

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



# ИНСТИТУТ СОДЕРЖАНИЯ И МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

федеральное государственное  
бюджетное научное учреждение

## МЕТОДИЧЕСКИЙ КЕЙС (БИОЛОГИЯ. 10 КЛАССЫ)

### Взаимодействие аллельных и неаллельных генов

**АВТОР:**

ПАРШУТИНА  
ЛЮДМИЛА АЛЕКСАНДРОВНА  
к. п. н., заведующая лабораторией  
естественно-научного образования  
ФГБНУ «ИСМО»

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

АСАНОВА ЛИДИЯ ИВАНОВНА  
к. п. н., старший научный сотрудник  
лаборатории естественно-научного  
образования ФГБНУ «ИСМО»

Москва  
2024

## МЕТОДИЧЕСКИЙ КЕЙС

В кейсе рассматриваются общие принципы решения задач по теме «Взаимодействие аллельных и неаллельных генов». Приводятся необходимые теоретические сведения и примеры заданий с методическими комментариями, а также задания для самостоятельного выполнения.

Использование материалов кейса окажет помощь учителям в организации учебно-познавательной деятельности обучающихся по данной теме, так и во внеурочное время, и будет способствовать успешной подготовке обучающихся к единому государственному экзамену (ЕГЭ) по биологии.

Учебный предмет: БИОЛОГИЯ

Тема: Взаимодействие аллельных и неаллельных генов

Класс: 10 (углубленный уровень)

Раздел: Закономерности наследственности

### АКТУАЛЬНОСТЬ

В обновлённом ФГОС среднего общего образования на углублённом уровне имеется следующее требование к результатам обучения: владеть системой биологических знаний, которая включает в себя законы (единообразия потомков первого поколения, расщепления признаков, независимого наследования признаков Г. Менделя, сцепленного наследования признаков и нарушения сцепления генов Т. Моргана и др.). В федеральную рабочую программу углублённого уровня в 10 класс [2] включена в содержание тема «Взаимодействие аллельных и неаллельных генов», а также умение решать генетические задачи на взаимодействие неаллельных генов.

### ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ КОМПЕТЕНЦИИ

*Предметная компетентность:* свободное владение изучаемым материалом (взаимодействие неаллельных генов, комплементарность, эпистаз, полимерия.); умение свободно решать задания ЕГЭ по теме «Взаимодействие аллельных и неаллельных генов» [1].

*Методическая компетентность:* умение организовать работу с учащимися с опорой на знания, полученные ими ранее при изучении других предметов; умение использовать разнообразный спектр материалов и заданий (книги, интернет-ресурсы), способных вызвать интерес к теме «Взаимодействие аллельных и неаллельных генов»; умение разрабатывать (корректировать имеющиеся) дидактические и методические материалы, обеспечивающие достижение планируемых образовательных результатов по теме «Взаимодействие аллельных и неаллельных генов».

*Психолого-педагогическая компетентность:* умение отбирать подходы и технологии к организации обучения и воспитания на основе включения всех обучающихся в образовательный процесс, в том числе с особыми образовательными потребностями; умение отбирать учебное содержание для организации совместной (индивидуальной) учебной деятельности обучающихся, в том числе с особыми образовательными потребностями, в

соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов.

*Коммуникативная компетентность:* умение устанавливать отношения сотрудничества и вести диалог с учащимися, другими участниками образовательного процесса при изучении темы «Взаимодействие аллельных и неаллельных генов».

## МЕТОДИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

В школьном курсе уделяется мало внимания изучению темы «Взаимодействие аллельных и неаллельных генов». Предусмотренное количество часов ФРП СОО недостаточно для практических навыков (решения задач). Учитывая, что обучающимся 11 класса сдают государственный выпускной экзамен по биологии (по выбору), в кейсе предлагается рассмотреть решение задач по теме «Взаимодействие аллельных и неаллельных генов». Необходимо сформировать представления о целостности генотипа, возможном появлении при скрещивании новообразований, обусловленных взаимодействием генов, множественном действии гена как причине соотносительной изменчивости.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

### **Теоретическая часть.**

Взаимоотношение между генами и признаками часто носит сложный характер: один и тот же ген может оказывать влияние на развитие нескольких признаков; один и тот же признак может развиваться под влиянием многих генов.

Как правило, взаимодействие генов имеет биохимическую природу, то есть оно основано на совместном действии белков, синтез которых контролируется определенными генами. Взаимодействовать друг с другом могут как аллельные, так и неаллельные гены [3].

