

# **Взаимодействие генов**

# Взаимодействие генов

**Ген** – последовательность нуклеотидов (участок ДНК), которой может быть приписана определенная функция в организме.

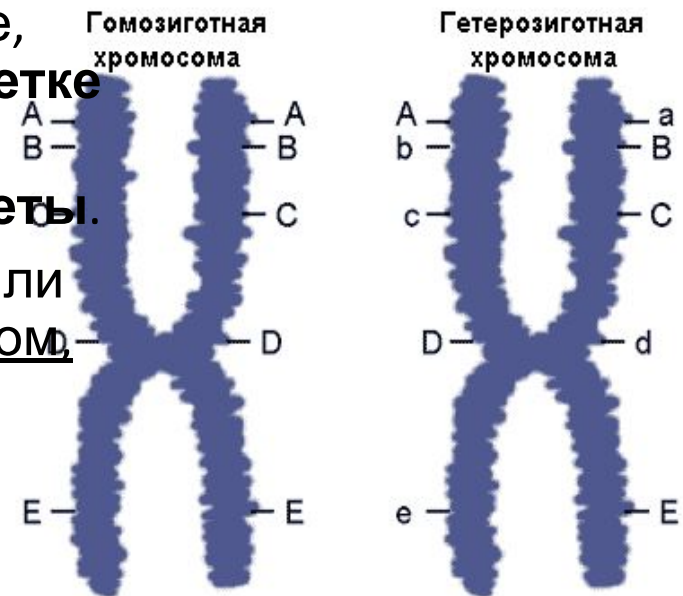
**Аллель** – одна из двух или более альтернативных форм гена, каждая из которых характеризуется уникальной последовательностью нуклеотидов; распознаются фенотипически, в общем случае – при сравнении их нуклеотидных последовательностей.

**Аллельные гены** - гены, определяющие альтернативное развитие одного и того же признака и расположенные в идентичных участках гомологических хромосом.

Любой диплоидный организм, будь то растение, животное или человек, **содержит в каждой клетке два аллеля любого гена**.

Исключение составляют половые клетки – **гаметы**.

**Неаллельные гены** — гены, расположенные или в неидентичных локусах гомологических хромосом, или в разных парах гомологических хромосом.



# Взаимодействие аллельных генов

- **Полное доминирование** — это вид взаимодействия аллельных генов, при котором фенотип гетерозигот не отличается от фенотипа гомозигот по доминанте, то есть в фенотипе гетерозигот присутствует продукт доминантного гена (наследование окраски семян гороха);
- **Неполное доминирование** — фенотип гетерозигот отличается как от фенотипа гомозигот по доминанте, так и от фенотипа гомозигот по рецессиву и имеет среднее (промежуточное) значение между ними (наследование окраски цветков ночной красавицы);
- **Кодоминирование** — вид взаимодействия аллельных генов, при котором фенотип гетерозигот отличается как от фенотипа гомозигот по доминанте, так и от фенотипа гомозигот по рецессиву, и в фенотипе гетерозигот присутствуют продукты обоих генов (наследование систем групп крови ABO, MN)
- **Сверхдоминирование** - это такое взаимодействие **аллельных генов**, при котором в гетерозиготном состоянии доминантный **аллель** проявляет себя намного ярче, чем у доминантной гомозиготы.
- **Аллельным исключением** называется процесс, при котором в диплоидной клетке экспрессируется лишь один аллель гена, в то время как экспрессия другого гена подавлена.

Аллельное исключение наиболее часто встречается у генов, кодирующих поверхностные клеточные [рецепторы](#), и наиболее подробно изучено для клеток иммунной системы — В-лимфоцитов. При созревании В-лимфоцитов успешная [V\(D\)J рекомбинация](#) гена, кодирующего тяжёлую цепь [иммуноглобулина](#), на одной хромосоме приводит к тому, что в другой хромосоме V(D)J перестройка блокируется. В случае неуспешной перестройки в одной хромосоме, происходит перестройка в гомологичной хромосоме. Если перестройка генов в обеих хромосомах не заканчивается успехом, клетка погибает.

В результате аллельного исключения все антигенные рецепторы одного лимфоцита имеют одинаковую последовательность аминокислот в переменных доменах тяжёлых цепей. Так как специфичность антигенсвязывающего участка определяется как переменным участком тяжёлой цепи, так и переменным участком лёгкой цепи, закодированным в соответствующем локусе генома, В-лимфоциты, имеющие одинаковые продукты рекомбинации тяжёлых цепей, будут скорее всего отличаться из-за различий в генах лёгких цепей.

