерференции оценивается с помощью коэффициента коинденции **C**.

Если **C < 1** – то ДНК-интерференция положительная, то есть вероятность прохождения одного кроссинговера уменьшает вероятность прохождения другого.

Если **C > 1**, то мы наблюдаем отрицательную ДНК-интерференцию, то есть прохождение одного кроссинговера увеличивает вероятность прохождения второго кроссинговера в соседней точке.

Если **C = 1**, ДНК-интерференция не наблюдается.

Коэффициент коинциденции – это соотношение теоретической вероятности прохождения кроссинговера с наблюдаемой в эксперименте:

$$C = \frac{\%_{\text{двойных кроссоверов в опыте}}}{\%_{\text{теоретически ожидаемых двойных кроссоверов}}}$$

Для расчета ожидаемых двойных кроссоверов, нам надо перемножить вероятность кроссинговера между соответствующими парами генов. В нашем случае:

$$\begin{aligned} \%_{\text{ожидаемых двойных кроссоверов}} &= \\ &= \%_{\text{кроссоверов AC}} \times \%_{\text{кроссоверов CB}} = \\ &= (0,281 \times 0,289) \times 100\% = 8,1\% \end{aligned}$$

$$C = \frac{4,4\%}{8,1\%} = 0,54$$

Таким образом, **C < 1**, а значит мы наблюдаем положительную ДНК-интерференцию.

Задача №7

Анализ полученного фенотипического расщепления

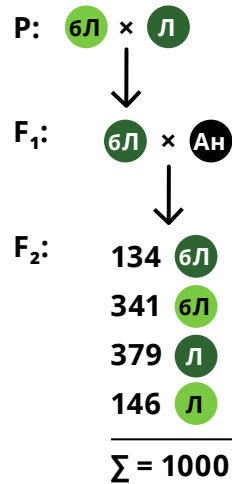
При скрещивании растений кукурузы, имеющей зеленые листья без лигулы (бл), с растениями, имеющими темно-зеленые листья с лигулой (л), в F₁ получили растения с темно-зелеными листьями без лигул (бл). Растения в F₁ скрестили с анализатором (ан). Результаты этого анализирующего скрещивания представлены ниже:

- 134 темно-зеленые листья без лигулы (бл)
 - 341 зеленые листья без лигулы (бл)
 - 379 темно-зеленые листья с лигулой (л)
 - 146 зеленые листья с лигулой (л)
-
- $\Sigma = 1000$

Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных растений, растений в F₁ и анализатора.

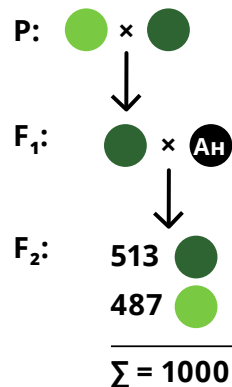
Решение

1. Запишем схему скрещивания в фенотипах согласно условию задачи:



В данной задаче мы рассматриваем наследование двух признаков. Это значит, что нам необходимо рассмотреть каждый из них по отдельности.

2. Рассмотрим признак цвета листьев:



Поскольку во втором поколении мы видим 2 фенотипа, мы можем предположить моногенное отличие родительских форм.

В первом поколении мы видим единообразие, все гибриды похожи на одного из родителей — следовательно, мы можем предположить полное доминирование, темно-зеленый цвет листьев доминирует над зеленым. Таким образом анализатор (рецессивная гомозигота) имеет зеленую окраску. В F₂ мы ожидаем получить расщепление 1 : 1. Проверим нашу гипотезу по критерию χ^2 :

$$1000 : 4 = 250$$

$$513 : 250 \approx 2$$

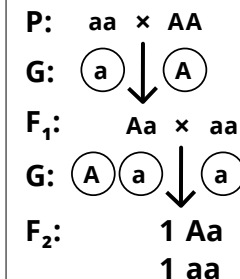
$$487 : 250 \approx 2$$

H₀: 1 : 1

	H	O	$\frac{(H - O)^2}{O}$	χ^2
(темно-зел)	513	500	0,338	0,676
(зел)	487	500	0,338	

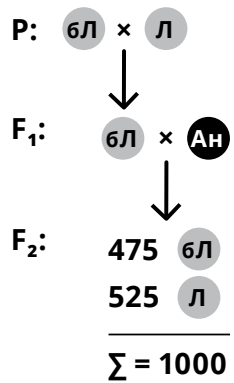
$\chi^2 < \chi_{кр}^2 \Rightarrow$ гипотеза не отвергается

Составим схему скрещивания и решетку Пеннета:



	a
A	Aa
a	aa

3. Рассмотрим признак наличия лигулы:



Аналогично, мы можем предположить моногенное отличие родительских форм и полное доминирование. В F₁ мы наблюдаем листья без лигул, следовательно, отсутствие лигулы является доминантным признаком, анализатор имел листья с лигулами.