### **Взаимодействие аллельных генов**

**Полное доминирование.** *Полным* называют доминирование, при котором в фенотипе гетерозигот присутствует продукт одного гена.

**Неполное (промежуточное) доминирование.** *Неполным* называют доминирование, при котором фенотип гетерозигот отличается от фенотипа как гомозигот по доминантному признаку, так и гомозигот по рецессивному признаку, и имеет среднее (промежуточное) значение между ними. При неполном доминировании расщепление по генотипу соответствует расщеплению по фенотипу. Например, при скрещивании красноплодного и белоплодного сортов земляники всё первое поколение гибридов получается розовоплодным.

Так как ни одна из аллелей гена не является ни доминантной, ни рецессивной, их лучше обозначать одинаковой буквой, но с разными индексами (например,  $A_1$  – красная окраска плода,  $A_2$  – белая окраска плода) (рис. 1).

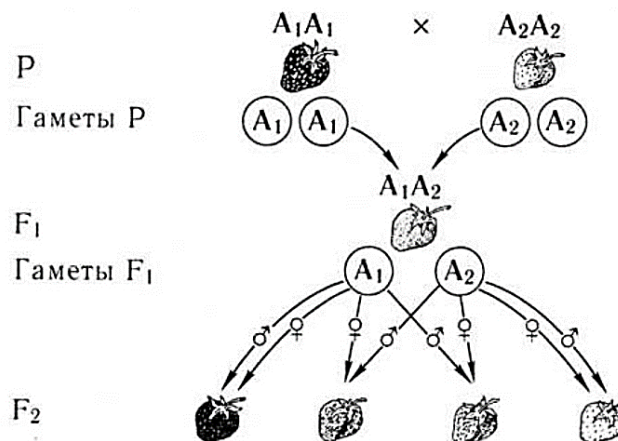


Рис. 1. Наследование окраски плода у земляники при явлении неполного доминирования

**Кодоминирование.** *Кодоминированием* называют такое взаимодействие аллельных генов, при котором у гетерозигот в фенотипе присутствует продукт обоих генов. Примером кодоминирования является наследование у человека группы крови систем АВ0. Группа крови контролируется серией множественных аллелей одного гена –  $i^0$ ,  $I^A$ ,  $I^B$ . Три аллели формируют шесть генотипов:  $i^0i^0$  – первая,  $I^AI^A$  или  $I^Ai^0$  – вторая,  $I^BI^B$  или  $I^Bi^0$  – третья,  $I^AI^B$  – четвертая группа крови.

### Взаимодействие неаллельных генов

**Комплементарность.** *Комплементарными* называют гены, обуславливающие при совместном сочетании в генотипе в гомозиготном или гетерозиготном состоянии новое фенотипическое проявление признака. Особенности расщепления потомства от скрещивания при комплементарном взаимодействии генов зависят от того, имеют ли эти гены самостоятельное фенотипическое проявление:

- **9:3:3:1** каждый доминантный ген имеет самостоятельное фенотипическое проявление, сочетание в генотипе двух этих генов обуславливает развитие нового фенотипического проявления, а их отсутствие не дает развития признака. Например, ген А обуславливает развитие голубой окраски оперения волнистых попугайчиков, ген В – жёлтой, попугайчики с генотипом  $A\_B\_$  имеют зелёную окраску, а с генотипом  $aabb$  – белую;
- **9:7** доминантные и рецессивные аллели комплементарных генов не имеют самостоятельного фенотипического проявления. Например, пурпурная окраска венчика цветка у душистого горошка развивается только при совместном сочетании в генотипе доминантных генов А и В, во всех остальных случаях окраска отсутствует, и венчик оказывается белым;
- **9:3:4** – доминантные и рецессивные аллели комплементарных генов имеют самостоятельное фенотипическое проявление. Например, окраска у кроликов определяется двумя комплементарными генами: А – наличие окраски, а – отсутствие, В – чёрная окраска, b – голубая окраска;

— **9:6:1** сочетание доминантных аллелей комплементарных генов обеспечивает формирование одного признака, сочетание рецессивных аллелей этих генов – другого, а наличие в генотипе только одного из доминантных генов – третьего. Например, тыквы с генотипом  $A\_B\_$  имеют дисковидную форму плода, с генотипом  $aabb$  – удлинённую, а с генотипами  $A\_bb$  и  $aaB\_$  – сферическую.