# Взаимодействие неаллельных генов

- **Комплементарность** — вид взаимодействия неаллельных генов, при котором признак формируется в результате суммарного сочетания продуктов их доминантных аллелей (наследование цвета волос).
- **Комплементарные гены** – два или более неаллельных генов, фенотипическое проявление которых необходимо для выражения одного признака организма.
- **Эпистаз** — взаимодействие двух неаллельных генов, при котором один из них (эпистатичный ген) подавляет фенотипическое проявление другого гена. Ген-подавитель называют **эпистатичным** (эпистатическим), подавляемый ген — **гипостатичным** (гипостатическим). Если эпистатичный ген доминантный, то эпистаз также называется **доминантным**. Если эпистатичный ген рецессивный, то эпистаз называется **рецессивным**.
- **Криптомерия** – взаимодействие генов по типу «проявления». Для того, чтобы аллели одной пары генов проявили своё действие фенотипически, нужен дополнительный ген-проявитель эффекта.
- **Полимерия** — это вид взаимодействия двух и более пар неаллельных генов, доминантные аллели которых однозначно влияют на развитие одного и того же признака. Полимерное действие генов может быть

# Комплементарное взаимодействие генов

Классическим примером комплементарного взаимодействия генов является наследование формы гребня у кур.

При скрещивании кур, имеющих розовидный и гороховидный гребни, все первое поколение имеет ореховидный гребень.

При скрещивании гибридов первого поколения у потомков наблюдается расщепление по форме гребня: 9/16 – ореховидных, 3/16 – розовидных, 3/16 – гороховидных, 1/16 – листовидных.

Генетический анализ показал, что куры с розовидным гребнем имеют генотип  $A\_bb$ , с гороховидным – генотип  $aaB\_$ , с ореховидным – генотип  $A\_B\_$ , с листовидным – генотип  $aabb$ .

То есть развитие розовидного гребня происходит в том случае, если в генотипе имеется только один доминантный ген «А», гороховидного - если в генотипе имеется только один доминантный ген «В», сочетание доминантных аллелей генов «А» и «В» обуславливает проявление ореховидного гребня, а сочетание рецессивных аллелей обоих генов отвечает за проявление листовидной формы гребня (генотип  $aabb$ ).



# Комплементарное взаимодействие

## ГЕНОТ

$aaBB$



Гороховидный



$AAbb$

Розовидный

$AaBb$



Ореховидный



$AaBb$

$A\_B\_$   
 $9/16$

Ореховидный  
гребень

$aaB\_$   
 $3/16$

Гороховидный  
гребень

$A\_bb$   
 $3/16$

Розовидный  
гребень

$aabb$   
 $1/16$

Листовидный  
гребень

**9:3:3:1**

**Фенотипический радикал** – часть генотипа организма, которая определяет его фенотип. Для генотипов  $AABB$ ,  $AaBB$ ,  $AaBb$ ,  $AABb$  фенотипическим радикалом будет  $A\_B\_$ .

**Кооперация** – появление новообразований при совместном действии двух доминантных неаллельных генов, когда в гомозиготном или гетерозиготном состоянии развивается новый признак, отсутствующий у родительских форм (например, наследование формы гребня у кур).

# Комплементарное взаимодействие генов

Ореховидная форма гребня у кур обуславливается взаимодействием двух доминантных аллелей комплементарных генов **A** и **B** (**A\_B\_**). Сочетание одного из этих генов в доминантном, а другого в рецессивном состоянии вызывает формирование либо розовидного (**A\_bb**), либо гороховидного гребня (**aaB\_**). У особей с генотипом **aabb** – листовидный гребень.



		♂	<b>AB</b>	<b>Ab</b>	<b>aB</b>	<b>ab</b>
♀	<b>AB</b>	<b>AABB</b> ореховидный	<b>AABb</b> ореховидный	<b>AaBB</b> ореховидный	<b>AaBb</b> ореховидный	
	<b>Ab</b>	<b>AABb</b> ореховидный	<b>AAbb</b> розовидный	<b>AaBb</b> ореховидный	<b>Aabb</b> розовидный	
	<b>aB</b>	<b>AaBB</b> ореховидный	<b>AaBb</b> ореховидный	<b>aaBB</b> гороховидный	<b>aaBb</b> гороховидный	
	<b>ab</b>	<b>AaBb</b> ореховидный	<b>Aabb</b> розовидный	<b>aaBb</b> гороховидный	<b>aabb</b> листовидный	

Ореховидная форма гребня – 9/16, розовидная форма гребня – 3/16, гороховидная форма гребня – 3/16, листовидная форма гребня – 1/16. Расщепление по фенотипу 9:3:3:1.

