

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К. А. Тимирязева

Кафедра ботаники, селекции и семеноводства садовых растений

А.А. Миронов, А.В. Вишнякова, С.Г. Монахос, А.В. Воронина

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ
СБОРНИК ЗАДАЧ С ПРИМЕРАМИ РЕШЕНИЙ

Учебное пособие

2-е издание, переработанное и дополненное

Москва
Грифон
2023

УДК 575.1(07)

ББК 41.3я7

Г 34

Все права защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части любыми средствами и в какой-либо форме, в том числе в сети Интернет, запрещается без письменного разрешения владельца авторских прав.

Рецензент

Вертикова Елена Александровна, д.с.-х.н., заведующая кафедрой генетики, селекции и семеноводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева

Г 34 Генетические задачи. Сборник задач с примерами их решений: учебное пособие: 2-е издание, переработанное и дополненное / Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева. Кафедра ботаники, селекции и семеноводства садовых растений; сост.: А.А. Миронов, А.В. Вишнякова, С.Г. Монахос, А.В. Воронина. – М.: Грифон, 2023. – 74 с.

В пособии кратко изложен теоретический материал, необходимый для решения задач по генетике и селекции растений. Приведены примеры решения и оформления генетических и селекционных задач, а также задачи для самостоятельного решения студентами.

Пособие адресовано студентам, обучающимся по направлению бакалавриата 35.03.05 «Садоводство», направленность «Селекция, генетика и биотехнология садовых культур»; магистратуры 35.04.05 «Садоводство», направленность «Биотехнология и селекция растений» ФГОС ВО, аспирантов и всем интересующимся селекцией и генетикой растений.

ISBN 978-5-98862-797-5

УДК 575.1(07)

ББК 41.3я7

© Коллектив авторов, 2023
© А.А. Миронов, сост., 2023

СБОРНИК ЗАДАЧ С ПРИМЕРАМИ РЕШЕНИЙ

СОДЕРЖАНИЕ

1. Решение и оформление генетических задач.....	4
2. Особенности наследования признаков.	8
3. Задачи по генетике с примерами решения	13
Моногибридное скрещивание.....	13
Дигибридное и полигибридное скрещивание.	23
Взаимодействие неаллельных генов	28
Комплементарность	29
Полимерное действие генов.....	34
Эпистаз	36
Сцепленное наследование генов	39
Наследование генов сцепленных с полом	42
4. Спорофитная самонесовместимость. Решение задач на определения типа взаимодействия S-аллелей.....	45
5. Инбридинг. Определение уровня инбридинга.	58
6. Гетерозис. Расчет истинного и конкурсного гетерозиса	61
7. Комбинационная способность. Определение общей комбинационной способности	65

1. Решение и оформление генетических задач.

В задачах по генетике следует придерживаться общепринятой символики:

Таблица обозначений

Знак скрещивания	×
Материнский организм	♀
Отцовский организм	♂
Родительские организмы	P
Гибридное потомство	F
Доминантный ген	A или B
Рецессивный ген	a или b
Гомозигота	AA или aa
Гетерозигота	Aa
Гамета	(A) или (AB)

F_1 AaBb, Aabb, aaBb, aabb

При записи схемы скрещиваний всегда на первое место ставится **генотип** материнского организма (♀ - символом планеты Венера), а второе – генотип отцовского организма (♂ - символом планеты Марс) (знаки ♀ и ♂ можно не записывать). **Родительские организмы**, взятые для скрещивания, обозначаются латинской буквой P (parenta – родители). В результате скрещивания родительских особей получается потомство **гибридов**, а совокупность гибридов называют гибридным поколением. Гибридное потомство обозначается латинской буквой F (filii – дети) с цифровым индексом, соответствующим порядковому номеру данного поколения: $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$.

Гены, обуславливающие развитие того или иного признака, принято обозначать буквами латинского алфавита. **Доминантные гены** обозначаются заглавными буквами (A, B, C), **рецессивные** – строчными (a, b, c). Для упрощения записи чаще используют первые буквы алфавита для обозначения генов (A, B, C, D и т.д.), но не стоит забывать что для каждой культуры есть общепринятое (международное) обозначение. Доминантный ген желтой окраски гороха можно обозначить – A, рецессивный ген зеленой окраски – a. У каждого организма гены находятся в диплоидном составе: один он

получает с **гаметой** от отца, другой – от матери. Каждый ген из пары называют **аллелем**. Неаллельные гены обуславливают разные признаки (например, окраска семян и форма семян). **Неаллельные гены** обозначают разными буквами алфавита (например, А и С). В гамете всегда находится один из каждой пары аллельных генов. Принято гаметы обозначать кружком, внутрь которого вписывают соответствующие буквенные обозначения генов: \textcircled{A} , \textcircled{a} , \textcircled{AB} . При написании генотипов, традиционно, доминантный аллель каждого гена пишут на первом месте, а рецессивный на втором. Генотип можно записывать как в генном (AA, aa, Aa, AaBb), так и хромосомном выражении: $\frac{A}{A} \cdot \frac{a}{a}$, $\frac{A}{a} \cdot \frac{AB}{ab}$.

Моногибридным скрещиванием называют такое скрещивание, когда родительские особи отличаются одной парой альтернативных признаков. Г. Мендель установил, что при скрещивании гомозиготных организмов, отличающихся одной парой признаков, все потомство получится фенотипически однородным (закон единообразия гибридов первого поколения). При скрещивании желто окрашенных семян гороха (гомозиготного по данному признаку – AA) с зеленым горохом (гомозиготного – aa) всё потомство унаследовало фенотип первого родителя – желтая окраска, по генотипу все гибриды были гетерозиготными (Aa).

P	♀ AA	x	♂ aa
G	\textcircled{A}		\textcircled{a}
F ₁	Aa		

Далее было установлено, что при скрещивании F₁ гибридов между собой в следующем поколении происходит расщепление фенотипических признаков на исходные родительские, но в соотношении 3:1, где 75% потомства будут с признаками, обусловленными доминантным геном, а 25% - с признаками рецессивного гена (закон Г. Менделя о расщеплении):

P_{F_1} ♀ Aa x ♂ Aa
 G (A)a (A)a
 F_2 AA Aa Aa aa
 3 : 1

В генетике и селекции, часто применяют **анализирующее скрещивание** – скрещивание организма с гомозиготной рецессивной особью (по изучаемому гену.):

P ♀ Aa x ♂ aa
 G (A)a a
 F Aa aa
 1 : 1

Если в потомстве наблюдается расщепление на два фенотипических класса в соотношении 1:1, то это означает, что изучаемый организм обладал гетерозиготным состоянием гена. Если в потомстве расщепления нет и все особи имеют один фенотип – значит изучаемый генотип был гомозиготным по данному признаку.

Дигибридное и полигибридное скрещивание. Дигибридным называют такое скрещивание, при котором родители отличаются по двум парам альтернативных признаков.

В своих исследованиях Г. Мендель для дигибридного скрещивания подобрал гомозиготные растения гороха, различающиеся по окраске (желтая и зеленая) и форме (гладкая и морщинистая) семян. Данные признаки, находятся в разных парах гомологичных хромосом. При условии, что родительские формы были гомозиготными по двум парам признаков, то в потомстве F_2 расщепление будет идти в соотношении 9:3:3:1 (или $(3:1)^2$). То есть, расщепление по каждой паре признаков идет независимо от других пар признаков (закон независимого наследования признаков).

Записывать решение задач на дигибридное скрещивание легче, если использовать решетку Пеннета, которая составляется по числу возможных

вариантов гамет. При дигибридном скрещивании дигетерозигот она будет включать четыре типа мужских гамет (записываются по горизонтали) и четыре типа женских гамет (записываются по вертикали). Запись следует вести в строго определенном порядке:

P ♀ AABB x ♂ aabb

G $\begin{matrix} \textcircled{AB} & & \textcircled{ab} \end{matrix}$

F₁ AaBb

P_{F1} ♀ AaBb x ♂ AaBb

G $\begin{matrix} \textcircled{AB} & \textcircled{Ab} & \textcircled{aB} & \textcircled{ab} & & & \textcircled{AB} & \textcircled{Ab} & \textcircled{aB} & \textcircled{ab} \end{matrix}$

F₂ AABB, AABb, AaBB, AaBb, AAbb, Aabb, aaBB, aaBb, aabb

или используя решетку Пеннета:

♀ \ ♂	\textcircled{AB}	\textcircled{Ab}	\textcircled{aB}	\textcircled{ab}
\textcircled{AB}	AABB желтый гладкий	AABb желтый гладкий	AaBB желтый гладкий	AaBb желтый гладкий
\textcircled{Ab}	AABb желтый гладкий	AAbb желтый морщинистый	AaBb желтый гладкий	Aabb желтый морщинистый
\textcircled{aB}	AaBB желтый гладкий	AaBb желтый гладкий	aaBB зеленый гладкий	aaBb зеленый гладкий
\textcircled{ab}	AaBb желтый гладкий	Aabb желтый морщинистый	aaBb зеленый гладкий	aabb зеленый морщинистый

При анализе второго поколения видно, что образуется 9 генотипов: AABB, AABb, AaBB, AaBb, AAbb, Aabb, aaBB, aaBb, aabb и только 4 фенотипических класса: желтый гладкий, зеленый гладкий, желтый морщинистый, зеленый морщинистый.

С целью сокращения записи сходные фенотипы иногда обозначают **фенотипическим радикалом** – часть генотипа, которая определяет его фенотип. Для дигибридного скрещивания:

9 A_B_ : 3 A_bb : 3 aaB_ : 1 aabb

При решении задач на ди- и полигибридное скрещивание, в большинстве случаев, решетку Пеннета можно опустить. Важно помнить математические закономерности при различных типах скрещивания, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Количественные закономерности образования гамет и расщепления гибридов при разных типах скрещивания

Учитываемые факторы	Тип скрещивания			
	моногибридное	дигибридное	тригибридное	полигибридное
Число типов гамет, образуемых гибридом F1	2^1	2^2	2^3	2^n
Число зигот при образовании F2	4^1	4^2	4^3	4^n
Число фенотипов в F2	2^1	2^2	2^3	2^n
Число генотипов в F2	3^1	3^2	3^3	3^n
Расщепление по фенотипу	$(3+1)^1$	$(3+1)^2$	$(3+1)^3$	$(3+1)^n$
Расщепление по генотипу	$(1+2+1)^1$	$(1+2+1)^2$	$(1+2+1)^3$	$(1+2+1)^n$

2. Особенности наследования признаков.

Взаимодействие генов

Явление, когда за один признак отвечает несколько генов (аллелей), называют **взаимодействием генов**. Если это аллели одного и того же гена, то такие взаимодействия называют **аллельными**, в случае разных генов – **неаллельными**.

Типы взаимодействия аллельных генов

Выделяют следующие типы аллельных взаимодействий: **неполное доминирование**, **доминирование**, **сверхдоминирование** (более сильное проявление признака у гетерозиготной особи Aa, по сравнению с любой из гомозигот AA или aa) и **кодоминантность**.

При **полном доминировании** доминантный ген полностью подавляет действие рецессивного аллельного гена. Гетерозиготы имеют фенотип, такой же как у доминантной гомозиготы. Например, при скрещивании томата с шаровидными плодами с томатом с грушевидными плодами в потомстве F1

все растения томата будут с шаровидными плодами, а в потомстве F2 будет наблюдаться расщепление на 2 фенотипических класса в соотношении 3:1.

При **неполном доминировании** доминантный ген не полностью подавляет действие рецессивного аллельного гена. У гетерозигот на проявление признака оказывают влияние оба гена, поэтому в фенотипе признак выражается в виде промежуточной формы. Например, при скрещивании растений ночной красавицы с красными цветами и белыми цветами между собой потомство F1 будет иметь розовые цветки. У гибридов F1 сохраняется единообразие, но во втором поколении потомство расщепляется на 3 фенотипических класса в соотношении 1:2:1.

При **кодоминировании** и доминантный и рецессивный аллель реализуются в фенотипе. У гетерозигот проявляется и доминантный и рецессивный аллель, поэтому признак выражается в смешанной форме. Например, при скрещивании красной и белой камелии японской в F1 наблюдается единообразие, а все цветки окрашены в красно-белый цвет. Во втором поколении потомство расщепляется на 3 фенотипических класса в соотношении 1:2:1

Взаимодействие неаллельных генов.

Типы неаллельных взаимодействий генов: комплементарность, эпистаз и полимерия. Типы неаллельных взаимодействий показаны в таблице 2.

Таблица 2. Типы неаллельных взаимодействий генов.

Типы взаимодействия	Расщепление признаков в F2	Примеры
Комплементарность – это взаимодействие двух неаллельных генов, ведущее к проявлению нового признака.	9:3:3:1	Наследование окраски оперения у попугайчиков
	9:6:1	Наследование формы плода у тыквы
	9:7	Наследование окраски цветков у душистого горошка
Эпистаз – это вид взаимодействия неаллельных генов, при	12:3:1	Доминантный эпистаз. Расщепление по масти у лошади

котором происходит подавление действия аллелей одного гена аллелями другого гена	13:3	Доминантный эпистаз. Наследование окраски оперения у кур
	9:3:4	Рецессивный эпистаз. Наследование окраски семян у фасоли
Полимерия – это взаимодействие неаллельных генов, при котором проявление признака зависит от количества доминантных генов.	1:4:6:4:1 (15:1)	Кумулятивная полимерия. Наследование окраски зерен пшеницы
	15:1	Некумулятивная полимерия. Наследование формы стручков у пастушьей сумки.

Сцепленное наследование. Т. Морган и его школа создали хромосомную теорию наследственности и показали, что причина сцепления генов – это расположение их в одной паре гомологичных хромосом. Весь комплекс генов, локализованных в одной паре гомологичных хромосом, называют **группой сцепления**.

На основании полученных в опытах результатов Т. Морган сформулировал следующее правило: **гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются сцеплено, причем сила сцепления зависит от расстояния между генами.**

Зная расстояние между генами, можно построить генетическую карту. Генетическая карта хромосом представляет собой отрезок прямой, на котором обозначен порядок расположения генов и указано расстояние между ними в **морганидах (М)**. Морганида – это единица генетической карты равная 1% кроссинговера. Она является мерой относительного расстояния между локусами хромосомы.

Частота кроссинговера варьирует от 0 до 50% и не может быть больше 50%, поскольку $gf=50\%$ обнаруживается в том случае, если гены не сцеплены.