Проверим эти предположения:

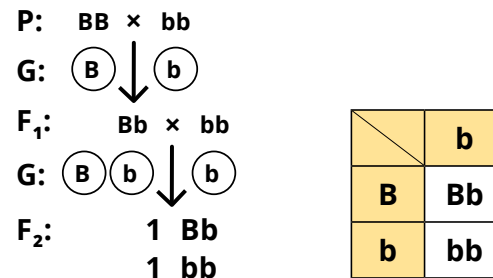
$1000 : 4 = 250$
 $475 : 250 \approx 2$
 $525 : 250 \approx 2$

H₀: 1 : 1

	Н	О	$\frac{(H - O)^2}{O}$	χ ²
бЛ	475	500	1,250	
Л	525	500	1,250	2,500

χ² < χ²_{кр} ⇒ гипотеза не отвергается

Составим схему скрещивания и решетку Пеннета:



4. Проверим характер сцепления этих генов. В случае, если гены окраски листьев и наличия лигул не сцеплены, мы ожидаем получить расщепление 1 : 1 : 1 : 1. Проверим гипотезу по критерию χ²:

H₀: 1 : 1 : 1 : 1

	Н	О	$\frac{(H - O)^2}{O}$	χ ²
бЛ	134	250	53,824	
бл	341	250	33,124	
Л	379	250	66,564	
л	146	250	43,264	196,776

χ² > χ²_{кр} ⇒ гипотеза отвергается

⇒ гены А и В сцеплены

Полученный χ² > χ²_{кр}, что свидетельствует о том, что наша гипотеза оказалась неверна, то есть гены наследуются сцеплено, но между ними происходит кроссинговер, что приводит к формированию 4 фенотипических классов.

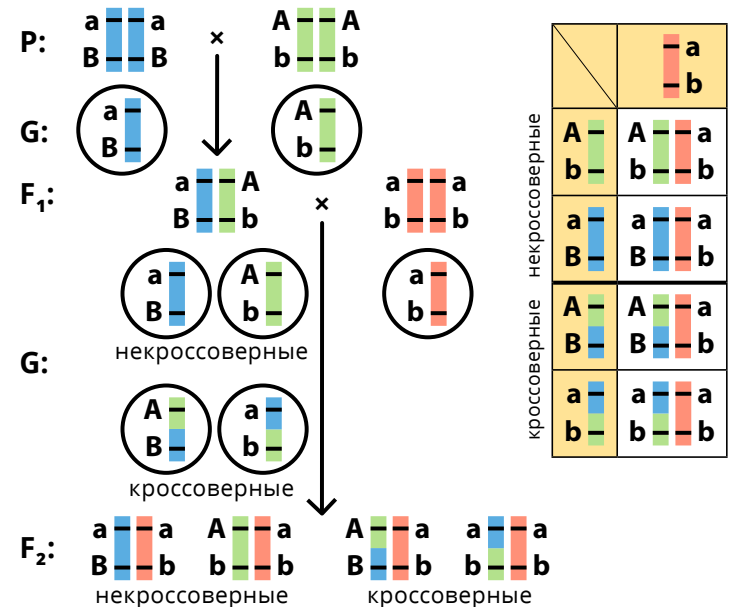
кроссоверные особи	134	AaBb] некрсоверные особи	
	379	Aabb		
	341	aaBb		
	146	aabb		
		Σ = 1000		

Рассчитаем процент кроссинговера:

%_{кроссинговера} = $\frac{(134 + 146) \times 100\%}{1000} = 28\%$

Таким образом, расстояние между генами равно 28 сМ.

Составим схему скрещивания и решетку Пеннета:



Вывод:

Признаки наследуются по принципу полного доминирования, гены локализованы в одной хромосоме. Наблюдается неполное сцепление, расстояние между генами – 28 сМ

Генотипы родителей – AAbb и aaBB.