**Эпистаз.** *Эпистатичным* называют такое взаимодействие неаллельных генов, при котором один из них подавляет действие другого. Ген, подавляющий действие другого неаллельного гена, называется супрессором, или ингибитором, и обозначается буквами  $I$  или  $S$ . Подавляемый ген называют гипостатичным. Эпистаз может быть доминантным и рецессивным.

**Доминантным эпистазом** называют подавление действия гена доминантной аллелью другого гена. Расщепление потомков  $F_2$  при доминантном эпистазе может быть различным:

— **13:3** – расщепление наблюдается в том случае, если доминантная аллель эпистатичного гена не имеет своего фенотипического проявления, а лишь подавляет действие другого гена, в то время как его рецессивная аллель не влияет на проявление признака. Например, у некоторых пород кур наличие доминантного эпистатичного гена подавляет развитие окраски оперения, при его отсутствии куры окрашены;

— **12:3:1** – расщепление, наблюдающееся в том случае, если гомозиготная по рецессивным признакам особь имеет особый фенотип. Например, в потомстве от скрещивания двух дигетерозиготных собак щенки с генотипом  $I\_aa$  имеют белую окраску, с генотипом  $iiA\_$  – чёрную, а с генотипом  $ii aa$  – коричневую.

**Рецессивным эпистазом** называют такое взаимодействие неаллельных генов, при котором рецессивная аллель эпистатичного гена в гомозиготном состоянии подавляет действие другого гена. При одинарном рецессивном эпистазе рецессивная аллель *одного* гена подавляет действие *другого* ( $aa$  подавляет  $B\_$ ). При двойном – рецессивная аллель *каждого* гена в гомозиготном состоянии подавляет действие доминантной аллели *другого* ( $aa$  подавляет  $B\_$ ,  $bb$  подавляет  $A\_$ ). При рецессивном эпистазе в потомстве может наблюдаться расщепление 9:3:4 или 9:7. Такое же расщепление характерно и для комплементарного взаимодействия некоторых генов (см. выше). Определить характер наследования признаков в случае рецессивного эпистаза можно только сочетая гибридологический анализ с изучением биохимии и физиологии развития данного признака.

**Полимерия.** Полимерным называют взаимодействие неаллельных генов, однозначно влияющих на развитие одного и того же признака. Такие гены называются полимерными, или множественными, и обозначаются одинаковыми буквами с соответствующим индексом (например,  $A_1 A_2$ ).

Чаще всего полимерные гены контролируют количественные признаки (высота растений, масса животных, яйценоскость кур, длина волокон у льна, содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы и т. д.).

Полимерия может быть кумулятивной (аддитивной, суммирующей) и некумулятивной.

При *кумулятивной полимерии* степень проявления признака зависит от числа доминантных аллелей соответствующих полимерных генов, содержащихся в генотипе особи. Например, чем больше доминантных аллелей генов, отвечающих за окраску кожи, содержится в генотипе человека, тем его кожа темнее.

При *некумулятивной полимерии* степень развития признака зависит не от количества доминантных аллелей соответствующих полимерных генов, а лишь от их наличия в генотипе. Например, куры с генотипом  $a_1a_1a_2a_2$  имеют неоперенные ноги, во всех остальных случаях – ноги оперены, причём степень оперённости ног одинакова при любом числе доминантных аллелей в генотипе.

### Примеры решения задач

При решении задач на взаимодействие неаллельных генов следует руководствоваться теми же указаниями, что и при моно- или дигибридном скрещивании. Особое внимание обращайтесь на:

- условные обозначения генов при неполном доминировании и при их полимерном взаимодействии генов;
- характер расщепления гибридов [3, 4.].

### Задача 1

От скрещивания усатого растения земляники с красными ягодами с безусым растением, имеющим белые ягоды, в  $F_1$  все растения усатые с розовыми ягодами. В  $F_2$  произошло расщепление: 16 растений усатых красноплодных, 5 безусых красноплодных, 32 усатых розовоплодных, 11 безусых розовоплодных, 14 усатых белоплодных и 4 безусых белоплодных. Определите: 1) характер наследования окраски ягод и усатости; 2) генотипы всех фенотипических групп  $F_2$ .

#### Решение

1. *Определяем характер наследования признаков.*

В  $F_1$  все растения единообразны – усатые с розовыми плодами. Ягоды  $F_1$  имеют признак, отличный от признаков родительских форм. Следовательно, наличие усов наследуется по типу полного доминирования, а окраска ягод – промежуточного. Проверим правильность нашего решения по расщеплению гибридов второго поколения. Проанализируем наследование каждого признака по отдельности. В  $F_2$  62 усатых растения и 20 безусых, что соответствует расщеплению в соотношении 3:1; 21 красноплодное растение, 43 розовоплодных, 18 белоплодных, что соответствует расщеплению в соотношении 1:2:1. Полученное расщепление доказывает правильность рассуждений о характере наследования признаков.