Для того чтобы рассчитать **частоту кроссинговера (коэффициент рекомбинации, gf , %)** необходимо количество особей сформировавшихся с

участием гамет, в которых произошел кроссинговер (кроссоверные гаметы, рекомбинантные гаметы) разделить на общее количество особей в потомстве от анализирующего скрещивания и умножить на 100 %.

$$rf = \frac{\text{число кроссоверов}}{\text{число особей}} \cdot 100\%$$

В соответствии с **гипотезой о линейном расположении генов**, чем дальше ген расположен от другого, тем чаще между ними происходит кроссинговер. При кроссинговере так же наблюдаются следующие закономерности: **количество некроссоверных гамет всегда больше, чем кроссоверных** и в пределах кроссоверов образуются **два равных по численности класса по каждому перекрёсту**.

Тогда формула расчета частоты кроссинговера будет принимать следующий вид:

$Rf = \frac{a+b}{N} \cdot 100$, где a и b – кроссоверы, N – общее количество особей от анализирующего скрещивания

$$Rf = \sum \text{частот кроссоверов}$$

На хромосомном уровне различают два типа состояний дигетерозиготы: **цис-состояние** – $\frac{A}{a} \frac{B}{b}$ и **транс-состояние** – $\frac{A}{a} \frac{b}{B}$

Сцепленное с полом наследование. Хромосомное определение пола – это наиболее распространенный механизм, связанный с наличием особых **половых хромосом**, детерминирующих формирование мужского и женского полов. Все остальные хромосомы, не связанные с определением пола, называют **аутосомами**.

Признаки, гены которых локализованы в половых хромосомах, называются **сцепленными с полом**.

Множественный аллелизм.

Плейотропия – это явление, при котором один ген отвечает за проявление нескольких признаков.

Проверка гипотезы о расщеплении с помощью критерия χ^2

Критерий χ^2 используется в генетике для подтверждения или опровержения гипотезы о наблюдаемом расщеплении, когда не возможно точно дать ответ соответствует ли расщепление ожидаемому или нет. Например, при скрещивании двух гетерозиготных особей имеющих зеленую окраску листьев в потомстве было получено 564 растения с зелеными листьями и 227 растений с желто-зелеными листьями. Если найти соотношение генотипов, то 564 соотносится к 227, приблизительно как 2,5 : 1, поэтому не возможно ответить соответствует ли наблюдаемое расщепление второму закону Менделя или нет.

Критерий χ^2 рассчитывается по формуле:

$$\chi^2 = \sum \frac{(p_{\text{факт}} - p_{\text{теор}})^2}{p_{\text{теор}}} \quad \text{Или} \quad \chi^2 = \sum d^2/q$$

где p факт. – наблюдаемое число особей

p теор. (q)– ожидаемое число особей

$$d^2 = (p \text{ факт.} - p \text{ теор.})^2$$

Уровень вероятности принятый в биологических исследованиях соответствует 95% (уровень значимости при этом равен $1-0,95=0,05$).

Число степеней свободы равно $k=n-1$, где n – число фенотипических классов.

Степень свободы отражает возможность варьирования признака. 2 класса – 1 степень свободы (да – нет), чем больше классов, тем больше возможность вариаций.

После определения **критерия χ^2** по формуле, полученное значение сравнивается с табличным. Если χ^2 расчётный меньше или равен значению χ^2 из таблицы **гипотеза о том, что полученные результаты соответствуют предполагаемому расщеплению и отклонения случайны – верна. Если χ^2 расчётный больше табличного значения – гипотеза не верна.**

3. Задачи по генетике с примерами решения

Моногибридное скрещивание

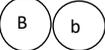
1. Выпишите типы гамет, которые образуются у особей с генотипом а)ВВ; б)Вb; в)bb.

Решение: По формуле $N=2^n$, где N – число типов гамет, а n – это количество признаков, по которому данный организм гетерозиготен, определяем число типов гамет у особей следующих генотипов:

а) у особи с генотипом ВВ – один тип гамет ($2^0=1$)

Р ВВ
G 

б) у особи с генотипом Вb – два типа гамет ($2^1=2$)

Р Вb
G 

в) у особи с генотипом bb – один тип гамет ($2^0=1$)

Р bb
G 

2. Устойчивость к фузариозу у капусты белокочанной доминирует над поражаемостью этой болезнью.

а) Какое потомство получится от скрещивания гомозиготных иммунных особей с растениями поражаемыми фузариозом?

б) Какое потомство получится от скрещивания гибрида первого поколения с растением, лишенным иммунитета?

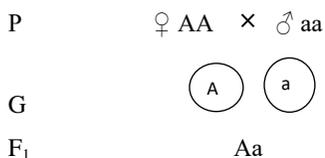
Решение. Прежде чем приступить к решению данной задачи, следует уяснить характер анализируемых признаков и правильно произвести запись контролирующих их генов. В данной задаче мы имеем дело с одной парой

аллельных генов, один из которых контролирует устойчивость капусты к поражению фузариозом, второй, аллельный ему ген, не обладает свойствами защиты организма от патогена. Ген устойчивости – доминантный ген, обозначим его буквой А. Ген, неспособный защитить организм от заражения фузариозом, рецессивный, обозначим буквой а. Эти условия задачи можно записать в виде таблицы.

Признак	Ген	Генотип
Устойчивость к фузариозу	А	АА, Аа
Восприимчивость к фузариозу	а	аа

По условиям пункта а) скрещивают два гомозиготных растения, одно из которых обладает устойчивостью, второе – нет. Следовательно, генотип первого растения будет АА, второго – аа.

У первого растения возможны гаметы только одного типа, содержащие ген А, у второго – тоже только одного типа, содержащие ген а. При слиянии таких гамет все потомство будет гибридным, гетерозиготным, содержащим доминантный и рецессивный аллели: Аа. Фенотипически все потомство будет устойчивым к фузариозу (закон Г.Менделя о единообразии гибридов в первом поколении).



Запись решения можно произвести и другим способом. Составляется решетка, в которой по одной оси записываются возможные гаметы одного родителя, по другой оси – гаметы второго родителя:

Гаметы	А	а
а		
а		

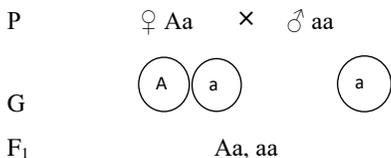
На перекрестках вписывают возможные варианты слияния гамет, что соответствует возможным вариантам генотипов потомства:

Гаметы	А	а
а	Аа	Аа

a	Aa	Aa
---	----	----

Итак, от скрещивания гомозиготных устойчивых к фузариозу особей с растениями поражаемыми фузариозом, получится гетерозиготное потомство Aa, которое будет обладать устойчивостью к фузариозу.

По условиям пункта б) скрещивают гибрид первого поколения (Aa) с растением, лишенным иммунитета (aa). Решение можно осуществить по схеме:



Или провести следующую запись в решетке:

Гаметы	A	a
a	Aa	aa
a	Aa	aa

Анализ записей показывает, что половина потомства будет гетерозиготным, соответственно устойчивым к фузариозу, другая – гомозиготные по рецессивному гену, восприимчивые к фузариозу.

3. Плоды томата бывают круглыми и грушевидными. Ген круглой формы доминирует.

а) Каковы генотипы родительских растений, если в потомстве оказалось круглых и грушевидных плодов поровну?

б) В теплицах фермерского хозяйства высадили рассаду, выращенную из гибридных семян. 6250 кустов этой рассады дало плоды грушевидной формы, а 18750 кустов – круглой формы. Сколько среди них гетерозиготных по форме плода кустов?

Решение: задача носит характер установления генотипов по анализу фенотипов потомства. Решение задачи также нужно начинать с уяснения признаков и определяющих генов.

Признак	Ген	Генотип
Круглая форма плодов	A	AA, Aa
Грушевидная форма плодов	a	aa

В условиях задачи даны лишь соотношения фенотипов в потомстве. Для решения подобных задач необходимо помнить, при скрещивании каких генотипов возможны определенные соотношения фенотипов.

По условиям пункта а) в потомстве произошло расщепление фенотипов в соотношении 1:1. Следовательно, возможен только единственный вариант скрещивания - гетерозиготное растение с растением, гомозиготным по рецессивному гену: Aa x aa.

В условиях пункта б) даны количественные соотношения фенотипов. По ним можно установить, что в потомстве на 1 растение, дающее грушевидные плоды, оказалось 3 растения с круглыми плодами 6250 : 18750, т.е. соотношение 1 : 3. Следовательно, скрещивали гибридные растения (Aa x Aa) и в потомстве должны быть генотипы в следующих соотношениях: 1AA : 2Aa : 1aa. Из 18750 растений с круглыми плодами 1/3 приходилась на растения с генотипом AA, а 2/3 – на гетерозиготные растения с генотипом Aa. Эти 2/3 составляют 12500 растений.

4. При скрещивании растений гороха с желтыми семенами в потомстве было получено 407 растений с желтыми семенами и 143 с зелеными семенами. Соответствует ли наблюдаемое расщепление 2 закону Менделя. Ответ обоснуйте, используя критерий χ^2 .

Решение: Прежде, чем приступать к расчетам необходимо сформулировать нулевую гипотезу (H_0). Мы предполагаем, что расщепление будет 3:1, т.е. будет соответствовать 2 закону Менделя. H_0 будет звучать следующим образом: наблюдаемое расщепление соответствует 3:1, все отклонения случайны.

Для понимания как рассчитывается критерий χ^2 удобно записывать данные и расчеты в табличной форме. Для начала запишем число фенотипических классов и показатели, которые нам необходимо рассчитать.

Число фенотипических классов 2, т.к. в эксперименте получены растения с окраской семян двух фенотипов – желтыми и зелеными. Получаем таблицу вида:

	Количество растений, шт.		Всего
	Жёлтые семена	Зелёные семена	
Наблюдаемое число особей (p)			
Ожидаемое расщепление			
Ожидаемое число особей (q)			
Отклонение экспериментальных данных от теоретически ожидаемых (d)			
Квадрат отклонения (d ²)			
Критерий $\chi^2 = d^2/q$			

Далее начинаем вносить в таблицу данные, которые нам известны. Из условия задачи мы знаем, что наблюдаемое число особей (p) равно 407 (желтые семена) и 143 (зеленые семена). Запишем эти данные в таблицу. Мы предполагаем, что расщепление в данном скрещивании будет 3:1, так же вносим эти значения в таблицу

	Количество растений, шт.		Всего
	Жёлтые семена	Зелёные семена	
Наблюдаемое число особей (p)	407	143	
Ожидаемое расщепление	3	1	
Ожидаемое число особей (q)			
Отклонение экспериментальных данных от теоретически ожидаемых (d)			
Квадрат отклонения (d ²)			
Критерий $\chi^2 = d^2/q$			

Чтобы найти ожидаемое число особей (q) необходимо найти сумму по строке p и строке ожидаемое расщепление. Запишем данные в таблицу. Общее количество ожидаемых особей будет равно общему количеству наблюдаемых особей, т.е. 550. Так же записываем в таблицу.

	Количество растений, шт.		Всего
	Жёлтые семена	Зелёные семена	
Наблюдаемое число особей (p)	407	143	550
Ожидаемое расщепление	3	1	4
Ожидаемое число особей (q)			550

Отклонение экспериментальных данных от теоретически ожидаемых (d)			
Квадрат отклонения (d ²)			
Критерий $\chi^2 = d^2 / q$			

Для расчета q мы сумму всех особей (550) делим на сумму расщепления (4) в результате получаем 137,5. Это число (137,5) вносим в строку «ожидаемое число особей (q)» в столбец «зеленые семена». Для того, чтобы заполнить столбец «желтые семена», той же строки умножаем полученное число 137,5 на 3 (см. ожидаемое расщепление). Полученное значение 412,5 вносим в таблицу.

	Количество растений, шт.		Всего
	Жёлтые семена	Зелёные семена	
Наблюдаемое число особей (p)	407	143	550
Ожидаемое расщепление	3	1	4
Ожидаемое число особей (q)	412,5	137,5	550
Отклонение экспериментальных данных от теоретически ожидаемых (d)			
Квадрат отклонения (d ²)			
Критерий $\chi^2 = d^2 / q$			

Следующий шаг расчетов – это поиск отклонения экспериментальных данных от ожидаемых значений. Для этого из значения p вычитаем значение q, соответствующего столбца. Для растений с желтыми семенами расчет d будет выглядеть следующим образом $d=412,5-407=-5,5$, для растений с зелеными семенами $d=143-137,5=5,5$. Вносим значения в таблицу.

Для того, чтобы найти значения следующей строки «квадрат отклонения (d²)» мы полученное значение -5,5 и 5,5 возводим в квадрат. Полученное значение 30,25 одинаково для обоих столбцов. Записываем данные в таблицу.

	Количество растений, шт.		Всего
	Жёлтые семена	Зелёные семена	
Наблюдаемое число особей (p)	407	143	550
Ожидаемое расщепление	3	1	4
Ожидаемое число особей (q)	412,5	137,5	550
Отклонение экспериментальных данных от теоретически ожидаемых (d)	-5,5	5,5	-

Квадрат отклонения (d^2)	30,25	30,25	-
Критерий $\chi^2 = d^2/q$			

Последний этап вычислений – это поиск χ^2 по формуле $\chi^2 = d^2/q$. Для каждого столбца «желтые семена» и «зеленые семена» значения находятся отдельно и потом складываются в итоговое $\chi^2_{\text{расч.}}$.

Рассчитаем критерий χ^2 для столбца «желтые семена» $\chi^2 = 30,25/412,5=0,07$. Рассчитаем критерий χ^2 для столбца «зеленые семена» $\chi^2 = 30,25/137,5=0,22$. Складываем полученные значения $0,07+0,22=0,29$. Записываем в таблицу

	Количество растений, шт.		Всего
	Жёлтые семена	Зелёные семена	
Наблюдаемое число особей (p)	407	143	550
Ожидаемое расщепление	3	1	4
Ожидаемое число особей (q)	412,5	137,5	550
Отклонение экспериментальных данных от теоретически ожидаемых (d)	-5,5	5,5	-
Квадрат отклонения (d^2)	30,25	30,25	-
Критерий $\chi^2 = d^2/q$	0,07	0,22	0,29

Полученное значение $\chi^2_{\text{расч.}}$ равно 0,29 следует сравнить с табличным значением критерия χ^2 .

Как пользоваться таблицей критических значений критерия χ^2 ?