# Комплементарное взаимодействие генов

Комплементарное действие генов наиболее четко проявляется, когда скрещиваются белые формы некоторых животных (кур) или растений (душистого горошка, белого клевера, кукурузы), а в потомстве появляются окрашенные формы.

При скрещивании двух рас душистого горошка с белыми цветками в F1 формируются растения с пурпурной окраской.

При самоопылении этих растений в F2 наблюдается отклонение от менделевского расщепления: 9/16 растений имеют цветки с пурпурной окраской, 7/16 – с белой окраской.

**C** – белые цветки  
**c** – нет эффекта  
**P** – белые цветки  
**p** – нет эффекта  
**C\_P\_** - пурпурные цветки  
 (комплементарное действие генов)

**9:7(3+3+1)**

**P: CCpp x ccPP**

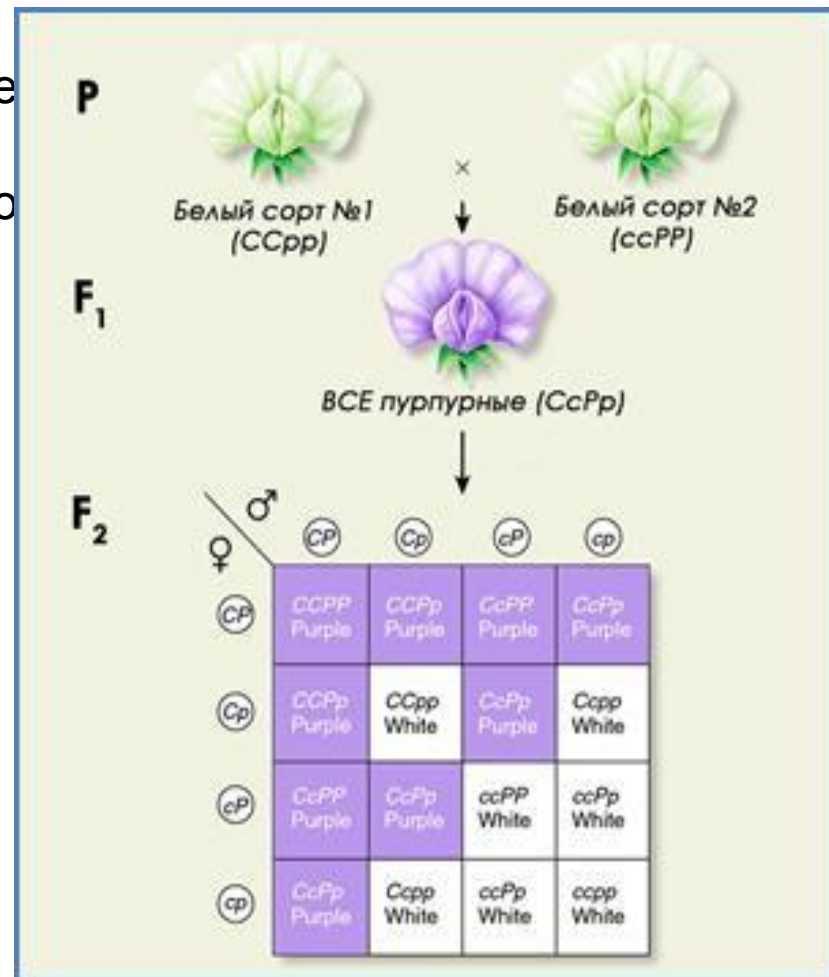
белые                      белые  
<sup>1</sup> Cp                      <sup>2</sup> cP

**F1: CcPp**  
 пурпурны

пурпурны                      пурпурны  
**P<sub>e</sub> CcPp x c<sub>e</sub> CcPp**

**F2: 9 C\_P\_ - пурпурные**

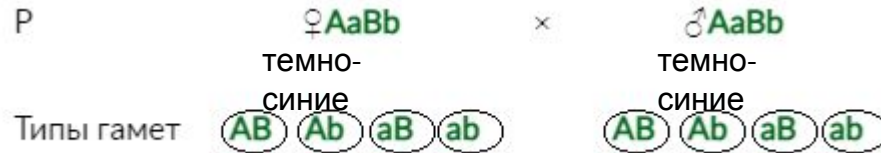
7 { 3 ccP\_ - белые  
      3 C\_pp - белые  
      1 ccpp - белые





# Комплементарное взаимодействие генов

Темно-синяя окраска плодов баклажанов формируется в результате взаимодействия продуктов двух неаллельных доминантных генов **A** и **B**. Растения, гомозиготные по любому из соответствующих рецессивных аллелей **a** и **b** или по ним обоим, имеют белые плоды.