2. *Вводим обозначение генов.*

$A$  – наличие усов,  $a$  – отсутствие усов;

$B_1$  – красная окраска,  $B_2$  – белая окраска, сочетание генов  $B_1B_2$  – розовая окраска.

3. Делаем краткую запись условия задачи и решаем её.

**Дано:**

А — усы  
а — безусость  
В<sub>1</sub> — красные ягоды  
В<sub>2</sub> — белые ягоды  
В<sub>1</sub>В<sub>2</sub> — розовые ягоды  
F<sub>1</sub> — усатые, розовоплод.  
F<sub>2</sub> — 16 ус. крас., 5 безус.  
крас., 32 ус. розов., 11 безус.  
розов., 14 ус. бел., 4 безус.  
бел.

Генотипы F<sub>2</sub> — ?

**Решение:**

4. Записываем схему скрещивания. По условию задачи растения гомозиготны.

P ♀ ААВ<sub>1</sub>В<sub>1</sub> × ♂ ааВ<sub>2</sub>В<sub>2</sub>  
ус. крас.      безус. бел.

5. Определяем типы гамет скрещиваемых особей.

P ♀ ААВ<sub>1</sub>В<sub>1</sub> × ♂ ааВ<sub>2</sub>В<sub>2</sub>  
ус. крас.      безус. бел.

Типы гамет (АВ<sub>1</sub>) (аВ<sub>2</sub>)

6. Определяем, генотипы и фенотипы потомков F<sub>1</sub>.

P ♀ ААВ<sub>1</sub>В<sub>1</sub> × ♂ ааВ<sub>2</sub>В<sub>2</sub>  
ус. крас.      безус. бел.

F<sub>1</sub> АаВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub>  
ус. розов.  
100%

7. Записываем скрещивание потомков F<sub>1</sub>.

P ♀ АаВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub> × ♂ АаВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub>  
ус. розов.      ус. розов.

8. Определяем типы гамет. Потомки F<sub>1</sub> дигетерозиготны, поэтому они образуют по четыре типа гамет.

P ♀ АаВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub> × ♂ АаВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub>  
ус. розов.      ус. розов.

Типы гамет (АВ<sub>1</sub>) (АВ<sub>2</sub>) (аВ<sub>1</sub>) (аВ<sub>2</sub>)

9. Получаем потомков F<sub>2</sub>, используя решётку Пеннета.

P ♀ АаВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub> × ♂ АаВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub>  
ус. розов.      ус. розов.

Типы гамет (АВ<sub>1</sub>) (АВ<sub>2</sub>) (аВ<sub>1</sub>) (аВ<sub>2</sub>)

Типы гамет	♂	AB <sub>1</sub>	AB <sub>2</sub>	aB <sub>1</sub>	aB <sub>2</sub>
	♀				
F <sub>1</sub>	AB <sub>1</sub>	AAВ <sub>1</sub> В <sub>1</sub> ус. крас.	AAВ <sub>1</sub> В <sub>2</sub> ус. розов.	AaВ <sub>1</sub> В <sub>1</sub> ус. крас.	AaВ <sub>1</sub> В <sub>2</sub> ус. розов.
F <sub>2</sub>	AB <sub>2</sub>	AAВ <sub>1</sub> В <sub>2</sub> ус. розов.	AAВ <sub>2</sub> В <sub>2</sub> ус. бел.	AaВ <sub>1</sub> В <sub>2</sub> ус. розов.	AaВ <sub>2</sub> В <sub>2</sub> ус. бел.
	aB <sub>1</sub>	AaВ <sub>1</sub> В <sub>1</sub> ус. крас.	AaВ <sub>1</sub> В <sub>2</sub> ус. крас.	AaВ <sub>1</sub> В <sub>1</sub> безус. крас.	aaВ <sub>1</sub> В <sub>2</sub> безус. розов.
	aB <sub>2</sub>	AaВ <sub>1</sub> В <sub>2</sub> ус. розов.	AaВ <sub>2</sub> В <sub>2</sub> ус. бел.	aaВ <sub>1</sub> В <sub>2</sub> безус. крас.	aaВ <sub>2</sub> В <sub>2</sub> безус. бел.