Для начала посчитаем число степеней свободы (k) $k=n-1$, где n – число фенотипических классов. В нашем случае число фенотипических классов равно 2 (желтые семена и зеленые семена), тогда $k=2-1=1$. Далее обращаемся к таблице критических значений критерия χ^2 . Возьмем, принятый в биологии уровень значимости $P=5\%$. Такой уровень значимости говорит нам, что наше предположение будет верным с вероятностью 95%

Далее смотрим в таблицу – в столбце k находим значение 1, в столбце уровень значимости P – значение 5 % и на пересечении строки 1 и столбца 5% получаем табличное значение критерия $\chi^2=3,84$.

Таблица критических значений критерия χ^2 со степенями свободы

k	Уровень значимости P		k	Уровень значимости P	
	5%	1%		5%	1%
1	3,84	6,63	26	38,9	45,6
2	5,99	9,21	27	40,1	47,0
3	7,81	11,3	28	41,3	48,3
4	9,49	13,3	29	42,6	49,6
5	11,1	15,1	30	43,8	50,9
6	12,6	16,8	31	45,0	52,2
7	14,1	18,5	32	46,2	53,5
8	15,5	20,1	33	47,4	54,8
9	16,9	21,7	34	48,6	56,1
10	18,3	23,2	35	49,8	57,3
11	19,7	24,7	36	51,0	58,6
12	21,0	26,2	37	52,2	59,9
13	22,4	27,7	38	53,4	61,2
14	23,7	29,1	39	54,6	62,4
15	25,0	30,6	40	55,8	63,7
16	26,3	32,0	41	56,9	65,0
17	27,6	33,4	42	58,1	66,2
18	28,9	34,8	43	59,3	67,5
19	30,1	36,2	44	60,5	68,7
20	31,4	37,6	45	61,7	70,0
21	32,7	38,9	46	62,8	71,2
22	33,9	40,3	47	64,0	72,4
23	35,2	41,6	48	65,2	73,7
24	36,4	43,0	49	66,3	74,9
25	37,7	44,3	50	67,5	76,2

Делаем вывод о том, подтвердили ли мы гипотезу или опровергли. Т.к. $\chi^2_{\text{расч.}} \leq \chi^2_{\text{табл.}}$. Принимаем нулевую гипотезу о том, что наблюдаемое расщепление соответствует 3:1 (второй закон Менделя), все отклонения случайны.

5. Выпишите типы гамет, которые образуются у следующих особей:

- а) у особи с генотипом Bb
- б) у особи с генотипом Cc
- в) у особи с генотипом dd

6. Желтый цвет семян гороха овощного доминирует над зеленым.

а) Скрещивают гомозиготный желтый горох с зеленым. Определить генотип и фенотип потомства первого поколения.

б) Скрещивают два гетерозиготных растения гороха. Определить генотип и фенотип потомства.

в) Гетерозиготный желтый горох скрещивают с зеленым. Какое расщепление по цвету горошин ожидается в потомстве.

7. У томата ген, обуславливающий красный цвет плодов, доминирует над геном желтой окраски.

Какие по цвету плоды окажутся у растений, полученных от скрещивания гетерозиготных красноплодных растений с желтоплодными?

8. У ряда видов растений имеется рецессивный ген альбинизма: гомозиготные по этому гену (белые) экземпляры неспособны синтезировать хлорофилл. Если у растения редиса, гетерозиготного по признаку альбинизма, произошло самоопыление и 700 его растений проросли, то каким будет:

а) ожидаемое число потомков с генотипом родительской формы

б) ожидаемое число белых экземпляров?

9. У репы раннеспелость доминирует над позднеспелостью. На опытном участке выращено 8532 растений, которые были получены от скрещивания позднеспелой репы с гетерозиготным раннеспелым. Определите ожидаемое число позднеспелых растений.

10. Дурман, имеющий пурпурные цветы, дал при самоопылении 90 потомков с пурпурными и 27 с белыми цветами. Какие выводы можно сделать о наследовании окраски цветов у растений этого вида? Какая часть потомства F_1 не даст расщепления при самоопылении?

11. Установите правильную последовательность этапов, которым следовал Г. Мендель при формулировании правил наследования признаков.

- А) математическая обработка данных
- Б) отбор чистых линий растений, дающих желтые и зеленые семена
- В) скрещивание растений гороха первого поколения с желтыми семенами
- Г) скрещивание разных сортов
- Д) выведение чистых линий растений гороха с разной окраской семян
- Е) формулирование правил наследования признаков

12. При скрещивании двух растений фасоли, выросших из черных семян, получено 585 черных и 183 белых семени. Определить генотипы исходных форм и критерий соответствия (χ^2).

13*. В 1905 г. Бэтсон решил проверить справедливость законов Менделя и повторил опыты по скрещиванию гомозиготных растений гороха с желтыми и зелеными семенами. В F1 все семена имели желтую окраску семядолей, а в F2 при самоопылении растений, выросших из гибридных семян, было получено 3903 семени с зелеными и 11902 с желтыми семядолями.

- а) Подтвердил ли опыт Бэтсона справедливость закона расщепления?
- б) Докажите это, используя метод χ^2 .

14*. При скрещивании растений львиного зева в первом поколении были получены растений с розовыми цветами, а во втором наблюдали расщепление:

- 183 с красными цветами
- 383 с розовыми цветами
- 147 с белыми цветами

Как наследуется признак? Подтвердите свою гипотезу, используя метод χ^2 . Определите генотипы и фенотипы исходных родительских форм.

Дигибридное и полигибридное скрещивание.

1. Сколько типов гамет и какие именно образуют растения со следующими генотипами:

а) ffdd

б) JjDD

в) DdFf

г) ИkkRR

д) IkkRR

е) MmDdLl

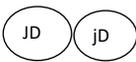
Решение: а) гомозиготы, согласно формуле $N = 2^n$, образуют один тип гамет ($2^0=1$):

P ffdd

G 

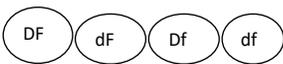
б) Гетерозиготы по одному признаку дают два типа гамет ($2^1=2$):

P JjDD

G 

в) гетерозиготы по двум признакам дают четыре типа гамет ($2^2=4$):

P DdFf

G 

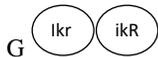
г) гомозиготы дают один тип гамет ($2^0=1$):

P ИkkRR

G 

Д) гетерозиготы по одному признаку дают два типа гамет ($2^1=2$):

P IkkRR



Е) гетерозиготы по трем признакам дают восемь типов гамет ($2^3=8$):

P MmDdLl



2. Напишите возможные типы гамет, продуцируемых организмами со следующими генотипами: AABB, CcDD, EeFf, gg^hh (гены наследуются независимо).

3. Известно, что растение имеет генотип AaBbccDdEeFfGg.

а) Сколько различных типов гамет образует это растение?

б) Сколько разных фенотипов может быть получено в потомстве этого растения при самоопылении, если предположить полное доминирование по всем парам аллелей?

в) Сколько разных генотипов будет в потомстве этого растения при самоопылении?

г) Сколько разных фенотипов может быть получено в потомстве этого растения при самоопылении, если предположить неполное доминирование по всем парам аллелей?

4. Тыкву, имеющую светло-желтые плоды дисковидной формы, скрестили с тыквой, у которой были белые шаровидные плоды. Все гибриды от этого скрещивания имели белую окраску и дисковидную форму плодов. Какие признаки доминируют? Каковы генотипы родителей и потомства?

5. У фигурной тыквы белая окраска плода (W) доминирует над желтой (w), а дисковидная форма (D) над шаровидной (d). Тыкву с белыми дисковидными плодами скрестили с тыквой, у которой плоды были белыми и шаровидными. В потомстве оказалось:

3/8 белых дисковидных,

3/8 белых шаровидных,

1/8 желтых дисковидных,

1/8 желтых шаровидных.

Определить генотипы родителей и потомства.

6. У пшеницы безостность (A) доминирует над остистостью (a), а красная окраска колоса (B) над белой (b). Растения безостного красноколосного сорта при скрещивании с пшеницей остистого белоколосного сорта дали:

1/4 безостных красноколосных,

1/4 безостных белоколосных,

1/4 остистых красноколосных,

1/4 остистых белоколосных.

Определить генотипы исходных растений. Соответствует ли данное скрещивание анализирующему?

7. У декоративной тыквы белая окраска плодов (W) доминирует над желтой (w), а дисковидная форма плодов (D) над шаровидной (d). От скрещивания двух растений с белыми дисковидными плодами получено 11 растений с желтыми дисковидными и 36 с белыми дисковидными плодами. Определить наиболее вероятный генотип исходных растений.

8. У дурмана пурпурная окраска цветков доминирует над белой, колочие семенные коробочки над гладкими. От скрещивания дурмана с пурпурными цветками и гладкими коробочками с растением, имеющим

белые цветки и колючие коробочки, получено 320 растений с пурпурными цветками и колючими коробочками и 423 – с пурпурными цветками и гладкими коробочками. Каковы генотипы исходных организмов и потомства?

9. Нормальный рост у овса доминирует над гигантизмом, раннеспелость – над позднеспелостью. Гены обоих признаков расположены в разных аутосомах. От скрещивания раннеспелых растений нормального роста между собой получили 22373 растения. Из них гигантских оказалось 5594, и столько же позднеспелых. Определить, сколько было получено растений, одновременно имеющих признаки позднего созревания и гигантского роста.

10. Плоды томата бывают красные и желтые, гладкие и опушенные. Ген красного цвета – доминантный, ген опушенности – рецессивный. Гены находятся в разных хромосомах. Из собранного в колхозе урожая томата оказалось 36 т красных гладких и 12 т красных опушенных, так же были собраны томаты с желтой окраской и гладкой поверхностью плода и желтые опушенные плоды. Сколько тонн желтых томатов, имеющих опушение на плодах собрали в колхозе, если исходный материал был гетерозиготным по обоим признакам?

11. У флокса белая окраска цветов определяется геном W, кремовая – w; плоский венчик – S, воронковидный – s. Растение флокса с белыми воронковидными цветами скрещено с растениями, имеющими кремовые цветы с плоским венчиком. Из 76 потомков 37 имеют белые цветки с плоским венчиком, 39 – кремовые цветки с плоским венчиком. Определить генотипы исходных растений.

12. У томата пурпурная окраска стебля доминирует над зеленой. Рассеченные листья контролируются доминантным геном, а цельнокрайные –

рецессивным. При скрещивании двух сортов томата, один из которых имел пурпурный стебель и рассеченный лист, другой – зеленый стебель и рассеченный лист, было получено следующее потомство:

- а) 350 растений с пурпурным стеблем и рассеченным листом;
- б) 112 – с пурпурным стеблем и цельнокрайным листом;
- в) 340 – с зеленым стеблем и рассеченным листом;
- г) 115 – с зеленым стеблем и цельнокрайным листом.

Каковы наиболее вероятные генотипы родительских растений?

13. У львиного зева окраска цветка контролируется одной парой генов с неполным доминированием, а ширина листа – другой парой генов с неполным доминированием. Обе пары генов наследуются независимо. Какое соотношение генотипов и фенотипов получится в потомстве от скрещивания растений с красными цветками и средними листьями и с розовыми цветками и узкими листьями?

14. У львиного зева красная окраска цветка неполно доминирует над белой. Гибридное растение имеет розовую окраску. Нормальная форма цветка полностью доминирует над пилорической. Какое потомство получится от скрещивания двух дигетерозиготных растений?

15. У львиного зева красная окраска цветка неполно доминирует над белой. Гибридное растение имеет розовую окраску. Узкие листья частично доминируют над широкими (у гибридов листья имеют среднюю ширину). Какое потомство получится от скрещивания растения с красными цветами и средними листьями с растением, имеющим розовые цветки и средние листья?

16*. От скрещивания двух растений гороха, выросших из желтых гладких семян, получено 264 желтых гладких, 61 желтое морщинистое, 78 зеленых гладких и 29 зеленых морщинистых семян. Определить критерий

соответствия χ^2 и какому скрещиванию соответствует наблюдаемое соотношение фенотипических классов.

17*. При скрещивании растений пшеницы с красным плотным колосом с растениями с белым рыхлым колосом в первом поколении получили растения с красными колосьями средней плотности, а во втором поколении следующее расщепление:

- 185 красных с плотным колосом
- 356 красных с колосом средней плотности
- 182 красных с рыхлым колосом
- 15 белых с плотным колосом
- 28 белых с колосом средней плотности
- 11 белых с рыхлым колосом

Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных растений. Проверьте свою гипотезу о наследовании признаков, используя критерий χ^2 .

Взаимодействие неаллельных генов

Проявление одного признака может определяться двумя и более парами генов (**комплементарность и полимерное наследование**) и, наоборот, одна пара генов может влиять на проявление нескольких признаков (**множественное действие генов**). Кроме того, одни гены могут подавлять действие других (**эпистаз**). Все эти явления получили общее название **взаимодействие генов**.

При **взаимодействии двух пар генов** вероятность появления организмов каждого фенотипа определяется различными сочетаниями двух пар генов, участвующих в развитии признака. Так же, как и в случае дигибридного скрещивания, эти сочетания можно оценивать с помощью решетки Пеннета. В большинстве случаев различные соотношения фенотипов при скрещивании дигетерозигот образованы из соотношения

9:3:3:1 путем сложения отдельных элементов, например, расщепление 9:7 при комплементарном наследовании может быть представлено как 9:(3+3+1).

При решении задач такого типа следует обращать внимание на то, сколько классов фенотипов и в каком количественном соотношении образуется при скрещивании особей с различными генотипами.

Комплементарность

Развитие признака определяется не одной, а двумя или более парами неаллельных генов, располагающимися в разных хромосомах. Если хотя бы одна пара находится в гомозиготном рецессивном состоянии, то признак не развивается или отличен от проявления признака, формирующегося при взаимодействии двух генов.

Расщепление при скрещивании дигетерозигот при **комплементарном наследовании** обычно бывает в пропорции 9:7, 9:3:4, или 9:3:3:1, 9:6:1 (часть особей с минимальным выражением признака 7/16, 4/16 и 1/16).

1. У душистого горошка окраска цветов проявляется только при наличии двух доминантных генов А и В. Если в генотипе имеется только один доминантный ген, то окраска не развивается. Какое потомство F₁ и F₂ получится от скрещивания растений с генотипами ААbb и aaBB?