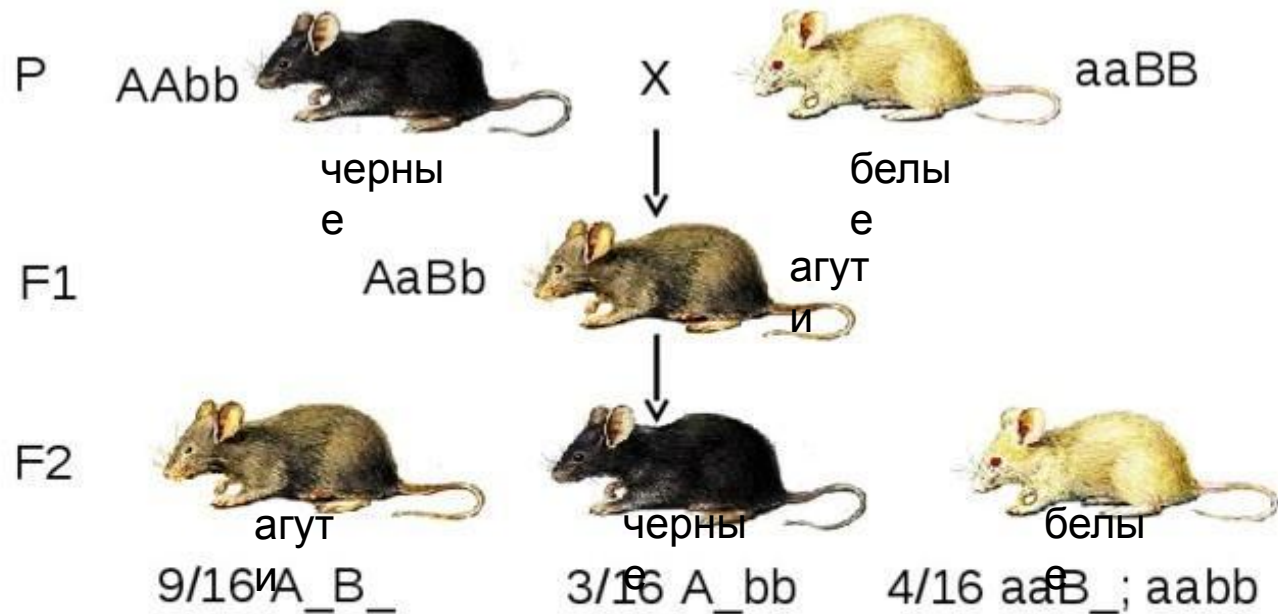
	♂	<b>AB</b>	<b>Ab</b>	<b>aB</b>	<b>ab</b>
♀					
<b>AB</b>		<b>AABB</b> синяя	<b>AABb</b> синяя	<b>AaBB</b> синяя	<b>AaBb</b> синяя
<b>Ab</b>		<b>AABb</b> синяя	<b>AAbb</b> белая	<b>AaBb</b> синяя	<b>Aabb</b> белая
<b>aB</b>		<b>AaBB</b> синяя	<b>AaBb</b> синяя	<b>aaBB</b> белая	<b>aaBb</b> белая
<b>ab</b>		<b>AaBb</b> синяя	<b>Aabb</b> белая	<b>aaBb</b> белая	<b>aabb</b> белая

Синяя окраска плодов у баклажанов – 9/16, белая окраска плодов у баклажанов – 7/16. Расщепление по фенотипу 9:7.

# Комплементарное взаимодействие генов

При скрещивании черной и белой мышей в F1 все потомство будет иметь серую окраску шерсти «агути» (дикий тип).

Во втором поколении будет наблюдаться расщепление: 9/16 – агути, 3/16 – черные, 4/16 – белые.



**A** – пигмент  
**a** – нет эффекта  
**B** – ген распределения пигмента  
**b** – нет эффекта  
**A\_B\_** - окраска «агути» (комплементарное взаимодействие генов)

**9:3:4(3+1)**

**A** - пигмент, **a** – отсутствие пигмента и в гомозиготном состоянии подавляет действие гена **B**.  
**B** - неравномерное распределение пигмента по длине волоса,  
**b** – равномерное распределение пигмента .

# Комплементарное взаимодействие генов

- Наследование формы плода тыквы.
- Наличие в генотипе **доминантных генов A или B** обуславливает **сферическую** форму плодов, а **рецессивных a или b** — **удлиненную**.
- При наличии в генотипе одновременно доминантных генов **A и B** форма плода будет **дисковидной**.
- При скрещивании чистых линий имеющих сферическую форму плодов:
  - В первом гибридном поколении **F1** все плоды будут иметь **дисковидную** форму;
  - в поколении **F2** произойдёт **расщепление по фенотипу**.