Генотип гибридов F₁ - AaBb

Анализатор имел зеленые листья с лигулой (aabb)

Задача №8**Анализ потомства при скрещивании особей первого поколения между собой**

Гомозиготное стелющееся растение гороха с окрашенными цветками (С) скрещивается с гомозиготным кустистым растением с белыми цветками (К). В F₂ получилось следующее расщепление:

20 стелющихся с белыми цветками (С)
 128 стелющихся с окрашенными цветками (С)
 30 кустистых с белыми цветками (К)
 22 кустистых с окрашенными цветками (К)

$\Sigma = 200$

Объясните результаты скрещиваний, определите генотипы исходных растений, генотип и фенотип растений F₁.

Решение

1. Запишем схему скрещивания в фенотипах согласно условию задачи. Так как мы не знаем какой фенотип у первого поколения, то запишем на его месте знак вопроса

P: (С) × (К)
 ↓
 F₁: ?
 ↓
 F₂: 20 (С)
 128 (С)
 30 (К)
 22 (К)
 —————
 $\Sigma = 200$

2. Проанализируем признак формы побега:

P: (С) × (К)
 ↓
 F₁: ?
 ↓
 F₂: 148 (С)
 52 (К)
 —————
 $\Sigma = 200$

Предположим моногенное отличие родительских форм.

Мы наблюдаем расщепление, похожее на **3 : 1**:

200 : 4 = 50
 148 : 50 ≈ 3
 52 : 50 ≈ 1

H₀: 3 : 1

Проверим это предположение по критерию χ^2 :

	Н	О	$\frac{(H - O)^2}{O}$	χ^2
С	148	150	0,027	0,107
К	52	50	0,080	

$\chi^2 < \chi^2_{кр} \Rightarrow$ гипотеза не отвергается.

Тип наследования: полное доминирование

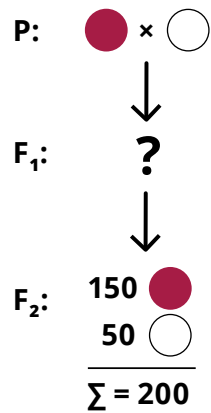
A₋ — стелющиеся aa — кустистые

Запишем схему скрещивания в генотипах и решетку Пеннета:

P: AA × aa
 G: (A) ↓ (a)
 F₁: Aa
 G: (A) ↓ (a)
 F₂: 3 A₋
 1 aa

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Проанализируем признак окраски цветков:



Предположим моногенное отличие родительских форм.

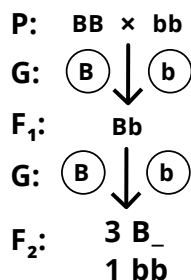
Мы наблюдаем расщепление **3 : 1**, причем наблюдаемое расщепление соответствует ожидаемому, а значит проверять его статистически нет необходимости.

$200 : 4 = 50$
 $150 : 50 = 3$
 $50 : 50 = 1$

Тип наследования: полное доминирование

B₋ — окрашенные **bb** — белые

Запишем схему скрещивания в генотипах и решетку Пеннета:



	B	b
B	BB	Bb
b	Bb	bb

4. Проведем анализ сцепления генов.

Перемножим вероятности появления разных генотипов и выдвинем нулевую гипотезу:

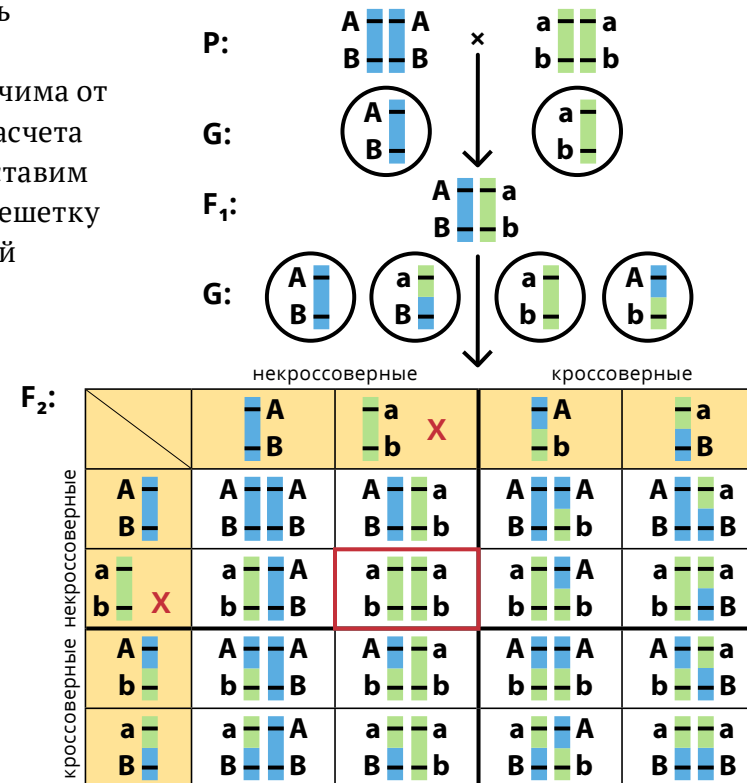
$(\frac{3}{4} A_- + \frac{1}{4} aa) \times (\frac{3}{4} B_- + \frac{1}{4} bb) = \frac{9}{16} A_- B_- + \frac{3}{4} A_- bb + \frac{3}{4} aa B_- + \frac{1}{4} aabb$