### 10. Проводим анализ скрещивания.

В F<sub>2</sub> усатые красноплодные растения имеют генотип A<sub>-</sub>V<sub>1</sub>V<sub>1</sub> усатые розовоплодные – AB<sub>1</sub>V<sub>2</sub>, усатые белоплодные – AB<sub>2</sub>V<sub>2</sub>, безусые красноплодные – AaV<sub>1</sub>V<sub>1</sub>, безусые розовоплодные – AaV<sub>1</sub>V<sub>2</sub>, безусые белоплодные – AaV<sub>2</sub>V<sub>2</sub>.

*Ответ:*

1) наличие усов наследуется по типу полного доминирования, окраска ягод – промежуточного;

2) генотипы F<sub>2</sub>:

усатые красноплодные – AAВ<sub>1</sub>В<sub>1</sub>, AaВ<sub>1</sub>В<sub>1</sub>;

усатые розовоплодные – AAВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub>, AaВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub>;

усатые белоплодные – AAВ<sub>2</sub>В<sub>2</sub>, AaВ<sub>2</sub>В<sub>2</sub>;

безусые красноплодные – AaВ<sub>1</sub>В<sub>1</sub>;

безусые розовоплодные – AaВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub>;

безусые белоплодные – AaВ<sub>2</sub>В<sub>2</sub>.

### Задача 2

При скрещивании белых морских свинок с черными потомство получается серое, а в F<sub>2</sub> наблюдается расщепление 9 (серые): 3 (черные): 4 (белые). Определите:

1) каков характер наследования окраски шерсти у морских свинок;

2) какое потомство можно ожидать от скрещивания дигетерозиготного самца с гомозиготной по первому рецессивному и гетерозиготной по второму признаку самкой.

*Решение*

1. *Определяем характер наследования признаков.*

В F<sub>1</sub> всё потомство единообразное – серое. Признак в F<sub>1</sub> отличается от признаков родительских форм, то есть произошло новообразование. Следовательно, окраска шерсти наследуется либо по типу неполного доминирования, либо по типу комплементарного взаимодействия генов. Проанализируем наследование признака в F<sub>2</sub>. В F<sub>2</sub> наблюдается расщепление в соотношении 9:3:4. Такое расщепление характерно для комплементарного взаимодействия генов. Значит, окраска шерсти контролируется двумя парами неаллельных комплементарных генов. Особи с генотипом A<sub>-</sub>V<sub>-</sub> имеют серую окраску, с генотипом A<sub>-</sub>bb – черную, с генотипами aaV<sub>-</sub> и aabb – белую.



2. Определяем генотипы скрещиваемых особей.

Самец дигетерозиготен, то есть его генотип –  $AaBb$ . Самка гомозиготна по первому рецессивному и гетерозиготна по второму признаку, то есть её генотип –  $aaBb$ .

3. Делаем краткую запись условия задачи и решаем её.

<p><b>Дано:</b>  <math>A\_bb</math> — черная окраска  <math>aaB\_</math> и <math>aabb</math> — белая окраска  <math>A\_B\_</math> — серая окраска          P ♀ <math>aaBb</math> × ♂ <math>AaBb</math>                    белая      серая</p> <hr style="border: 0.5px solid black;"/> <p><math>F_1</math> — ?</p>	<p><b>Решение:</b>          4. Записываем схему скрещивания.          P ♀ <math>aaBb</math> × ♂ <math>AaBb</math>                    белая      серая</p> <p>5. Определяем типы гамет скрещиваемых особей.</p>												
<table border="0" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">P</td> <td style="padding-right: 20px;">♀ <math>aaBb</math></td> <td style="padding-right: 20px;">×</td> <td>♂ <math>AaBb</math></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">белая</td> <td></td> <td style="text-align: center;">серая</td> </tr> <tr> <td style="padding-top: 10px;">Типы гамет</td> <td style="text-align: center;"> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>aB</math></div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>ab</math></div> </div> </td> <td></td> <td style="text-align: center;"> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>AB</math></div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>Ab</math></div> </div> <div style="display: flex; gap: 10px; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>aB</math></div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>ab</math></div> </div> </td> </tr> </table>		P	♀ $aaBb$	×	♂ $AaBb$		белая		серая	Типы гамет	<div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>aB</math></div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>ab</math></div> </div>		<div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>AB</math></div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>Ab</math></div> </div> <div style="display: flex; gap: 10px; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>aB</math></div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>ab</math></div> </div>
P	♀ $aaBb$	×	♂ $AaBb$										
	белая		серая										
Типы гамет	<div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>aB</math></div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>ab</math></div> </div>		<div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>AB</math></div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>Ab</math></div> </div> <div style="display: flex; gap: 10px; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>aB</math></div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;"><math>ab</math></div> </div>										

6. Определяем генотипы и фенотипы потомков  $F_1$ .