9:6(3+3):1

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB дисков.	AABb дисков.	AaBB дисков.	AaBb дисков.
Ab	AABb дисков.	Aabb сферич.	AaBb дисков.	Aabb сферич.
aB	AaBB дисков.	AaBb дисков.	aaBB сферич.	aaBb сферич.
ab	AaBb дисков.	Aabb сферич.	aaBb сферич.	Aabb удли.

# Комплементарное взаимодействие ГЕНОВ

- **9:3:3:1** – по отдельности доминантные аллели генов отвечают за «свои признаки», присутствие обоих доминантных аллелей обуславливает новый фенотип. Рецессивные гомозиготы также дают «свой» фенотип. Такой тип взаимодействия генов называется «кооперация».
- **9:7(3+3+1)** – по отдельности доминантные аллели генов и рецессивные дигомозиготы не дают проявиться признаку (нет эффекта; белые цветки/плоды или альбиносы), признак проявляется только при наличии обоих доминантных аллелей генов.
- **9:3:4(3+1)** – доминантный аллель одного гена отвечает за наличие признака (пигмента), доминантный аллель другого гена отвечает за его распределение, присутствие обоих доминантных аллелей обуславливает новый фенотип. У особей-гомозигот по первому гену признак проявляться не будет совсем (альбиносы, если признак «наличие пигмента»).
- **9:6(3+3):1** – по отдельности доминантные аллели генов отвечают за фенотипически схожие признаки, присутствие обоих доминантных аллелей обуславливает новый фенотип. Рецессивные гомозиготы также дают «свой» фенотип.





# Эпистаз

(взаимодействие по типу подавления)

- **Эпистаз** – тип неаллельного взаимодействия, при котором один ген подавляет фенотипическое проявление другого гена, неаллельного ему. При этом «дикий» тип не восстанавливается.
- Ген, подавляющий проявление других неаллельных генов называется **ген-ингибитор** или **супрессор** ( $I > A, a$ ).
- При эпистатическом взаимодействии двух несцепленных генов расщепление в F2 может быть двух типов:
- **12 : 3 : 1** (доминантный ген-ингибитор (**I**) и рецессивный аллель другого гена имеют различные фенотипические эффекты).
- **13 : 3** (доминантный ген-ингибитор (**I**) и рецессивный аллель основного гена имеют одинаковый фенотипический эффект);
- В строгом смысле эпистаз **всегда доминантный**, но также выделяют и так называемый **рецессивный эпистаз**, когда супрессором является рецессивная гомозигота гена-ингибитора (**ii**). При этом в F2 наблюдается расщепление **9:3:4**. (Вспомните наследование окраски у домовых мышей.)
- **Двойной рецессивный эпистаз** – взаимное подавление рецессивными аллелями фенотипических проявлений доминантных аллелей противоположных генов ( $bb > A; aa > B$ ). Расщепление в F2 **9:7** (проявление пурпурной окраски при скрещивании двух белых линий душистого горошка).

# Доминантный эпистаз

(взаимодействие по типу подавления)

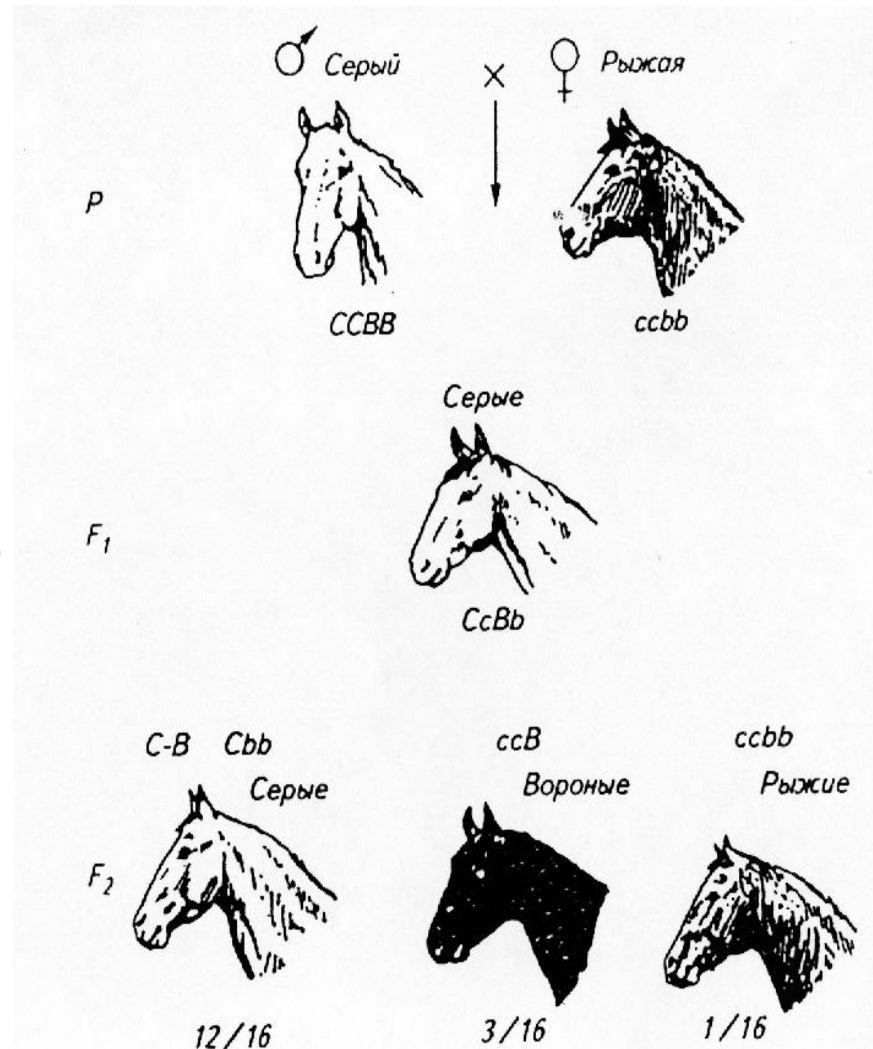
Примером доминантного эпистаза с расщеплением в F<sub>2</sub> **12:3:1** является взаимодействие генов, определяющих масть лошадей.