Решение:

1. Генотип исходных растений известен по условию задачи. Они гомозиготны и будут давать один тип гамет, которые можно объединить единственным образом. Потомство F₁ будет единообразно по генотипу (АаВb) и фенотипу (розовые цветы):

Схема скрещивания



F₁ AaBb
 розовый
 100%

2. Дигетерозиготные потомки F₁ будут давать по 4 типа гамет, которые могут комбинироваться 16 способами. Построив решетку Пеннета, можно убедиться, что организмов, одновременно имеющих доминантные гены А и В (розовые цветы), будет примерно 9/16. То есть, в F₂ будет наблюдаться расщепление по цвету в пропорции 9:7.

Схема скрещивания

F ₁	♀ AaBb		♂ AaBb
	розовый	×	розовый
гаметы	AB Ab aB ab		AB Ab aB ab
F ₂	A_B_		A_bb aaB_ aabb
	розовый		белый
	9/16		7/16

Ответ: В F₁ все потомство будет единообразным и будет иметь розовую окраску цветов. В F₂ 9/16 растений будут иметь розовые, а 7/16 – белые цветы.

2. Окраска цветов душистого горошка в красный цвет обусловлена двумя парами генов. Если хотя бы одна пара находится в рецессивном состоянии, то окраска не развивается. Одновременное присутствие в генотипе обоих доминантных генов вызывает развитие окраски. Каков генотип растений с белыми цветами, если при их скрещивании друг с другом все растения получились красного цвета?

Решение:

1. Поскольку потомство F_1 имело окрашенные цветки, то в его генотипе присутствуют оба доминантных гена А и В.
2. Все потомство единообразно, следовательно, скрещивались гомозиготные особи.
3. Родители имели неокрашенные цветки, значит, они не могут нести оба доминантных гена.
4. Генотип родителей не может быть одинаковым (иначе потомство было бы таким же, то есть имело бы неокрашенные цветки).
5. Этим условиям удовлетворяет только тот вариант, когда у одного родителя генотип $AAbb$, а у другого – $aaBB$.

Схема скрещивания



3 При скрещивании двух растений тыквы со сферической формой плодов получено потомство, имеющее только дисковидные плоды. При скрещивании этих гибридов между собой были получены растения с тремя типами плодов: 9 частей – с дисковидными плодами, 6 частей – со сферической формой плодов, 1 часть – с удлиненными плодами. Какая закономерность наследования наблюдается в данном случае? Каковы генотипы родителей и потомства?

Решение:

1. Потомство F_1 отличалось от родителей и было единообразным, следовательно, оно является гетерозиготным, а исходные особи были гомозиготными.
2. Исходные особи должны отличаться по генотипу друг от друга, так как при одинаковом генотипе их потомство не отличалось бы от них. Это указывает на то, что в данном случае имеет место комплементарное

взаимодействие генов. Генотип родительских особей – AAbb и aaBB, а потомства F₁ – AaBb (см. решение задачи 5-2).

3. Таким образом, форма плодов определяется двумя парами генов. Если обе пары находятся в доминантном состоянии (генотипы AABB, AaBb, AABb или AaBB), то форма плодов дисковидная. Если в доминантном состоянии находится только одна пара генов (генотипы AAbb, Aabb, aaBB или aaBb), – форма плодов сферическая.
4. Расщепление в потомстве F₂ (9:6:1) отличается от расщепления 9:7, обычно наблюдаемого при комплементарном взаимодействии. 1/16 часть растений имела плоды удлинённой формы. Это может быть только в том случае, если генотип таких особей – aabb, то есть оба гена находятся в рецессивном состоянии.
5. Анализ решетки Пеннета подтверждает полученные результаты.

♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB дисковидные	AABb дисковидные	AaBB дисковидные	AaBb дисковидные
Ab	AABb дисковидные	AAbb сферические	AaBb дисковидные	Aabb сферические
aB	AaBB дисковидные	AaBb дисковидные	aaBB сферические	aaBb сферические
ab	AaBb дисковидные	Aabb сферические	aaBb сферические	aabb удлинённые

4. У кукурузы нормальный рост определяется двумя доминантными неаллельными генами. Гомозиготность по рецессивным аллелям даже одной пары генов приводит к возникновению карликовых форм. При скрещивании двух карликовых растений кукурузы выросли гибриды нормальной высоты, а при скрещивании этих гибридов в их потомстве было получено 812 нормальных и 640 карликовых растений. Определить генотипы родителей и потомков.

5. При скрещивании двух карликовых растений кукурузы получено потомство нормальной высоты. В F₂ от скрещивания потомства первого

поколения было 452 растения нормальной высоты и 352 – карликовых. Предложите гипотезу, объясняющую эти результаты.

6. В двух цветоводческих хозяйствах, не связанных друг с другом, длительное время разводили чистые линии душистого горошка с белыми цветами. При скрещивании этих линий между собой в F_1 все цветы были розовыми. Объясните результаты. Какое потомство будет при самоопылении растений с розовыми цветами, полученными в F_1 ?

7. Окраска бобов может быть пурпурной, желтой и белой. Под действием гена А неокрашенное соединение переводится в пурпурный пигмент. Ген В вызывает превращение пурпурного вещества в желтое. Какое потомство получится от скрещивания растений с генотипами $AaBb$ и $aaBB$? Какие фенотипы имеют исходные формы $AaBb$ и $aaBB$?

8. Для получения окрашенных луковиц необходимо наличие у растений лука доминантного гена С. При гомозиготности по рецессивному аллелю с получаются бесцветные луковицы. При наличии доминантного гена С вторая пара аллелей определяет цвет луковицы – красный (R) или желтый (r). Краснолуковичное растение было скрещено с белолуковичным. В потомстве были растения с красными, желтыми и бесцветными луковицами. Определить генотипы скрещиваемых растений. Какое соотношение по фенотипу было в потомстве? Какое расщепление было бы в потомстве, если бы обе исходные особи были красного цвета?

9. Среди ферментов, участвующих в образовании хлорофилла у ячменя, имеется 2 фермента, отсутствие которых приводит к нарушению синтеза этого пигмента. Если нет одного из них, то растение становится белым, если нет другого - жёлтым. При отсутствии обоих ферментов растение тоже белое. Синтез каждого фермента контролируется

доминантным геном, который находится в разных хромосомах. Какое потомство по фенотипу следует ожидать от самоопыления дигетерозиготного ячменя?

9*. Одна женщина много лет подряд выращивала дома на подоконнике белоплодные баклажаны. Однажды она взяла у знакомого садовода рассаду фиолетовых баклажан и одно из растений скрестила с одним из своих белоплодных. На следующий год из гибридных семян она вырастила $5/8$ растений с белыми плодами и $3/8$ с фиолетовыми. Какое расщепление по цвету плодов получила бы женщина, если бы она самоопылила принесенное от садовода родительское растение, дававшее фиолетовые плоды? Какой генотип имело ее собственное, взятое для скрещивания растение?

10*. От скрещиваний растений ржи с красными ушками на листьях и желтым зерном с растениями с белыми ушками и белым зерном в F1 получили растения с красными ушками и зеленым зерном, в F2 произошло расщепление:

720 с красными ушками и зеленым зерном

234 с красными ушками и желтым зерном

328 с красными ушками и белым зерном

244 с белыми ушками и зеленым зерном

84 с белыми ушками и желтым зерном

108 с белыми ушками и белым зерном

Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных растений

Полимерное действие генов

При полимерном наследовании развитие одного признака контролируется несколькими парами генов, расположенных в разных

хромосомах. Чем больше генов находится в доминантном состоянии, тем ярче выражен признак.

Полимерное действие лежит в основе наследования количественных признаков и играет важную роль в эволюции.

Например, степень пигментации кожи определяется двумя парами (на самом деле – большим количеством) генов. В соответствии с этим по данному признаку людей можно условно разделить на 5 фенотипов: чернокожие (AABB), темные мулаты (AABb или AaBB), средние мулаты (AaBb, aaBB или AAbb), светлые мулаты (Aabb или aaBb) и белые (aabb).

1. Сын белой женщины и негра женится на белой женщине. Может ли ребенок от этого брака быть темнее своего отца?

2. Какой фенотип потомства будет: а) от брака негра и светлой мулатки; б) от брака белого и темной мулатки?

3. Какое потомство получится от брака: а) двух средних гетерозиготных мулатов; б) двух средних гомозиготных мулатов?

4. От брака среднего мулата и светлой мулатки родилось много детей, среди которых оказалось по $\frac{3}{8}$ средних и светлых мулатов и по $\frac{1}{8}$ – темных мулатов и белых. Каковы возможные генотипы родителей?

5. Способность образовывать самоукореняющиеся побеги ('усы') характерна для многих растений, в том числе для земляники. Степень проявления этой способности зависит от совместного действия двух доминантных генов (С, Д). Определите по генотипам растения, способные образовывать 'усы'. Укажите их номера: 1/ ССДД; 2/ ссДД; 3/ ССдд; 4/ СсДД; 5/ СсДд; 6/ ССДд; 7/ ссДд

6. Форма плода пастушьей сумки может быть треугольной или округлой и контролируется 2 генами, которые взаимодействуют по типу некумулятивной полимерии. Какое будет потомство и в каком соотношении можно ожидать при скрещивании двух дигетерозиготных растений с треугольной формой стручка?

Эпистаз

Эпистазом, называется явление, при котором ген одной аллельной пары (супрессор) в доминантном состоянии может подавлять развитие признака, контролируемого другой парой генов. В случае **эпистаза** при скрещивании дигетерозигот в потомстве наблюдается расщепление в соотношении 13:3 или 12:3:1.

1 При скрещивании растений одного из сортов тыквы с белыми и желтыми плодами все потомство F_1 имело белые плоды. При скрещивании этого потомства между собой в их потомстве F_2 было получено: 204 растения с белыми плодами, 53 растения с желтыми плодами, 17 растений с зелеными плодами. Определить возможные генотипы родителей и потомства.

Решение:

1. Потомство F_1 единообразно. Это указывает на то, что родители были гомозиготны, и признак белой окраски доминирует.
2. Гибриды первого поколения F_1 гетерозиготны (получены от родителей с разным генотипом и имеют расщепление в F_2).
3. Во втором поколении имеется три класса фенотипов, но расщепление отличается от расщепления при комплементарном наследовании (9:6:1, 9:3:4, 9:7 или 9:3:3:1).
4. Предположим, что признак определяется эпистатическим действием двух пар генов, причем особи, у которых обе пары генов находятся в рецессивном состоянии (aabb), отличаются по фенотипу от особей, у которых действие гена не подавляется. Расщепление в потомстве 12:3:1

подтверждает это предположение. Допустим, что ген А подавляет действие гена В, который в доминантном состоянии отвечает за желтую окраску тыквы, а в рецессивном за зеленую.

Тогда схема скрещивания будет выглядеть следующим образом:

Схема скрещивания



F₂

♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB белый	AABb белый	AaBB белый	AaBb белый
Ab	AABb белый	AAbb белый	AaBb белый	Aabb белый
aB	AaBB белый	AaBb белый	aaBB желтый	aaBb желтый
ab	AaBb белый	Aabb белый	aaBb желтый	aabb зеленый

2. У овса черная окраска семян определяется доминантным геном А, а серая окраска – доминантным геном В. Ген А эпистатичен гену В, и последний в его присутствии не проявляется. При отсутствии в генотипе обоих доминантных генов окраска семян белая. При скрещивании двух серосеменных растений получили растения с серыми и белыми семенами в пропорции 3:1. Определить генотипы родителей. Какое расщепление в потомстве было бы получено, если бы скрещивались дигетерозиготные формы?

3. Свиньи бывают черной, белой и красной окраски. Белые свиньи несут минимум один доминантный ген I. Черные свиньи имеют доминантный ген Е и гомозиготны по рецессивной аллели i. Красные

поросята (eeii) лишены доминантного гена-подавителя I и доминантного гена, определяющего черную окраску. Какое потомство можно ожидать от скрещивания черной гомозиготной свиньи и красного кабана?

4. Среди ферментов, участвующих в образовании хлорофилла у ячменя, имеется 2 фермента, отсутствие которых приводит к нарушению синтеза этого пигмента. Если нет одного из них, то растение становится белым, если нет другого - жёлтым. При отсутствии обоих ферментов растение тоже белое. Синтез каждого фермента контролируется доминантным геном, который находится в разных хромосомах. Какое потомство по фенотипу следует ожидать от самоопыления дигетерозиготного ячменя?

5. У ночной красавицы известны два доминантных гена: Y и R. В результате их взаимодействия получаются различные окраски цветков:

YYRR — алая; YYRr — оранжево-красная;

YYrr — желтая; yyRR, yyRr, yyrr — белая;

YyRR — маджентовая;

YyRr — розовато-маджентовая;

Yyrr — светло-желтая.

Две ночные красавицы с неизвестной окраской цветков при скрещивании дали в потомстве 1/8 алых, 1/8 оранжево-красных, 1/4 маджетовых, 1/4 розово-маджетовых и 1/4 белых. Каковы фенотипы и генотипы родителей?

6. Чем можно объяснить тот факт, что при скрещивании растений хлопка с коричневым и зеленым цветом волокна в F1 получается коричневое волокно, а в F2 появляются растения в основном с коричневым, некоторое количество с зеленым и очень немного с белым волокном?

7. В работе Paris H. S. (1985) были проведены скрещивания между разными сортами патиссона Early Prolific Straightneck (EPS), с желтыми плодами с Sihi Lavan (SLA) – белоплодным сортом и Benning's Green Tint (BGT) – светло-зеленым сортом. Во всех скрещиваниях в возрасте от 2 до 5

дней после цветения плоды были светлыми, что подтверждает существование гена «R», гипостатического к «W». В возрасте плодов 18-22 дней после цветения в скрещиваниях EPS и SLA желтая окраска доминирует над белой, в скрещиваниях EPS и BGT светло-зеленая окраска доминирует над желтой, т.к. BGT несет доминантный ген «W». Определите генотипы и фенотипы родителей и потомков в обоих скрещиваниях.

Сцепленное наследование генов

При сцепленном наследовании признаков запись генотипов принято производить в хромосомной форме, обозначая цис или транс положение дигетерозиготы: **цис-состояние** – $\frac{A \ B}{a \ b}$ и **транс-состояние** – $\frac{A \ b}{a \ B}$

Напомним основные формулы и правила, которые пригодятся при решении задач.