P	♀ $aaBb$	×	♂ $AaBb$
	белая		серая

Типы гамет P	♀ \ / ♂	AB	Ab	aB	ab
$F_1$	aB	AaBB серая	AaBb серая	aaBB белая	aaBb белая
	ab	AaBb серая	Aabb черная	aaBb белая	aabb белая

7. Анализируем потомство от скрещивания. В  $F_1$  наблюдается расщепление 3 (серые) : 1 (черные) : 4 (белые).

*Ответ:*

1) окраска шерсти наследуется по типу комплементарного взаимодействия генов;

2) в  $F_1$  3 (серые) : 1 (черные) : 4 (белые).

### Задача 3

У льна форма лепестков контролируется эпистатическим взаимодействием генов. Ген А обуславливает гофрированную форму лепестков, ген а – гладкую. Эпистатический ген I подавляет действие гена А, а ген i не оказывает влияния на форму лепестков. Какова вероятность получения растений льна с гофрированными лепестками от скрещивания растений, одно из которых гетерозиготно и имеет гофрированные лепестки, а другое дигетерозиготно?

**Решение**

1. *Определяем генотипы скрещиваемых особей.*

Гетерозиготное растение с гофрированными лепестками имеет генотип  $Aaii$ , так как только при наличии двух рецессивных аллелей эпистатического гена это растение может иметь такие лепестки. Генотип дигетерозиготного растения –  $AaIi$ .

2. *Делаем краткую запись условия задачи и решаем её.*

<p><b>Дано:</b>  <b>A</b> — гофрированные лепестки  <b>a</b> — гладкие лепестки  <b>I</b> — эпистатический ген  <b>P</b> ♀ <math>Aaai</math> × ♂ <math>AaIi</math>                    гофр.   гладкие</p> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> <p>Вероятность гофрированных в <math>F_1</math> — ?</p>	<p><b>Решение:</b>          3. <i>Записываем схему скрещивания.</i>  <b>P</b> ♀ <math>Aaai</math> × ♂ <math>AaIi</math>                    гофр.   гладкие</p> <p>4. <i>Определяем типы гамет скрещиваемых особей.</i></p>										
<p><b>P</b></p>	<p>♀ <math>Aaai</math> × ♂ <math>AaIi</math>                гофр.   гладкие</p>										
<p>Типы гамет</p>	<table border="0" style="margin: auto;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; margin: 2px;">Ai</td> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; margin: 2px;">ai</td> <td style="margin: 0 10px;">×</td> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; margin: 2px;">AI</td> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; margin: 2px;">Ai</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; margin: 2px;">ai</td> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; margin: 2px;">ai</td> <td></td> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; margin: 2px;">aI</td> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; margin: 2px;">ai</td> </tr> </table>	Ai	ai	×	AI	Ai	ai	ai		aI	ai
Ai	ai	×	AI	Ai							
ai	ai		aI	ai							

5. *Определяем генотипы и фенотипы потомков  $F_1$ .*

	<b>P</b>		♀ $Aaai$ × ♂ $AaIi$ гофр.   гладкие			
Типы гамет P	♀	♂	AI	Ai	aI	ai
$F_1$	Ai	Ai	AAIi гладкие	AAii гофрир.	AaIi гладкие	Aaii гофрир.
	ai	ai	AaIi гладкие	Aaii гофрир.	aaIi гладкие	aaii гладкие

6. *Анализируем потомство от скрещивания.*

В  $F_1$  наблюдается расщепление 5 (гладкие) : 3 (гофрированные).

*Ответ:* вероятность появления растений с гофрированными лепестками –  $3/8$ .

**Задача 4.**

У пшеницы плотность колоса определяется по числу колосков на 10 см длины колосового стержня. Различают следующие типы плотности колоса: рыхлый – меньше 17 колосков, средней плотности – 17–20, выше средней – 20–23, плотный – 23–26, очень плотный (булавовидный) – больше 26. Предположим, что плотность колоса определяется двумя парами полимерных неаллельных генов, оказывающих кумулятивное действие: чем меньше содержится в генотипе доминантных генов, тем плотнее будет колос. Скрестили два сорта пшеницы, имеющие колос средней и выше средней

плотности и генотипы ♀  $A_1A_1a_2a_2$  × ♂  $A_1a_1A_2A_2$ . Какую максимально возможную плотность колоса могут иметь растения  $F_1$ ?