Ген *B* в доминантном состоянии определяет вороную масть, а в рецессивном (*b*) – рыжую. Ген *C* в доминантном состоянии определяет серую масть (вызывает раннее поседение лошадей), подавляя действие доминантного и рецессивного аллеля гена *B*.

Рецессивная форма гена *C* (генотип *cc*) раннего поседения волоса не вызывает, т.е. не дает эффекта ингибитора («нет эффекта»).

В результате действия гена-подавителя *C*, масть лошадей становится серой независимо от аллельного состояния гена *B* (*BB*, *Bb*, *bb*).

Поэтому от скрещивания серых лошадей





# Доминантный эпистаз

(взаимодействие по типу подавления)

- Пример:** доминантный ген *C* (вызывает раннее поседение, вследствие чего волос становится серым) серой масти лошади подавляет проявление другой пары генов, определяющих масть (*B* – вороную, *b* – рыжую). При скрещивании жеребца серой масти с рыжей кобылой все потомство в первом поколении будет иметь серую масть. При дальнейшем скрещивании гибридов первого поколения в F2 будет наблюдаться расщепление 12:3:1 (серые : вороные : рыжие).

**B** – вороная масть;

**b** – рыжая масть;

**C** – ингибитор (**C** > **B**, **b**);  
серая масть

**c** – нет эффекта ингибитора.

P (1,2): **BBCC** x **bbcc**  
серы                      рыжи  
e                                      e

g:                      **BC**                      **bc**

F1:                                      **BbCc**  
серы  
e

F2: **9B\_C\_;** **3bbC\_;** **3B\_cc;** **1bbcc**  
серы    серы    вороны    рыжи  
e                      e                      e                      e