Частота кроссинговера (коэффициент рекомбинации, rf, %) рассчитывается как соотношение количество особей сформировавшихся с участием гамет, в которых произошел кроссинговер (кроссоверные гаметы, рекомбинантные гаметы) к общему количеству особей в потомстве от анализирующего скрещивания и умножить на 100 %.

$$rf = \frac{\text{число кроссоверов}}{\text{число особей}} \cdot 100\%$$

В соответствии с **гипотезой о линейном расположении генов**, чем дальше ген расположен от другого, тем чаще между ними происходит кроссинговер. При кроссинговере так же наблюдаются следующие закономерности: **количество некроссоверных гамет всегда больше, чем кроссоверных** и **в пределах кроссоверов образуются два равных по численности класса по каждому перекрёсту.**

Тогда формула расчета частоты кроссинговера будет принимать следующий вид:

Rf = a + b / N * 100, где a и b – кроссоверы, N – общее количество особей от анализирующего скрещивания

Rf=∑частот кроссоверов

Также следуя правилу, что в пределах кроссоверов образуются два равных по численности класса по каждому перекрёсту, получаем формулу для расчета частоты формирования кроссоверных гамет.

$$n=rf/2, n - \text{число кроссоверных гамет}$$

1. У томата высокий рост доминирует над карликовым, шаровидная форма плодов – над грушевидной. Гены, ответственные за эти признаки, находятся в сцепленном состоянии на расстоянии 5,8 Морганид. Скрестили дигетерозиготное растение и карликовое с грушевидными плодами. Каким будет потомство?

Решение:

В задаче имеется 2 возможных состояния дигетерозиготы – А В и А b

a b a B

От состояния дигетерозиготы будет зависеть соотношение генотипов в потомстве. Запишем решение задачи, когда дигетерозигота находится в циссостоянии:

$$\begin{array}{r}
 \text{P} \quad \begin{array}{c} \text{♀} \text{A B} \\ \text{a b} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{♂} \text{a b} \\ \text{a b} \end{array} \\
 \text{белый} \quad \text{желтый} \\
 \text{гаметы} \quad \begin{array}{cc} \text{AB} & \text{ab} \\ \text{Ab} & \text{aB} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{ab} \\ \text{aB} \end{array} \\
 \text{F}_1 \quad \begin{array}{cccc} \text{AaBb} & \text{Aabb} & \text{aaBb} & \text{aabb} \\ \text{выс. шар.} & \text{выс. груш.} & \text{низк. шар.} & \text{низк. груш.} \end{array}
 \end{array}$$

При этом важно отличать кроссоверные гаметы от некроссоверных, в данном случае некроссоверные гаметы это AB и ab , а кроссоверные гаметы Ab и aB . При расстоянии между генами 5,8 Морганид, частота формирования кроссоверных гамет равна $n=5,8/2=2,9\%$, частота кроссоверных генотипов также будет равна 2,9% каждого. Допустим частота

формирования некроссоверных гамет также равновероятна, тогда частота формирования каждой некроссоверной гаметы равна $(100-5,8)/2=47,1$.

В результате частота формирования генотипа $AaBb$ – 47,1 %, $aabb$ – 47,1%, $Aabb$ – 2,9%, $aaBb$ – 2,9 %.

*Осуществите решение данной задачи, когда гетерозигота находится в транс состоянии.

2. Определите частоту (процентное соотношение) и типы гамет у дигетерозиготной особи, если известно, что гены А и В сцеплены и расстояние между ними 20 Морганид.

3. Дигетерозиготное растение огурца скрещено с гомозиготным по рецессивным аллелям. В потомстве получено $AaBb$ – 49%, $Aaав$ – 1%, $aaBb$ – 1%, $аавв$ – 49%. Как располагаются гены в хромосоме?

4. При скрещивании растений кукурузы с нормальными блестящими листьями и растения с надрезанными матовыми листьями всё потомство получилось с нормальными матовыми листьями. В анализирующем скрещивании гибридного потомства получилось четыре разные фенотипические группы, количество растений в 1 группе было 132, второй группе - 139, в третьей группе - 24, в четвертой группе - 26. Составьте схемы скрещиваний. Укажите генотипы, фенотипы родительских особей и генотипы, фенотипы потомства в каждой группе. Объясните формирование четырёх фенотипических групп во втором скрещивании.

5. У томата высокий рост стебля доминирует над карликовым, а шаровидная форма плода — над грушевидной, гены высоты стебля и формы плода сцеплены. Скрещено гетерозиготное по обоим признакам растение с карликовым, имеющим грушевидные плоды. В потомстве получилось 320 высоких растений с шаровидными плодами, 317 карликовых растений с грушевидными плодами, 26 высоких растений с грушевидными плодами и 29 карликовых растений с шаровидными плодами. При скрещивании другого гетерозиготного по обоим признакам растения с карликовым, имеющим грушевидные плоды, получилось другое расщепление: 246 высоких растений с грушевидными плодами, 239 карликовых растений с шаровидными плодами, 31 высокое растение с шаровидными плодами и 37 карликовых растений с грушевидными плодами. Составьте схему решения задачи. Объясните, почему получилось разное расщепление

6*. Ген J, определяющий группу крови, находится в одной аутосоме с геном, влияющим на развитие ногтей, на расстоянии 8 Морганид. Женщина получила от отца хромосому с геном J^B и с рецессивным геном d, не нарушающим развитие ногтей, а от матери ген – J^A и ген D, нарушающий развитие ногтей. Ее муж имеет группу крови $J^A J^B$ и нормальные ногти. Какова вероятность (в процентах), что ребенок будет иметь группу крови A и нормальные ногти?

Наследование генов сцепленных с полом

При решении задач на сцепление с полом гаметы и генотипы принято записывать с указанием половых хромосом, а аллель гена записывается индексом сверху, например, $X^A X^a$ или $X^A Y$, при этом следует обратить внимание, что если в хромосоме нет изучаемого признака, индекс не ставится.

Так же следует отметить, что половые хромосомы, определяющие пол, могут отличаться у разных видов. Например, у млекопитающих и растений женский пол гомогаметный и обозначается XX, а мужской пол гетерогаметный и обозначается XY. У птиц, некоторых амфибий и пресмыкающихся, наоборот, женский пол гетерогаметен и обозначается XY или WZ, чтобы подчеркнуть отличия, а мужской пол гомогаметен и обозначается XX или WW. Так же встречается гаплоидное определение пола, например, у пчел самцы имеют генотип X0, а самки XX.

1. Пыльцой мужского растения дрёмы с зелеными листьями опыляют цветки женских растений с желто-зелеными листьями. В F_1 женские растения имеют зеленые листья, а мужские—желто-зеленые. Какое будет F_2 ?

Решение:

В потомстве F_1 мы наблюдаем наследование по принципу крис-кросс, т.е. женские растения унаследовали фенотип от отца, а мужские от матери. Это означает что, материнские растения были гомозиготны по рецессивному аллелю, а мужские по доминантному. Таким образом запись схемы скрещивания в задаче будет выглядеть:



2. У кошек желтая окраска шерсти определяется доминантным геном B, черная — b. Гетерозигота Bb имеет черепаховую окраску шерсти. Ген B сцеплен с полом. Какие могут быть котята, если кот черный, а кошка желтая? Если кот черный, а кошка черепаховая? Может ли кот иметь черепаховую окраску?

3. Женщина невероятно взволнована случайно полученной от «доброжелателей» информацией о тайне семьи своего мужа. Оказалось, что ее муж, и его братья, и их отец – все они в раннем детстве прошли через хирургическое отделение ЦРБ родного города, где каждому из них была сделана однотипная операция по ликвидации перепончатости (перепонки между указательным и средним пальцами рук). И хотя все эти мужчины неизменно успешно избавлялись от данного врожденного дефекта и пытались воодушевленно убедить женщину, насколько это безболезненно и легко устранимо, женщина обратилась за советом к медикам.

Как будут выглядеть дети, рожденные от одного из представителей этого, по меньшей мере странного «перепончатого» семейства: мальчики? девочки?

4. Селекционеры в некоторых случаях могут определить пол только что вылупившихся цыплят. При каких генотипах родительских форм, возможно это сделать, если известно, что гены золотистого (коричневого) и серебристого (белого) оперения расположены в X – хромосоме и ген золотистого оперения рецессивен по отношению к серебристому?

5. У кур полосатая окраска оперения определяется доминантным сцепленным с полом геном В, черная — в, темная окраска кожи зависит от аутосомного гена S, белая—s; розовидный гребень—R, листовидный— r. Аутосомный ген С в гетерозиготном состоянии (Сс) обуславливает коротконогость, а в гомозиготном (СС) имеет летальный эффект, рецессивная гомозигота (сс) имеет нормальную длину ног.

а) Петух черный темнокожий с листовидным гребнем; курица полосатая белокожая с листовидным гребнем. Какие могут быть цыплята?

б) Черный темнокожий петух с розовидным гребнем скрещен с полосатой темнокожей курицей, имеющей листовидный гребень. Среди цыплят 6 полосатых темнокожих петушков, 2 полосатых белокожих петушка, 5 черных темнокожих курочек и 2 черные белокожие курочки. Все цыплята с розовидным гребнем. Каковы генотипы родителей?

в) Полосатый белокожий петух с листовидным гребнем и черная темнокожая курица с розовидным гребнем дали 18 цыплят — все полосатые темнокожие с розовидным гребнем. Попробуйте определить генотипы родителей.

г) Коротконогого полосатого петуха скрещивают с коротконогой черной курицей. Каковы будут F_1 и F_2 ?

б. Здоровый мужчина альбинос женится на здоровой женщине, чей отец был гемофилик, а мать—альбинос. Какие дети могут быть от этого брака и в какой пропорции?

4. Спорофитная самонесовместимость. Решение задач на определения типа взаимодействия S-аллелей.

Перекрестное опыление у представителей семейства крестоцветные поддерживается системой самонесовместимости, при этом сортовые популяции имеют очень большую гетерогенность.

Спорофитная несовместимость контролируется одним s-локусом со множественными аллелями, а реакция пыльцы определяется геномом соматической ткани, в которой она образуется. Порядок доминантности s-аллелей в основном является линейным. Между s-аллелями, наряду с доминированием, наблюдается и независимое действие. По доминированию аллели находятся на разных уровнях; члены одного уровня доминируют над любым аллелем низшего уровня, но действуют независимо от членов своей группы. Отмечены также случаи нелинейного доминирования.

К настоящему времени в семействе Brassicaceae предполагается наличие до 50 аллелей в s-локусе (их принято обозначать S1, S2, S3...S50).

Установлено наличие в популяциях пяти типов самонесовместимых растений по взаимодействию s-аллелей в пыльце и рыльце: один s-аллель доминирует над другим в пыльце и рыльце; доминирование в пыльце, независимое действие в рыльце; независимое действие в пыльце, доминирование в рыльце. Редко встречается доминирование одного s-аллеля в пыльце, а другого – в рыльце. Растения с таким типом взаимодействия аллелей являются самосовместимыми бракуются уже на первом этапе.

1 тип

В пыльце $S_1 > S_2$

В рыльце $S_1 > S_2$

	S_1S_1	S_1S_2	S_2S_2
S_1S_1	S	S	F
S_1S_2	S	S	F
S_2S_2	F	F	S

2 тип

В пыльце $S_1 > S_2$

В рыльце $S_1 : S_2$

	S_1S_1	S_1S_2	S_2S_2
S_1S_1	S	S	F
S_1S_2	S	S	S
S_2S_2	F	F	S

3 тип

В пыльце $S_1 : S_2$

В рыльце $S_1 > S_2$

	S_1S_1	S_1S_2	S_2S_2
S_1S_1	S	S	F
S_1S_2	S	S	F
S_2S_2	F	S	S

4 тип

В пыльце $S_1 : S_2$

В рыльце $S_1 : S_2$

	S_1S_1	S_1S_2	S_2S_2
S_1S_1	S	S	F
S_1S_2	S	S	S
S_2S_2	F	S	S

5 тип

В пыльце $S_1 > S_2$

В рыльце $S_1 < S_2$

	S_1S_1	S_1S_2	S_2S_2
S_1S_1	S	S	F
S_1S_2	F	F	S
S_2S_2	F	F	S

Рис.1. Схема типов взаимодействия S-аллелей

В зависимости от типа взаимодействия s-аллелей в пыльце и рыльце наблюдаются различные взаимодействия по совместимости между растениями первого инбредного поколения, полученного от гетерозиготного по s-аллелям растения. Это инбредное потомство расщепляется в соотношении 1:2:1 на гомозиготы по одному s-аллелю, гетерозиготы и гомозиготы по-другому. Растения внутри каждой группы реципрокно несовместимы друг с другом. Гетерозиготы реципрокно несовместимы с гомозиготами по доминантному s-аллелю. Совместимость гетерозигот с гомозиготами по рецессивному s-аллелю определяется типом взаимодействия s-аллелей в пыльце и рыльце.

В пределах инцухт-линии совместимое опыление может произойти только либо между инбредными растениями, гомозиготными по двум различным s-аллелям, либо если один аллель доминантный – между гетерозиготой и инбредной гомозиготой по рецессивному s-аллелю.

Для анализа обязательно нужно взять гетерозиготное растение по гену самонесовместимости (сортовая популяция, F1 гибрид), после самоопыления которого, по крайней мере 13 инбредных растений первого поколения содержат обе гомозиготы с вероятностью 95%. Все растения первого поколения скрещивают друг с другом по диаллельной схеме, с последующим подсчетом семян в каждой комбинации.

1. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

Решение: обработку данных проводят с помощью решетки Пеннета. Сначала выбирают комбинации, которые реципрокно совместимы друг с другом. При втором, третьем и четвертом типах взаимодействия они могут быть только гомозиготами по разным S аллелям. Одно из таких растений гомозигот, которое также дает совместимые скрещивания с другими растениями этого же потомства, имеет доминантный S-аллель, другая – рецессивный.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	10	16	0,4	12	14	16	18	19	0,6	16	15	12
2	11	0	0	12	0	0	0	0	0	14	0	0	0
3	12	0	0	14	0	0	0	0	0	16	0	0	0
4	0,6	12	16	0,8	18	14	16	18	17	0,6	16	16	14
5	14	0	0	16	0	0	0	0	0	14	0	0	0
6	12	0	0	16	0	0	0	0	0	18	0	0	0
7	9	0	0	18	0	0	0	0	0	20	0	0	0
8	16	0	0	20	0	0	0	0	0	22	0	0	0
9	15	0	0	16	0	0	0	0	0	21	0	0	0
10	0,6	14	14	0,4	18	12	14	16	18	0,6	18	16	18
11	12	0	0	14	0	0	0	0	0	18	0	0	0

12	14	0	0	16	0	0	0	0	0	16	0	0	0
13	12	0	0	18	0	0	0	0	0	14	0	0	0

После анализа совместимости рисуют пустую решетку Пеннета, в которой участвующие в анализе растения располагают в соответствии с их генотипом по S-аллелям: по горизонтали слева – гомозиготы по доминантному S-аллелю, в середине – гетерозиготы, справа – рецессивные гомозиготы. Точно в таком же порядке их транспонируют среди опыляемых растений (по вертикали). В модифицированную таблицу переносят данные согласно материнским и отцовским растениям:

№	2	3	5	6	7	8	9	11	12	13	1	4	10
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	12	16
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	14	16
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	16	14
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	16	18
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	18	20
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	20	22
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	16	21
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	14	18
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	16	16
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	18	14
1	10	16	12	14	16	18	19	16	15	12	1	0,4	0,6
4	12	16	18	14	16	18	17	16	16	14	0,6	0,8	0,6
10	14	14	18	12	14	16	18	18	16	18	0,6	0,4	0,6

В результате анализа можно достоверно установить, что тип взаимодействия S-аллелей – 1 тип (см. рис.1), что делает невозможным фенотипическое разделение доминантных гомозигот от гетерозигот, но можно утверждать, что любое из растений №1, №4 и №10 обладают генотипом рецессивной гомозиготы (например S_2S_2).

2. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	8	0	0	0	0	0	15	26	0	0	0
2	0	0	17	0	0	0	0	0	17	17	0	0	0
3	0	20	0	0	0	0	22	23	0	0	0	25	0
4	0	0	17	0	0	0	0	0	10	9,3	0	0	0
5	0	0	18	0	0	0	0	0	18	18	0	0	0
6	0	0	25	0	0	0	0	0	23	25	0	0	0
7	0	0	15	0	0	0	0	0	15	21	0	0	0
8	0	0	24	0	0	0	0	0	20	24	0	0	0

№8 (23 семян/стручок) и №12 (25 семян/стручок). Другие растения из рецессивных гомозигот (№9 и №10) по горизонтали имеют фертильные скрещивания с аналогичными растениями (2, 7, 8 и 12, но имеют другие данные о среднем количестве семян на 1 стручок).

№	2	7	8	12							3	9	10
2	0	0	0	0							17	17	17
7	0	0	0	0							15	15	21
8	0	0	0	0							24	20	24
12	0	0	0	0							14	17	22
3	20	22	23	25							0	0	0
9	20	29	25	28							0	0	0
10	17	15	21	18							0	0	0

Поэтому логично предположить, что растения №2, №7, №8 и №12 ведут себя как доминантные гомозиготы и мы их номера располагаем в начале таблицы, одновременно переносим данные о количестве семян на 1 стручок из первоначальной таблицы. Оставшиеся номера растений располагаем в оставшееся место по ранжиру оставшихся номеров (№1, №4, №5, №6, №11 и №13), они будут иметь генотип гетерозиготы по аллелям гена самонесовместимости, одновременно переносим данные о количестве семян на 1 стручок из первоначальной таблицы:

№	2	7	8	12	1	4	5	6	11	13	3	9	10
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17	17
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	21
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	20	24
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	17	22
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15	26
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	10	9,3
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	18	18
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	23	25
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	26	24
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	14	15
3	20	22	23	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	29	25	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	17	15	21	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0

В результате анализа можно достоверно установить, что тип взаимодействия S-аллелей – 3 тип (см. рис.1). А также можно утверждать,

что любое из растений №3, №9 и №10 обладают генотипом рецессивной гомозиготы (например S_2S_2), а любое из растений №2, №7, №8 и №12 – доминантной гомозиготы (например S_1S_1).

3. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	22	0	0	0	23	0	0	0	33	0	0
2	0	0	26	0	0	0	28	0	0	0	18	0	0
3	32	29	0	18	25	14	0	28	22	26	0	30	18
4	0	0	29	0	0	0	29	0	0	0	24	0	0
5	0	0	25	0	0	0	29	0	0	0	31	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	16	18	0	24	25	24	0	18	17	19	0	16	24
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	20	23	0	29	27	18	0	19	20	18	0	13	18
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	8	0	0	0	0	0	15	26	0	0	0
2	0	0	17	0	0	0	0	0	17	17	0	0	0
3	0	20	0	0	0	0	22	23	0	0	0	25	0
4	0	0	17	0	0	0	0	0	10	9,3	0	0	0
5	0	0	18	0	0	0	0	0	18	18	0	0	0
6	0	0	25	0	0	0	0	0	23	25	0	0	0
7	0	0	15	0	0	0	0	0	15	21	0	0	0
8	0	0	24	0	0	0	0	0	20	24	0	0	0
9	0	20	0	0	0	0	29	25	0	0	0	28	0
10	0	17	0	0	0	0	15	21	0	0	0	18	0
11	0	0	11	0	0	0	0	0	26	24	0	0	0
12	0	0	14	0	0	0	0	0	17	22	0	0	0
13	0	0	13	0	0	0	0	0	14	15	0	0	0

5. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	22	0	0	0	23	0	0	0	33	0

2	0	0	0	26	0	0	0	28	0	0	0	18	0
3	0	0	0	29	0	0	0	29	0	0	0	24	0
4	32	29	18	0	25	14	28	0	22	26	30	0	18
5	0	0	0	25	0	0	0	29	0	0	0	31	0
6	0	0	0	26	0	0	0	21	0	0	0	16	0
7	0	0	0	18	0	0	0	15	0	0	0	14	0
8	16	18	24	0	25	24	18	0	17	19	16	0	24
9	0	0	0	15	0	0	0	24	0	0	0	20	0
10	0	0	0	19	0	0	0	23	0	0	0	22	0
11	0	0	0	26	0	0	0	16	0	0	0	12	0
12	20	23	29	0	27	18	19	0	20	18	13	0	18
13	0	0	0	22	0	0	0	19	0	0	0	18	0

6. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	25	13	0	0	0	30	0	0	0	24	0
3	0	14	0	0	0	19	0	0	0	21	0	0	0
4	0	28	0	0	0	25	0	0	0	23	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	25	26	0	0	0	28	0	0	0	18	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	22	0	0	0	26	0	0	0	15	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	23	24	0	0	0	25	0	0	0	29	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	13	0	0	0	23	0	0	0	30	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	12	3	11	4	10	6	2	7	8	13	9	5
1	0	16	0	15	0	0	0	0	0	0	21	0	0
12	9	0	20	0	16	19	14	18	14	18	0	18	16
3	0	16	0	14	0	0	0	0	0	0	16	0	0
11	12	0	18	0	16	21	12	16	12	16	0	18	15
4	0	10	0	18	0	0	0	0	0	0	16	0	0
10	12	0	16	0	16	22	18	14	10	16	0	12	18
6	12	0	18	0	14	14	18	16	17	16	0	16	16
2	0	14	0	12	0	0	0	0	0	0	18	0	0
7	14	0	18	0	12	18	16	14	18	18	0	16	14
8	14	0	18	0	18	24	19	16	12	14	0	18	19

13	16	0	22	0	18	17	18	20	16	16	0	18	16
9	14	0	18	0	18	18	17	16	16	12	0	14	17
5	10	0	12	0	14	12	18	16	19	16	0	15	16

8. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	9	0	18	21	0	0	2	0	0	0	0
2	0	0	14	0	16	8	0	0	0	0	0	0	0
3	6	0	0	0	0	4	0	22	0	24	4	0	8
4	0	2	20	5	19	22	0	0	0	0	4	2	0
5	0	0	3	0	1	0	0	9	0	22	0	1	18
6	0	1	0	0	0	0	0	22	0	21	0	0	31
7	1	0	8	0	8	19	3	4	0	0	0	0	0
8	0	0	22	0	24	22	0	1	1	0	0	0	0
9	0	0	20	0	18	9	0	0	0	5	0	0	4
10	0	0	21	0	8	32	0	0	0	0	0	2	0
11	0	0	9	2	27	8	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	18	0	20	21	0	0	4	0	0	0	0
13	0	5	16	0	22	9	1	0	0	2	0	0	6

9. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	23	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0
2	20	0	28	26	28	29	25	34	0	30	28	28	24
3	0	17	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0
4	0	25	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0
5	0	29	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0
6	0	23	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0
7	0	19	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0
8	0	19	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0
9	27	0	26	28	20	19	19	26	0	24	20	24	26
10	0	25	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0
11	0	23	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0
12	0	26	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0
13	0	20	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0

10. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	17	0	0	0	0	0	17	17	0	0	0
2	0	0	15	0	0	0	0	0	15	21	0	0	0
3	20	22	0	23	25	8	15	26	0	0	25	23	25

4	0	0	24	0	0	0	0	0	20	24	0	0	0
5	0	0	14	0	0	0	0	0	17	22	0	0	0
6	0	0	18	0	0	0	0	0	17	25	0	0	0
7	0	0	22	0	0	0	0	0	28	29	0	0	0
8	0	0	23	0	0	0	0	0	26	25	0	0	0
9	20	29	0	25	28	17	10	9,3	0	0	11	26	24
10	17	15	0	21	18	18	18	18	0	0	13	14	15
11	0	0	19	0	0	0	0	0	24	15	0	0	0
12	0	0	24	0	0	0	0	0	14	23	0	0	0
13	0	0	23	0	0	0	0	0	22	20	0	0	0

11. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	25	13	30	0	24	18	0	25	22	22	19	27
2	14	0	0	0	19	0	0	21	0	0	0	0	0
3	28	0	0	0	25	0	0	23	0	0	0	0	0
4	22	0	0	0	26	0	0	15	0	0	0	0	0
5	0	25	26	28	0	18	26	0	26	28	18	31	25
6	13	0	0	0	23	0	0	30	0	0	0	0	0
7	22	0	0	0	23	0	0	33	0	0	0	0	0
8	0	23	24	25	0	29	30	0	24	29	19	20	26
9	26	0	0	0	28	0	0	18	0	0	0	0	0
10	29	0	0	0	29	0	0	24	0	0	0	0	0
11	25	0	0	0	29	0	0	31	0	0	0	0	0
12	18	0	0	0	23	0	0	18	0	0	0	0	0
13	22	0	0	0	14	0	0	16	0	0	0	0	0

12. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	23	0	0	0	22	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	34	20	30	0	28	26	28	0	28	28	24	29	25
5	0	0	0	17	0	0	0	13	0	0	0	0	0
6	0	0	0	25	0	0	0	27	0	0	0	0	0
7	0	0	0	29	0	0	0	24	0	0	0	0	0
8	26	27	24	0	26	28	20	0	20	24	26	19	19
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	23	0	0	0	22	0	0	0	0	0

13	0	0	0	19	0	0	0	21	0	0	0	0	0
----	---	---	---	----	---	---	---	----	---	---	---	---	---

13. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	17	0	0	0	0	0	17	17	0	0	0
3	8	20	0	15	26	25	22	23	0	0	23	25	25
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	15	0	0	0	0	0	15	21	0	0	0
8	0	0	24	0	0	0	0	0	20	24	0	0	0
9	17	20	0	10	9,3	11	29	25	0	0	26	28	24
10	18	17	0	18	18	13	15	21	0	0	14	18	15
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	14	0	0	0	0	0	17	22	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

14. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	19	21	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	18	25	25	22	22	0	13	19	30	24	0	0	27
7	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	25	23	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	26	15	0
10	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	23	30	0
11	26	26	25	28	18	0	26	31	28	18	0	0	25
12	30	24	23	29	19	0	24	20	25	29	0	0	26
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

15. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	25	13	0	30	0	24	0	0	0
2	18	0	0	25	0	0	0	0	0	0	22	0	0
3	26	0	0	26	0	0	0	0	0	0	28	0	0
4	0	0	0	0	25	26	0	28	0	18	0	0	0

5	14	0	0	19	0	0	0	0	0	0	21	0	0
6	28	0	0	25	0	0	0	0	0	0	23	0	0
7	30	0	0	24	0	0	0	0	0	0	29	0	0
8	22	0	0	26	0	0	0	0	0	0	15	0	0
9	22	0	0	19	0	0	0	0	0	0	27	0	0
10	13	0	0	23	0	0	0	0	0	0	30	0	0
11	0	0	0	0	23	24	0	25	0	29	0	0	0
12	18	0	0	31	0	0	0	0	0	0	25	0	0
13	19	0	0	20	0	0	0	0	0	0	26	0	0

16. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	23	0	0	0	28	0	0	0	0	30	0	0
2	0	0	0	32	0	0	0	0	29	0	0	18	25
3	0	26	0	0	0	26	0	0	0	0	25	0	0
4	0	22	0	0	0	23	0	0	0	0	33	0	0
5	0	18	0	0	0	24	0	0	0	0	29	0	0
6	0	0	0	16	0	0	0	0	18	0	0	24	25
7	0	15	0	0	0	25	0	0	0	0	27	0	0
8	0	23	0	0	0	23	0	0	0	0	26	0	0
9	0	26	0	0	0	28	0	0	0	0	18	0	0
10	0	22	0	0	0	20	0	0	0	0	23	0	0
11	0	0	0	20	0	0	0	0	23	0	0	29	27
12	0	29	0	0	0	29	0	0	0	0	24	0	0
13	0	25	0	0	0	29	0	0	0	0	31	0	0

17. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	21	0	0
2	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	34	0	0
3	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	22	0	0
4	0	0	20	0	28	26	0	0	28	0	0	29	0
5	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	13	0	0
6	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	27	0	0
7	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	26	0	0
8	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	28	0	0
9	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	24	0	0
10	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	20	0	0
11	0	0	27	0	26	28	0	0	20	0	0	19	0
12	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	22	0	0
13	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	24	0	0

18. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	9	0	8	11	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	12	0	6	9	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	12	0	14	0	0	7
4	0	0	10	0	9	12	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	14	0	12	0	0	8
6	0	0	0	0	0	0	0	12	0	11	0	0	14
7	0	0	12	0	11	9	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	12	0	14	12	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	10	0	8	9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	11	0	9	11	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	9	0	8	6	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	8	0	10	11	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	6	0	12	13	0	0	0	0	0	0	0

19. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	22	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	13	0	0
8	20	0	0	0	0	0	28	0	26	28	0	0	29
9	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	27	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	24	0	0
11	27	0	0	0	0	0	26	0	28	20	0	0	19
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	22	0	0

20. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	24	0	22	0	0	23	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	18	0	0	0	0	0	19	25	0	0	22	23
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7	0	13	0	0	0	0	0	18	24	0	0	29	22
8	0	0	0	0	28	0	23	0	0	24	0	0	0
9	0	0	0	0	19	0	24	0	0	22	0	0	0
10	0	20	0	0	0	0	0	25	24	0	0	14	18
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	23	0	18	0	0	25	0	0	0
13	0	0	0	0	25	0	19	0	0	20	0	0	0

21. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	28	0	26	28	0	0	0	20	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	29	0	23	24	0	0	0	25	0
4	0	0	0	0	24	0	18	26	0	0	0	26	0
5	24	0	25	19	0	0	0	0	26	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	23	0	18	19	0	0	0	0	23	0	0	0	0
8	28	0	30	25	0	0	0	0	24	0	0	0	0
9	0	0	0	0	19	0	19	25	0	0	0	26	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	26	0	27	24	0	0	0	0	25	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

22. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	32	29	0	0	0	18	0	0	0	25
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	22	0	0	0	23	0	0	0	0	33	0	0
5	0	26	0	0	0	28	0	0	0	0	18	0	0
6	0	0	0	16	18	0	0	0	24	0	0	0	25
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	29	0	0	0	29	0	0	0	0	24	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	20	23	0	0	0	29	0	0	0	27
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	25	0	0	0	29	0	0	0	0	31	0	0

23. Определите тип взаимодействия S-аллелей. Какие растения являются гомозиготами по гену самонесовместимости?