**Дано:**

$A_1A_1A_2A_2$  — рыхлый  
 $A_1a_1A_2A_2$ ,  $A_1A_1A_2a_2$  — средней плотности  
 $A_1a_1A_2a_2$ ,  $a_1a_1A_2A_2$ ,  $A_1A_1a_2a_2$  — выше средней плотности  
 $A_1a_1a_2a_2$ ,  $a_1a_1A_2a_2$  — плотный  
 $a_1a_1a_2a_2$  — очень плотный  
 P ♀  $A_1A_1a_2a_2$  × ♂  $A_1a_1A_2A_2$   
 выше средней пл. средней пл.

Максимальная плотность в  $F_1$  — ?

**Решение:**

1. *Записываем схему скрещивания.*

P ♀  $A_1A_1a_2a_2$  × ♂  $A_1a_1A_2A_2$   
 выше средней пл. средней пл.

2. *Определяем типы гамет скрещиваемых особей.*

P ♀  $A_1A_1a_2a_2$  × ♂  $A_1a_1A_2A_2$   
 выше средней пл. средней пл.

Типы гамет  $A_1a_2$   $A_1A_2$   
 $a_1A_2$

3. *Определяем генотипы и фенотипы потомков  $F_1$*

P ♀  $A_1A_1a_2a_2$  × ♂  $A_1a_1A_2A_2$   
 выше средней пл. средней пл.

Типы гамет  $A_1a_2$   $A_1A_2$   $a_1A_2$

$F_1$   $A_1A_1A_2a_2$   $A_1a_1A_2a_2$   
 средней пл. выше средней пл.

**Ответ:** максимально возможная плотность колоса у растений  $F_1$  — выше средней.

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ С КРИТЕРИЯМИ ОЦЕНИВАНИЯ

### Задача 1

У крупного рогатого скота красная окраска шерсти неполно доминирует над светлой, окраска гетерозиготных особей чалая. Гены признаков аутосомные, не сцеплены. Скрещивали красных комолых (В) коров и чалых рогатых быков, в потомстве получились красные комолые (безрогие) и чалые комолые особи. Полученные гибриды F<sub>1</sub> с разными фенотипами были скрещены между собой. Составьте схемы решения задачи. Определите генотипы родителей и потомков в обоих скрещиваниях, соотношение фенотипов в поколении F<sub>2</sub>. Какой закон наследственности проявляется в данном случае? Ответ обоснуйте.

Ответ:

Схема решения задачи включает:

1) P ♀ AABV × ♂ Aabb  
красные чалые  
комолые рогатые

G AB Ab, ab

F<sub>1</sub> AABb – красные комолые;  
AaBb – чалые комолые;

2) P<sub>1</sub> ♀ AABb × ♂ AaBb  
G AB, Ab AB, Ab, aB, ab

в F<sub>2</sub> получится 4 разных фенотипа в соотношении:

3/8 AABV, 2AABb – красные комолые;

3/8 AaBV, 2AaBb – чалые комолые;

1/8 AAbb – красные рогатые;

1/8 Aabb – чалые рогатые;

3) проявляется закон независимого наследования признаков, так как гены двух признаков находятся в разных парах хромосом.

(Допускается иная генетическая символика.)

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Ответ включает все названные выше элементы, не содержит биологических ошибок	3
Ответ включает 2 из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок, ИЛИ ответ включает 3 названных выше элемента, но содержит негрубые биологические ошибки	2
Ответ включает 1 из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок, ИЛИ ответ включает 2 из названных выше элементов, но содержит негрубые биологические ошибки	1
Ответ неправильный	0
<i>Максимальный балл</i>	

## Задача 2

Ген короткой шерсти (А) у кошек доминирует над геном длинной шерсти (а) и наследуется аутосомно. Ген окраски кошек сцеплен с X-хромосомой. Чёрная окраска определяется геном  $X^B$ , рыжая – геном  $X^b$ . Гетерозиготы имеют черепаховую окраску. Длинношёрстная кошка черепаховой окраски была скрещена с рыжим короткошёрстным (Аа) котом. Определите генотипы и фенотипы родителей и потомства, а также вероятность рождения чёрной кошки. Объясните результат скрещивания. Какие законы наследования проявляются в этих скрещиваниях?

*Ответ:*

♀  $aa^XBX^b$  длинная шерсть черепаховая кошка.