H₀: 9 : 3 : 3 : 1 200 : 16 = 12,5

	H	O	$\frac{(H - O)^2}{O}$	χ^2
С	20	37,5	8,167	
С	128	112,5	2,136	
К	30	12,5	24,500	
К	22	37,5	6,407	41,21

$\chi^2 > \chi^2_{кр} \Rightarrow$ гипотеза отвергается \Rightarrow гены сцеплены

5. В данной задаче часть кроссоверных особей фенотипически неотличима от некроссоверных. Для расчета доли кроссинговера составим схему скрещивания и решетку Пеннета, отметив на ней кроссоверные гаметы.



Мы видим, что генотип **aabb** появляется в единственном случае, при слиянии двух некроссоверных гамет. Эти растения имеют белые цветы и кустистую форму побега, и мы можем рассчитать долю таких особей:

$$\text{Доля } \mathbf{aabb} \text{ (К)}: \frac{30}{200} = 0,15$$

Частота встречаемости таких особей в потомстве равна произведению частоты встречаемости гамет, ее образующих. Обозначим вероятность образования гаметы **ab** как **X**. Тогда доля генотипа **aabb** будет равна **X²**. Следовательно, доля гамет **ab** будет равна квадратному корню из доли генотипа **aabb**:

$$\text{Доля гамет } \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{a} \\ \hline \mathbf{b} \\ \hline \end{array} = \sqrt{0,15} = 0,387 = 38,7\%$$

Доля других некроссоверных гамет, **AB**, будет равна доле гамет **ab**:

$$\begin{array}{|c|} \hline \mathbf{A} \\ \hline \mathbf{B} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{a} \\ \hline \mathbf{b} \\ \hline \end{array} = 38,7\%$$

Поскольку в сумме все гаметы дают 100%, мы можем рассчитать и доли кроссоверных гамет:

$$\begin{array}{|c|} \hline \mathbf{A} \\ \hline \mathbf{B} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{a} \\ \hline \mathbf{b} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{A} \\ \hline \mathbf{b} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{a} \\ \hline \mathbf{B} \\ \hline \end{array} = 100\%$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \mathbf{A} \\ \hline \mathbf{b} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{a} \\ \hline \mathbf{B} \\ \hline \end{array} = 100\% - (38,7\% \times 2) = 22,6\%$$

Следовательно, доля кроссинговера между генами **A** и **B** равна 22,6%.

Выводы:

Признаки наследуются по принципу полного доминирования, наблюдается неполное сцепление. Расстояние между генами **22,6 сМ**.

Генотипы исходных растений – **AABB** и **aabb**.

В **F₁** наблюдались стелющиеся растения с окрашенными цветами (**AaBb**).

Задача №9

Прогноз потомства исходя из данных о родителях

У душистого горошка наличие усов доминирует над отсутствием, яркая окраска цветов – над бледной. Гены, контролирующие эти признаки, локализованы в одной хромосоме, расстояние между ними – **12%** кроссинговера.

Какой фенотип и генотип будут иметь растения в **F₁** от скрещивания гомозиготных растений с усам и бледной окраской цветков **у** с растениями без усов и яркими цветками **6у**? Какое расщепление по фенотипу вы ожидаете получить в **F₂** этого скрещивания.