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	12	0	8	0	9	0	11	0	9	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	14	0	9	0	10	0	12	0	8	0
4	8	0	12	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	10	0	12	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	11	0	11	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	0	9	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0
11	0	0	0	12	0	8	0	12	0	11	0	9	0
12	12	0	8	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5. Инбридинг. Определение уровня инбридинга.

Принудительное самоопыление перекрестноопыляемых растений или близкородственное разведение животных называют инцухтом или инбридингом. Полученное потомство - инцухт-потомством или инбридинг-потомством. $I_1, I_2, I_3 \dots I_n$. Инбридинг - принудительное самооплодотворение перекрестноопыляемых растений или гибридизация особей одного потомства, сибсов.

Много работ по изучению действия инбридинга было проведено с кукурузой. При самоопылении этого перекрестноопыляющегося растения все растения потомства оказывались значительно менее жизнеспособными и плодовитыми, они имели меньший рост, слабее развитые органы. Такое снижение жизнеспособности растений в результате инцухта (инбридинга) называется инцухт-депрессия или инбредная депрессия. Особенно сильно депрессия проявляется в первых поколениях. От поколения к поколению разница в жизнеспособности уменьшается. И примерно к шестому-седьмому поколению достигает какого-то стабильного (устойчивого) уровня,

называемого инцухт-минимумом или инбредным минимумом. При дальнейшем инцухтировании снижения жизнеспособности не наблюдается.

Причиной снижения жизнеспособности является наступающая при инбридинге гомозиготность по рецессивным летальным и суб-летальным или снижающим жизнеспособность генам, а также появление неприспособленных генотипов, которые редко возникают в исходной популяции. Считают также, что другой причиной инцухт-депрессии является нарушение сбалансированности полигенной системы.

Еще одной особенностью инбридинга является выравнивание растений по их признакам в пределах отдельных семей (потомство одного растения). А различие между семьями, наоборот, усиливается. Сорт как бы распадается на свои составные части, давая начало целому ряду линий, отличающихся друг от друга по многим морфологическим и физиологическим признакам.

Инбридинг с одной стороны является нежелательным явлением, приводящим к снижению жизнеспособности и плодовитости потомства, а с другой стороны он находит широкое применение в генетике и селекции, так как позволяет генетическое выравнивание селекционного материала в результате перевода большинства аллелей в гомозиготное состояние.

Кроме того, достигается возможность выявления в сортовой популяции отрицательных рецессивных аллелей и её очистка от них. И вместе с тем возможность отбора на полезные признаки, определяемые рецессивными аллелями, отбор форм с наиболее удачным сочетанием этих признаков. Свободное переопыление таких форм позволит устранить инбредную депрессию и получить новую популяцию, насыщенную полезными генами.

1. Какое соотношение гомозигот и гетерозигот будет во 2-м поколении инбридинга, если первоначальное растение было гетерозиготой 100% по одному гену?

Решение: при самоопылении генотипа Аа в первом поколении инбридинга будет идти расщепление по генотипам в соотношении 1:2:1, или

1 AA : 2 Aa : 1aa. То есть, соотношение гетерозигот к гомозиготам изменилось от 100 % гетерозигот у исходного растения, к 50 % гетерозигот (Aa) и 50 % гомозигот (AA, aa).

Если все генотипы (AA, Aa, aa) подвергнуть самоопылению, то только у гетерозигот будет идти расщепление, а гомозиготы оставят такое же потомство. Т.е. у исходной популяции было соотношение гомозигот к гетерозиготам 1:1, а изменилось в сторону 3 (гомозигот) : 1 (гетерозигот). Другими словами: гомозигота AA даст поколение, состоящее из 4 гомозигот AA; 2 гетерозиготы Aa дадут расщепление по генотипам: 2 AA : 4 Aa : 2 aa; гомозигота aa даст поколение, состоящее из 4 гомозигот aa; т.е. второе инбредное поколение будет состоять из 12 частей гомозигот (AA и aa) и 4 частей гетерозигот (Aa). Правильный ответ: 3 части гомозигот и 1 часть гетерозигот.

2. Какое соотношение гомозигот и гетерозигот будет в 3-м поколении инбридинга, если первоначальное растение было гетерозиготой 100%?

3. Какое соотношение гомозигот и гетерозигот будет в 4-м поколении инбридинга, если первоначальное растение было гетерозиготой 100%?

4. Какое соотношение гомозигот и гетерозигот будет в 5-м поколении инбридинга, если первоначальное растение было гетерозиготой 100%?

5. Какое соотношение гомозигот и гетерозигот будет в 6-м поколении инбридинга, если первоначальное растение было гетерозиготой 100%?

6. Какое соотношение гомозигот и гетерозигот будет в 3-м поколении инбридинга, если первоначальное растение было гетерозиготой 100% по двум генам?

7. Какое соотношение гомозигот и гетерозигот будет в 4-м поколении инбридинга, если первоначальное растение было гетерозиготой 100% по двум генам?

8. Какое соотношение гомозигот и гетерозигот будет в 5-м поколении инбридинга, если первоначальное растение было гетерозиготой 100% по двум генам?

9. Какое соотношение гомозигот и гетерозигот будет в 6-м поколении инбридинга, если первоначальное растение было гетерозиготой 100% по двум генам?

10. Какое соотношение гомозигот и гетерозигот будет в 7-м поколении инбридинга, если первоначальное растение было гетерозиготой 100% по двум генам?

11. Какое соотношение гомозигот и гетерозигот будет в 8-м поколении инбридинга, если первоначальное растение было гетерозиготой 100% по двум генам?

6. Гетерозис. Расчет истинного и конкурсного гетерозиса

После того, как было установлено наличие пола у растений и проведены первые скрещивания, было обнаружено, что в отдельных случаях гибридные растения отличаются от родительского более мощным ростом и высокой жизненностью и продуктивностью.

Гетерозис – увеличение мощности, жизненности и продуктивности гибридов первого поколения по сравнению с родительскими формами.

Гетерозис проявляется у разных признаков растений. Он чаще всего проявляется в увеличении размеров всех органов, но нередко наблюдается на отдельных органах - листьях, соцветиях, плодах, междоузлиях и утолщении стебля. При изучении биологических особенностей гетерозис проявляется в виде ускорения роста и более раннем созревании растений в сравнении с родительскими. Часто отмечаются изменения физиологических признаков - усиление зимостойкости, засухоустойчивости и устойчивости против вирусных, грибковых и бактериальных заболеваний. Наблюдается повышение содержания сухих веществ.

Тот или иной тип проявления гетерозиса и степень изменчивости выражения признака при этом в основном зависят от подбора скрещиваемых компонентов. Обычно гетерозис бывает тем сильнее выражен, чем больше различаются скрещиваемые формы по морфологическим, биологическим, физиологическим и другим признакам. Особенно сильно проявляется гетерозис, если скрещиваемые сорта относятся к разным группам по скороспелости, способу выращивания, если районированы они в разных климатических зонах или культивируются в разное время года, при скрещивании инбредных линий перекрестноопыляющихся растений, полученных в результате самоопыления в течение нескольких поколений.

Можно подобрать такие пары сортов, скрещивание которых позволит получить гибриды, превышающие родительские формы не только по качеству продукта, но и по урожайности (на 20—30 %, иногда более чем на 50 %).

На отдельных признаках гетерозис проявляется весьма различно. Особенностью гетерозиса является наиболее сильное проявление у гибридов первого поколения, резкое снижение во втором и дальнейшее затухание в последующих поколениях.

Большое внимание в генетических исследованиях уделяют изучению степени и характера проявления гетерозиса у гибридов первого поколения. Их оценивают по элементам продуктивности и устанавливают степень проявления истинного, гипотетического и конкурсного гетерозиса.

Истинный гетерозис (Гист) – способность растений F1 превосходить по конкретному признаку или их комплексу лучшую из родительских форм. Его определяют в процентах по следующей формуле:

$$\text{Гист.} = \frac{F1 - P_{л}}{P_{л}} \times 100\%$$

Где F1 – показатель значения у гибрида первого поколения, P_л – показатель значения лучшего из родителей.

Однако истинный не характеризует ценность данной комбинации, ее характеризует **конкурсный** гетерозис (Гконк.). Он показывает, на сколько процентов растения F1 данной гибридной комбинации превосходят районированный сорт или гибрид. Конкурсный гетерозис рассчитывают по формуле

$$\text{Гконк.} = \frac{F1 - St}{St} \times 100\%$$

1. При скрещивании двух чистых линий гороха получены следующие результаты:

	Урожайность семян, ц/га	Высота растений, см
P1	25,0	45
P2	17,6	43
F1	26,2	51

Вычислите истинный гетерозис по урожаю и высоте растений.

Решение: основываясь на формуле истинного гетерозиса производим расчет для урожая: Гист.= (26,2-25)/25x100%=4,8%.

Делаем этим способом расчеты для высоты растений: Гист. = (51-45)/45x100%=13,3%.

2. При скрещивании трех чистых линий редиса, получились следующие результаты диаллельного анализа по средней урожайности корнеплодов:

№ линий	1	2	3
1	0,5 кг/кв.м	2 кг/кв.м	3 кг/кв.м
2	1 кг/кв.м	0,8 кг/кв.м	4 кг/кв.м
3	2 кг/кв.м	3 кг/кв.м	0,4 кг/кв.м
Стандарт – 3 кг/кв.м			

Вычислите показатели конкурсного гетерозиса лучшей гибридной комбинации, вычислите истинный гетерозис лучшей гибридной комбинации.

Решение: лучшая урожайность отмечена у гибрида №3х№2 (4 кг/кв.м).

Основываясь на формуле конкурсного гетерозиса производим расчет:

$$Г_{\text{конк.}} = (4-3)/3 \times 100\% = 33,3\%.$$

Основываясь на формуле истинного гетерозиса производим расчет:

$$Г_{\text{ист.}} = (4-0,8)/0,8 \times 100\% = 400\%$$

3. При скрещивании 4 чистых линий белокочанной капуста методом полных диаллельных скрещиваний получились следующие результаты средней массы кочана:

№ линий	1	2	3	4
1	0,8	2	5	2
2	4	0,9	4	3
3	2	4	0,6	8
4	3	5	3	0,7

Стандарт: 5

Вычислите показатели конкурсного гетерозиса лучшей и худшей гибридной комбинации. Вычислите истинный гетерозис всех гибридных комбинации, постройте ранжированный список комбинаций по этому показателю от меньшего к большему.

4. При скрещивании методом топкросса чистых линий огурца были получены следующие данные по урожайности гибридов и родительских линий (кг/кв.м):

Линии	♂№1	♂№2	♂№3	♂№4	♂№5	Показатели родителей
♀№11	26	32	38	22	23	21
♀№12	42	12	23	25	26	25
♀№13	23	21	24	22	13	31
Показатели родителей	19	24	26	21	22	-

Стандарт Маша: 35, Стандарт Кураж: 32

Вычислите показатели конкурсного гетерозиса (по сравнению с лучшим стандартом) лучшей и худшей гибридной комбинации. У каких гибридных комбинаций не наблюдается истинного гетерозиса?

7. Комбинационная способность. Определение общей комбинационной способности

В зависимости от этапа работы, особенностей биологии цветения селективируемых растений и поставленной цели селекции применяют различные методы оценки комбинационной способности, как простейшие, так и очень сложные. Среди них различают поликросс, топкросс, взаимный топкросс, скрещивание двух групп генотипов и диаллельные скрещивания.

Общая комбинационная способность линии - это средний эффект, который данная линия обеспечивает группе гибридов, полученных с её участием.

Обычно эффект общей комбинационной способности определяют как положительную или отрицательную разницу между средней величиной признака у гибридов, полученных с её участием, и средней величиной признака у всего комплекса гибридов, полученных с участием данной и группы других линий. Таким образом, эффект общей комбинационной способности сорта или линии может быть выражен положительной или отрицательной величиной в единицах измерения признака.

$$OKC = \frac{y1 - x}{y2 - x} / 2$$

Где, $y1$ – средний показатель у прямых гибридов с участием линии 1 , $y2$ – средний показатель у обратных гибридов с участием линии 1 , x – средняя популяционная

Естественно, что высокий показатель эффекта общей комбинационной способности конкретной линии применим при сравнении её качества с другими линиями данного комплекса скрещиваний. Но вместе с тем он в какой-то мере указывает на перспективу её использования в гибридизации с

другими линиями, в других селекционных программах. Генетический анализ показывает, что эффект общей комбинационной способности определяется преимущественно аддитивным и частично доминантным действием полигенов.

Специфическая комбинационная способность линий – способность пары родительских линий или сортов данной комбинации скрещивания давать дополнительный эффект проявления признака.