♂  $AaX^bY$  короткошёрстный рыжий кот.

1) P ♀  $aa^XBX^b$  × ♂  $AaX^bY$ .

G ♀  $aX^B$  и ♀  $aX^b$  ♂  $AX^b$ , ♂  $AY$ , ♂  $aX^b$ , ♂  $aY$ .

2) Генотипы и фенотипы потомства  $F_1$ :

$AaX^BX^b$  1 короткошёрстная черепаховая кошка;

$aaX^BX^b$  1 длинношёрстная черепаховая кошка;

$aaX^BY$  1 длинношёрстный чёрный кот;

$AaX^BY$  1 короткошёрстный чёрный кот;

$AaX^bY$  1 короткошёрстный рыжий кот;

$aaX^bX^b$  1 длинношёрстная рыжая кошка;

$AaX^bX^b$  1 короткошёрстная рыжая кошка;

$aaX^bY$  1 длинношёрстный рыжий кот.

3) Наследование, сцепленное с полом, независимое наследование аутосомных признаков.

4) Чёрной кошки в потомстве быть не может, так как проявляется неполное доминирование.

### Критерии оценивания выполнения задания

### Баллы

Ответ включает все названные выше элементы, не содержит биологических ошибок

3

Ответ включает 2 из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок, ИЛИ ответ включает 3 названных выше элемента, но содержит негрубые биологические ошибки

2

Ответ включает 1 из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок, ИЛИ ответ включает 2 из названных выше элементов, но содержит негрубые биологические ошибки

1

Ответ неправильный

0

*Максимальный балл*

### Задача 3

У человека альбинизм наследуется как аутосомный рецессивный признак, а дальтонизм, как признак, сцепленный с X-хромосомой. Определите генотипы родителей, а также возможные генотипы и фенотипы потомства и их процентное соотношение от брака гетерозиготной по первому признаку здоровой женщины, не несущей гена дальтонизма, и мужчины дальтоника и альбиноса. Какие законы наследования проявляются в данном случае?

*Ответ:*

1)  $P \text{ ♀ } AaX^dX \rightarrow \text{♂ } aaX^dY$ .

Гаметы ♀ AX, ♀ aX, ♂ aX<sup>d</sup>, ♂ aY.

2) F<sub>1</sub>

Aa X<sup>d</sup>X девочки-носительницы гена дальтонизма: здоровы.

AaXY здоровые по обоим признакам мальчики.

aaX<sup>d</sup>X, девочки-носительницы и альбиносы.

aaXY мальчики-альбиносы, не дальтоники.

3) Девочки будут в 25% альбиносами и здоровы (носительницами дальтонизма) и 25% с нормальной пигментацией (не альбиносы) и здоровы (носительницами дальтонизма).

25% мальчиков – здоровы по обоим признакам.

25% – альбиносы, не дальтоники

(ИЛИ все дети не дальтоники, но половина девочек и половина мальчиков альбиносы).

4. По гену альбинизма проявляется независимое наследование признака, а ген дальтонизма сцеплен с X-хромосомой.

<b>Критерии оценивания выполнения задания</b>	<b>Баллы</b>
Ответ включает все названные выше элементы, не содержит биологических ошибок	3
Ответ включает 2 из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок, ИЛИ ответ включает 3 названных выше элемента, но содержит негрубые биологические ошибки	2
Ответ включает 1 из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок, ИЛИ ответ включает 2 из названных выше элементов, но содержит негрубые биологические ошибки	1
Ответ неправильный	0
<i>Максимальный балл</i>	

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Рохлов В.С., Петросова Р.А.* Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2024 года по биологии. – М.: ФИПИ, 2024. – 44 с. URL: [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://doc.fipi.ru/ege/analiticheskie-i-metodicheskie-materialy/2024/bi\\_mr\\_2024.pdf?ysclid=m4estwz3ex29991715](https://doc.fipi.ru/ege/analiticheskie-i-metodicheskie-materialy/2024/bi_mr_2024.pdf?ysclid=m4estwz3ex29991715) (дата обращения: 02.12.2024).
2. Федеральная рабочая программа среднего общего образования: биология (углубленный уровень) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://edsoo.ru> (дата обращения: 07.12.2024).
3. *Гончаров О.В.* Генетика. Задачи. – Саратов: Лицей, 2005. – 352 с. (Серия «Биология»).
4. *Паршутина Л.А.* Естествознание. Биология. Практикум: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.А. Паршутина. – М.: Издательский центр «Академия», 2021. – 131 с.