Решение

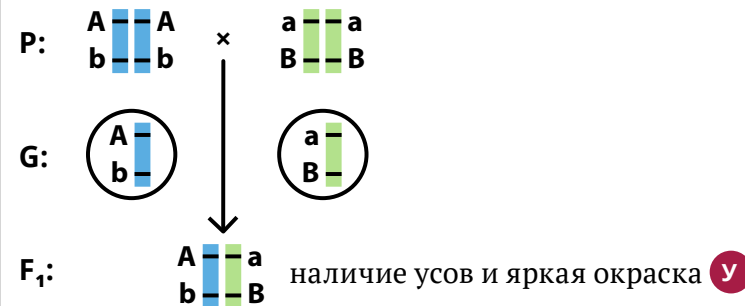
1. Запишем данные, известные нам из условия задачи и составим схему скрещивания. Спрогнозируем потомство первого поколения:

A₋ – наличие усов

aa – отсутствие усов

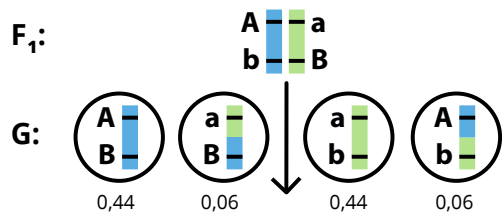
B₋ – яркая окраска

bb – бледная окраска



2. Для прогнозирования потомства второго поколения, нам необходимо выяснить, какие гаметы будут давать гибриды F_1 . Поскольку гены находятся в одной хромосоме, мы будем наблюдать два типа некрrossoverных гамет (**AB** и **ab**) и два типа кrossoverных гамет (**Ab** и **aB**). Суммарная доля кrossoverных гамет равна расстоянию между генами **A** и **B**, то есть 12%. Таким образом, доля каждого из типов кrossoverных гамет равна половине этого значения, то есть 6%. Доля некрrossoverных гамет, соответственно, равна $100\% - 12\% = 88\%$,

то есть доля каждого типа некрrossoverных гамет равна 44%. Для удобства расчетов запишем эти значения в виде десятичных чисел:



3. Для расчета доли каждого из генотипов, нам необходимо перемножить доли гамет их образующих. Для этого составим решетку Пеннета:

F_2 :

	0,44	0,44	0,06	0,06
	$\frac{A}{B}$	$\frac{a}{b}$	$\frac{A}{b}$	$\frac{a}{B}$
0,44	$\frac{A}{B} \frac{A}{B} y$ 0,1936	$\frac{A}{B} \frac{a}{b} y$ 0,1936	$\frac{A}{B} \frac{A}{b} y$ 0,0264	$\frac{A}{B} \frac{a}{B} y$ 0,0264
0,44	$\frac{a}{b} \frac{A}{B} y$ 0,1936	$\frac{a}{b} \frac{a}{b} 6y$ 0,1936	$\frac{a}{b} \frac{A}{b} y$ 0,0264	$\frac{a}{b} \frac{a}{B} 6y$ 0,0264
0,06	$\frac{A}{b} \frac{A}{B} y$ 0,0264	$\frac{A}{b} \frac{a}{b} y$ 0,0264	$\frac{A}{b} \frac{A}{b} y$ 0,0036	$\frac{A}{b} \frac{a}{B} y$ 0,0036
0,06	$\frac{a}{B} \frac{A}{B} y$ 0,0264	$\frac{a}{B} \frac{a}{b} 6y$ 0,0264	$\frac{a}{B} \frac{A}{b} y$ 0,0036	$\frac{a}{B} \frac{a}{B} 6y$ 0,0036

Рассчитаем доли различных фенотипических классов:

$$y = 0,1936 \times 2 + 0,0264 \times 4 + 0,0036 \times 3 = 0,5036 = 50,36\%$$

$$y = 0,1936 + 0,0264 \times 2 = 0,2464 = 24,64\%$$

$$6y = 0,1936 + 0,0264 \times 2 = 0,2464 = 24,64\%$$

$$6y = 0,0036 = 0,36\%$$

Выводы:

В F_1 будут наблюдаться растения с усами и яркой окраской

В F_2 будут наблюдаться 4 фенотипических класса в следующем соотношении:

y яркая окраска, наличие усов — 50,36%,

y бледная окраска, наличие усов — 24,64%,

$6y$ яркая окраска, отсутствие усов — 24,64%,

$6y$ бледная окраска, отсутствие усов — 0,36%.