Этот эффект может быть как больше, так и меньше того, который ожидали на основании суммарного действия эффектов общей комбинационной способности обоих родителей. Генетически эффект специфической комбинационной способности определяется сверхдоминантным и эпистатическим взаимодействием полигенов линий данной родительской пары. Вычисляют эффект специфической комбинационной способности по разнице между проявлением признака у данного гибрида и суммой эффектов общей комбинационной способности родителей и величины средней популяционной всех анализируемых гибридов. Выражают эффект специфической комбинационной способности в единицах измерения признака.

$$СКС_{12} = \frac{[a + b]}{2} - ОКС_1 - ОКС_2 - x$$

Где, *СКС 12* – эффект специфической комбинационной способности у гибридов между линией 1 и 2, *a* – показатель прямого гибрида, *b* – показатель обратного гибрида, *ОКС* – показатель эффекта *ОКС* линии 1, *ОКС2* – показатель эффекта *ОКС* линии 2, *x* – средняя популяционная.

Реципрокный эффект вычисляют как разницу между проявлением признака у прямого и обратного гибрида, полученных при скрещивании двух линий.

Это результат действия полигенов цитоплазмы на проявление признака или взаимодействия цитоплазмы с гетерозиготным генотипом ядра.

Его определение необходимо при селекции гибридов F1 перекрестноопыляемых растений на базе самонесовместимости, когда гибридные семена собирают с обеих родительских линий вместе. В этом случае важно, чтобы величина реципрокного эффекта была бы возможно меньше, так как его наличие приводит к некоторому разнообразию гибридов.

При селекции гибридов самоопыляющихся растений, у которых гибридные семена производят скрещиванием вручную, наоборот, при наличии реципрокного эффекта важно в качестве материнского компонента скрещивания использовать ту линию, цитоплазма которой обеспечивает положительное влияние на его проявление.

1. При скрещивании 3 чистых линий кабачка методом полных диаллельных скрещиваний были получены следующие результаты по средней массе плода в товарной стадии спелости (кг):

Линии	1	2	3
1	0,2	0,4	0,3
2	0,5	0,2	0,3
3	0,4	0,6	0,1

Определите: каковы эффекты ОКС у исследуемых линий? Реципрокные эффекты у гибридов между линиями 1 и 3? Эффект СКС у комбинации между линиями 2 и 3?

Решение: для расчёта эффектов ОКС первой линии необходимо определить средние значения гибридов с участием этой линии. В первую очередь определим среднюю популяционную: $(0,2+0,4+0,3+0,5+0,2+0,3+0,4+0,6+0,1)/9=0,33$.

Во вторую очередь, необходимо определить средние значения прямых гибридов с участием линии 1: $(0,2+0,5+0,4)/3=0,36$ кг. Далее определим эффекты ОКС первой линии для прямых гибридов: $0,36-0,33=0,03$ кг.

Следующим шагом будет нахождение средних значений для обратных гибридов: $(0,2+0,4+0,3)/3=0,3$. Далее определим эффекты ОКС первой линии для обратных гибридов: $0,3-0,33=-0,03$ кг.

Для расчета ОКС для линии 1 необходимо найти среднее значение между ОКС прямых гибридов и ОКС обратных: $(0,03 + (-0,03))/2 = 0$ кг.

ОКС для линии 2. ОКС прямых гибридов: $[(0,4+0,2+0,6)/3]-0,33=0,07$ кг. ОКС для обратных гибридов: $[(0,5+0,2+0,3)/3]-0,33=0$. ОКС линии 2: $(0,07+0)/2=0,035$.

ОКС для линии 3. ОКС прямых гибридов: $[(0,3+0,3+0,1)/3]-0,33=-0,1$ кг. ОКС обратных гибридов: $[(0,4+0,6+0,1)/3]-0,33=0,03$. ОКС линии 3: $(-0,1+0,03)/2=-0,035$.

В итоге показатели ОКС родительских линий следующие: 0 кг (линия 1), 0,035 кг (линия 2), -0,035 кг (линия 3).

Рассчитаем реципрокный эффект у гибридов с участием линий 1 и 3: $0,4-0,3=0,1$ кг.

Рассчитаем эффект СКС для комбинации между линиями 2 и 3: $[(0,6-0,3)/2] - 0,035 - (-0,035) - 0,33 = -0,18$ кг.

2. При скрещивании 5 чистых линий лука методом полных диаллельных скрещиваний были получены следующие результаты по среднему диаметру луковицы в товарной стадии спелости (см):

Линии	1	2	3	4	5
1	3	2,9	4,5	5	6,2
2	2,9	2,5	6,6	4,2	3,4
3	6,3	3,6	1,9	3,7	4,6
4	5,8	2,8	4,4	4	6,4
5	4,5	7,6	3,9	6	2,8

Определите: каковы эффекты ОКС у исследуемых линий? Найдите варианты скрещиваний линий, где реципрокный эффект равен нулю? Рассчитайте эффекты СКС у комбинаций между линиями 1 и 3, и между 4 и 5?

3. При скрещивании 10 чистых линий моркови методом полных диаллельных скрещиваний были получены следующие результаты по средней длине (мм):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	102	134	173	100	223	236	284	215	404	382
2	220	136	162	130	161	263	240	235	333	335
3	179	173	87	177	211	391	273	336	372	303
4	132	136	209	95	220	348	218	287	226	242
5	172	207	167	123	73	205	324	247	397	254
6	324	257	290	306	312	177	230	329	299	267
7	264	294	415	291	254	434	192	292	369	327
8	213	331	243	275	277	215	257	282	307	295
9	243	364	258	253	164	263	319	215	220	325
10	291	286	192	284	303	322	357	367	252	341
ОКС										

Стандарт: 290 $HCP_{05}(x) = 124.3$ $HCP_{05}(окс) = 45.2$

Определите: каковы эффекты ОКС у исследуемых линий №7 и №9?

Найдите варианты скрещиваний линий, где реципрокный эффект равен нулю? Рассчитайте эффекты СКС у комбинаций между линиями 1 и 3, и между 4 и 5?

4. При скрещивании 10 чистых линий пекинской капусты методом полных диаллельных скрещиваний были получены следующие результаты по среднему диаметру (см):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7	9	8	6	10	8	11	10	13	14
2	10	6	8	9	10	11	15	11	13	13
3	8	10	8	9	8	11	11	11	12	13
4	8	10	10	7	11	12	10	10	10	11
5	8	10	9	9	6	10	11	10	12	10
6	10	11	11	9	11	9	11	12	11	10
7	11	13	15	12	10	13	11	15	14	14
8	10	13	11	12	11	11	13	12	14	11
9	10	12	10	10	8	11	13	10	9	12
10	11	13	9	10	11	11	14	15	10	14
ОКС										

Стандарт: 14 $HCP_{05}(x) = 2.8$ $HCP_{05}(окс) = 1.0$

Определите: каковы эффекты ОКС у исследуемых линий №2 и №4?

Найдите варианты скрещиваний линий, где реципрокный эффект равен нулю? Рассчитайте эффекты СКС у комбинаций между линиями 3 и 7, и между 4 и 5?

5. При скрещивании 10 чистых линий перца сладкого методом полных диаллельных скрещиваний были получены следующие результаты по урожайности (кг/кв.м):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4,9	5,1	6,2	5,1	6,1	6,5	6,5	6,0	7,4	7,2
2	5,9	4,3	5,2	4,6	5,2	6,3	6,1	5,7	6,6	7,3
3	6,2	5,5	4,4	5,6	6,1	7,8	6,4	7,3	7,1	6,7
4	5,4	5,1	5,6	5,0	5,8	6,8	6,0	6,7	6,3	6,0
5	5,9	5,6	5,5	4,9	4,2	6,3	7,0	6,5	7,5	6,8
6	6,7	6,3	6,3	7,2	6,8	5,5	6,3	7,4	6,7	6,2
7	6,5	6,1	7,3	6,5	6,3	7,7	5,5	5,6	6,9	6,3
8	5,8	6,5	6,3	6,3	6,4	5,8	6,0	6,0	6,6	6,3
9	6,8	6,5	6,7	6,0	5,9	6,3	6,1	5,6	5,5	7,8
10	6,3	6,1	5,9	7,1	7,1	7,3	6,5	6,8	6,3	6,2
ОКС										
Стандарт: 6,4 $HCP_{05}(x) = 1,0$ $HCP_{05}(окс) = 0,4$										

Определите: каковы эффекты ОКС у исследуемых линий №1 и №10? Найдите варианты скрещиваний линий, где реципрокный эффект равен нулю? Рассчитайте эффекты СКС у комбинаций между линиями 2 и 4, и между 4 и 8?

6. При скрещивании 10 чистых линий редьки методом полных диаллельных скрещиваний были получены следующие результаты по среднему диаметру корнеплода в товарной стадии спелости (см):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6,3	5,7	7,7	6,8	7,1	7,0	8,1	7,4	9,9	7,2
2	7,4	6,2	6,2	5,2	5,4	7,9	7,8	7,8	8,5	7,7
3	7,3	5,9	4,9	5,7	6,6	7,9	9,6	7,5	8,7	8,2
4	6,7	5,6	6,2	4,9	5,2	7,3	8,6	8,0	6,2	8,1
5	6,5	6,3	7,0	4,5	4,7	8,8	7,8	8,9	8,6	8,5
6	9,1	7,8	8,0	7,7	7,2	8,6	8,3	10,1	8,7	7,5
7	9,0	10,5	8,9	7,9	7,2	9,3	8,2	7,4	9,6	10,5
8	7,4	7,1	6,6	7,5	8,7	7,9	9,9	9,4	8,2	10,3
9	8,4	7,4	10,2	6,9	6,9	11,7	10,7	9,4	10,3	10,0
10	8,1	7,7	9,5	8,6	7,7	10,8	9,0	9,1	12,0	12,1
ОКС										
Стандарт: 8,6 $HCP_{05}(x) = 1,8$ $HCP_{05}(окс) = 0,7$										

Определите: каковы эффекты ОКС у исследуемых линий №3 и №9? Найдите варианты скрещиваний линий, где реципрокный эффект равен

нулю? Рассчитайте эффекты СКС у комбинаций между линиями 1 и 2, и между 3 и 4?

7. При скрещивании 10 чистых линий томата методом полных диаллельных скрещиваний были получены следующие результаты по среднему диаметру плода (мм):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35	45	50	35	77	67	139	69	179	111
2	74	57	48	35	48	84	89	72	120	83
3	65	42	28	40	95	138	145	159	150	111
4	31	34	55	33	34	96	101	94	54	53
5	56,	61	52	26	17	99	145	135	189	129
6	141	102	84	110	110	82	132	211	131	108
7	101	106	187	82	81	239	95	99	136	156
8	64	140	94	81	101	92	117	129	145	140
9	78	125	112	57	70	134	187	118	104	141
10	94	112	94	78	94	176	91	106	202	151
ОКС										
Стандарт: 155 НСР ₀₅ (x) = 60 НСР ₀₅ (окс) = 16										

Определите: каковы эффекты ОКС у исследуемых линий №6 и №7?

Найдите варианты скрещиваний линий, где реципрокный эффект равен нулю? Рассчитайте эффекты СКС у комбинаций между линиями 2 и 5, и между 4 и 9?

8. При скрещивании 10 чистых линий лука методом полных диаллельных скрещиваний были получены следующие результаты по среднему содержанию растворимых сухих веществ (%):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,0	5,4	6,9	6,5	6,6	7,2	5,7	6,5	6,5	6,8
2	6,3	6,2	6,3	5,8	6,2	6,0	5,9	6,3	5,7	6,5
3	7,0	5,5	6,4	6,1	5,9	6,5	6,8	6,2	6,1	6,0
4	6,4	7,4	5,7	6,6	6,3	5,4	6,1	7,1	6,0	5,7
5	6,9	5,8	6,9	6,5	6,3	6,2	6,0	6,9	6,0	6,3
6	6,6	5,8	6,0	6,3	7,4	6,3	6,8	7,4	6,6	6,1
7	6,1	6,3	6,2	6,3	6,6	4,8	6,7	7,0	7,2	6,3
8	7,0	6,3	6,2	6,3	5,2	5,0	6,1	5,7	7,0	6,0
9	6,3	8,0	7,1	5,8	7,4	5,8	7,4	6,7	6,6	5,8

10	5,0	4,9	7,0	6,5	6,1	6,7	5,6	6,3	6,2	6,0
ОКС										

Стандарт: 5,9; $НCP_{05}(x) = 1,3$ $НCP_{05}(окс) = 0,4$

Определите: каковы эффекты ОКС у исследуемых линий №5 и №8? Найдите варианты скрещиваний линий, где реципрокный эффект равен нулю? Рассчитайте эффекты СКС у комбинаций между линиями 3 и 7, и между 1 и 5?

9. При скрещивании 10 чистых линий лука методом полных диаллельных скрещиваний были получены следующие результаты по среднему диаметру луковицы в товарной стадии спелости (см):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10,5	7,8	9,3	10,3	11,1	10,8	8,1	9,1	12,8	9,2
2	9,6	7,5	8,3	9,4	8,5	10,0	8,0	8,7	9,4	10,2
3	12,0	8,3	9,7	8,7	11,3	9,1	10,2	8,5	9,7	9,4
4	9,5	8,4	8,9	9,5	8,3	8,1	8,2	9,2	9,9	8,9
5	9,2	7,6	11,8	9,7	9,3	11,5	8,0	10,3	9,1	8,5
6	11,5	8,8	10,1	8,1	9,9	9,7	10,0	9,6	10,0	10,2
7	9,4	9,6	7,9	8,7	10,5	9,7	10,4	10,9	9,7	6,9
8	10,0	8,7	8,8	9,3	9,6	9,4	9,6	9,0	10,8	8,5
9	10,5	9,8	9,7	8,2	9,7	8,4	12,3	9,9	9,5	10,5
10	8,6	8,7	10,9	9,0	9,2	7,6	9,8	8,9	9,1	8,6
ОКС										

Стандарт: 8.5 $НCP_{05}(x) = 1,9$ $НCP_{05}(окс) = 0,5$

Определите: каковы эффекты ОКС у исследуемых линий №3 и №7? Найдите варианты скрещиваний линий, где реципрокный эффект равен нулю? Рассчитайте эффекты СКС у комбинаций между линиями 3 и 7, и между 4 и 10?

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ
Сборник задач с примерами решений

Учебное пособие

2-е издание, переработанное и дополненное

Составители:

Алексей Александрович Миронов

Анастасия Васильевна Вишнякова

Сократ Григорьевич Монахос

Анастасия Викторовна Воронина

Оригинал-макет *К. Тихомировой*

Подписано в печать 08.12.2023 г.

Формат 60x90/16

Тираж 500 экз. Заказ №

Грифон

111024, Москва, ул. Авиамоторная, д. 50, стр. 1

Тел.: 8-495-133-95-57

www.grifon-m.ru