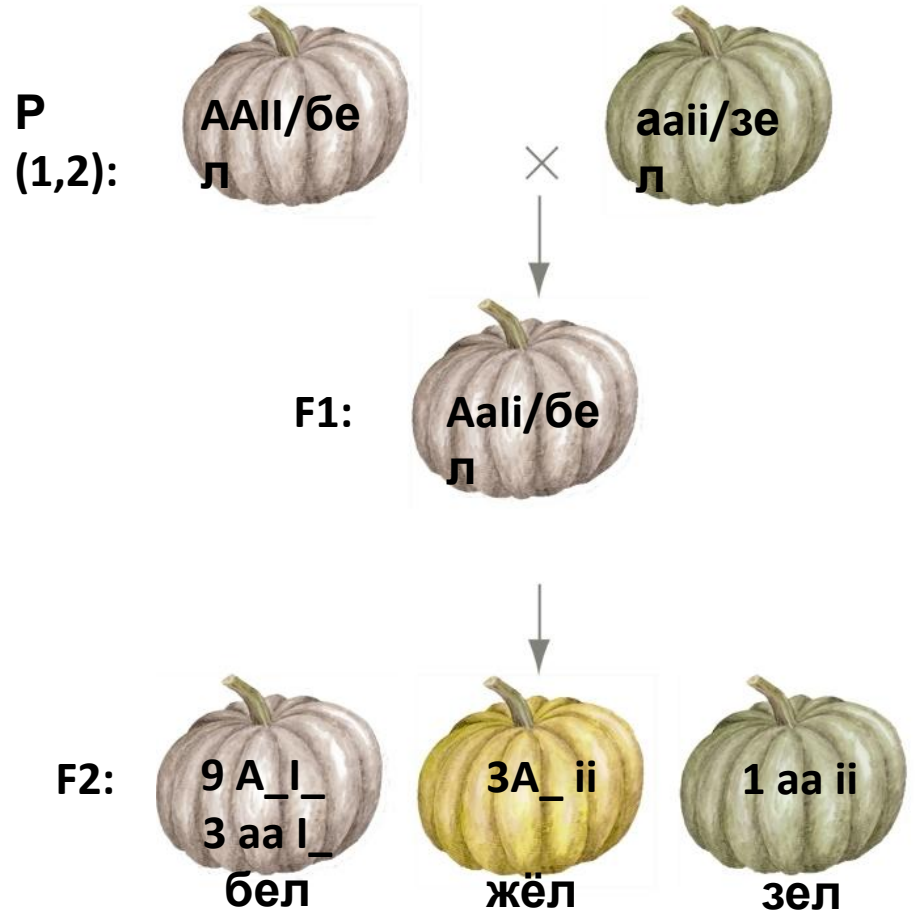
**12 : 3 : 1**

# Доминантный эпистаз

(взаимодействие по типу подавления)

Аналогичным образом наследуется окраска плодов тыквы. При скрещивании растения с белой окраской плодов с растением с зеленой окраской плодов, все гибриды первого поколения имели плоды белой окраски. Во втором поколении происходит расщепление в соотношении: 12 частей плодов белой окраски, 3 части – желтой, 1 часть – зеленой.

**A** – желтый цвет плодов;  
**a** – зеленый цвет плодов;  
**I** – ингибитор ( $I > A, a$ );  
**i** – нет эффекта ингибитора.




---

**P(1,2):**  $\frac{AAII}{л} \times \frac{aa ii}{л}$

**g:**  $\frac{A I}{л} \quad \frac{a i}{л}$

**F1:**  $\frac{AaIi}{л}$

**F2:**  $\frac{9 \text{ бел } A_ I_}{л}; \frac{3 \text{ бел } aa I_}{л}; \frac{3 \text{ жел } A_ ii}{л}; \frac{1 \text{ зел } aa ii}{л}$

**12:3:1**

# Доминантный эпистаз

(взаимодействие по типу подавления)

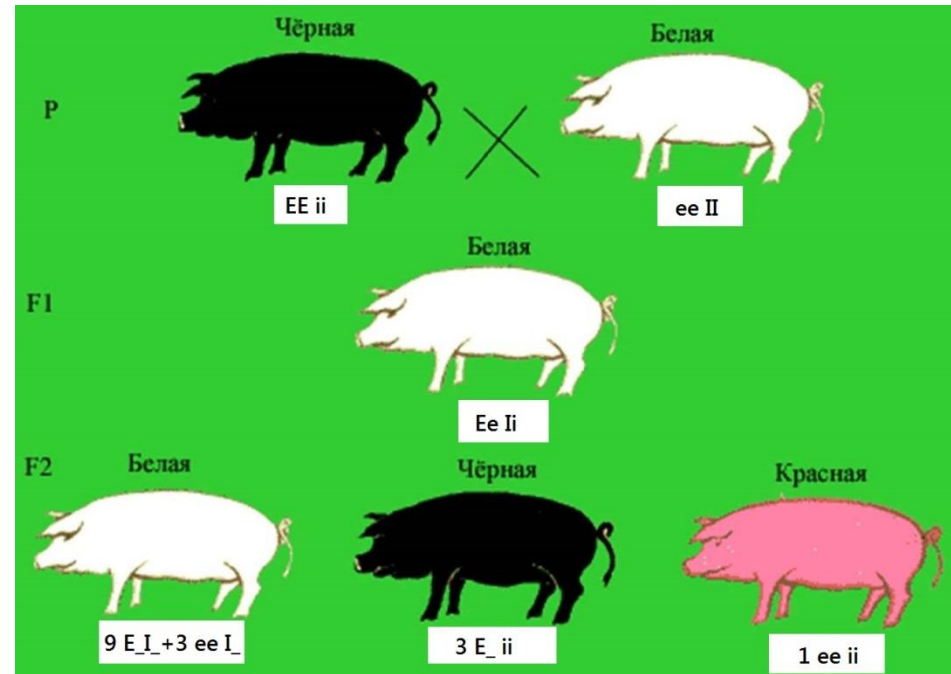
... или окраски свиней.

При скрещивании черных и белых свиней из разных пород в F1 появляются исключительно белые потомки. Их скрещивание между собой приводит к расщеплению по окраске во втором поколении в соотношении 12/16 – белых поросят, 3/16 – черных поросят и 1/16 часть красных поросят.

Все белые поросята имеют минимум один доминантный аллель гена-подавителя I.

Черные поросята гомозиготны по рецессивному аллелю гена-подавителя (ii), не препятствующему формированию окраски и несут доминантный аллель E, детерминирующий образование черного пигмента.

Красные поросята (eeii) лишены доминантного аллеля гена-подавителя I и доминантного гена, определяющего черную окраску.



## 12:3:1

E – черная окраска;  
e – красная окраска;  
I – ингибитор (I > E, e);  
i – нет эффекта ингибитора.

# Доминантный эпистаз

(взаимодействие по типу подавления)

Расщепление **13 : 3** при доминантном эпистазе наблюдается, когда доминантный ингибитор (**I**) и рецессивный аллель основного гена имеют одинаковый фенотипический эффект;

**Например**, таким образом происходит наследование окраски оперения у кур.

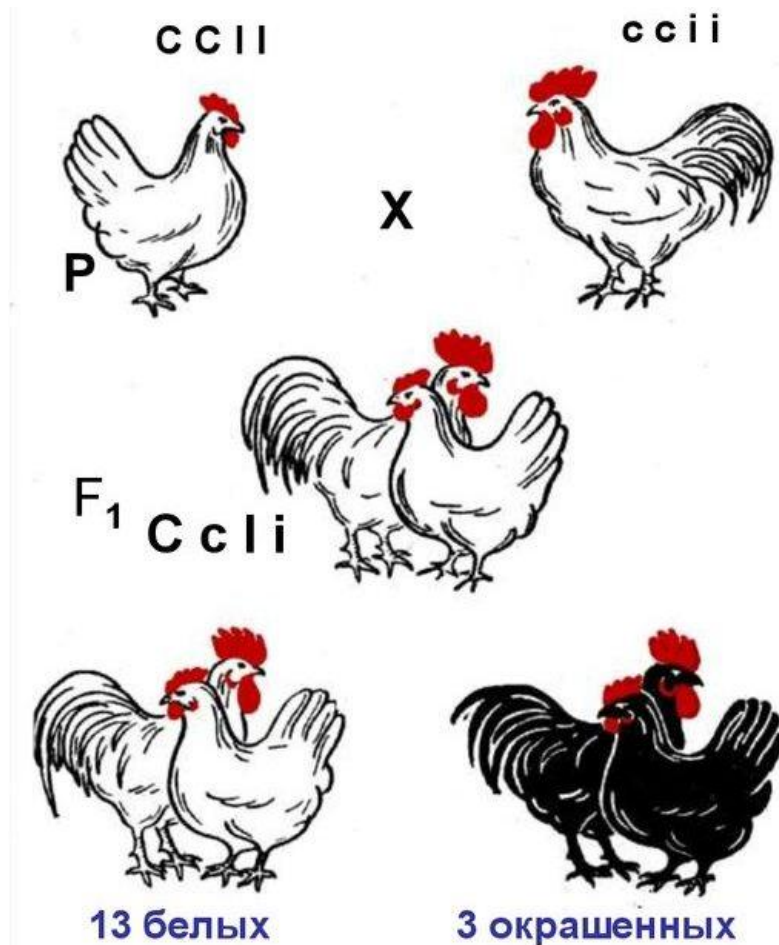
При скрещивании гомозиготных по двум парам аллельных генов белых кур, все F1 было белым, а во втором поколении произошло расщепление по фенотипу **13 белых : 3 окрашенных**

**Ген С** детерминирует синтез пигмента (гипостатический ген); **С** – окрашенные перья; **сс** – нет эффекта; белая окраска.

**Ген I** ингибирует действие гена **С** (эпистатический ген); **ii** – нет эффекта.

Белые куры имели генотипы:  
 $9/16 C\_I\_ ; 3/16 cc I\_ ; 1/16 cc ii$ .

Окрашенные куры имели генотип  
 $3/16 C\_ ii$ .



# Рецессивный эпистаз

(взаимодействие по типу подавления)

- В строгом смысле эпистаз **всегда доминантный**, но также выделяют и так называемый **рецессивный эпистаз**, когда супрессором является рецессивная гомозигота гена-ингибитора (**ii**). При этом в F<sub>2</sub> наблюдается расщепление **9:3:4** (похоже на криптомерию).

**Например**, у лука доминантный ген **C** определяет наличие цвета у луковиц (**cc** – белые луковицы), а ген **Y** (**y**) – окраску луковиц (красный цвет доминирует над желтым).

Скрестили между собой растения с красными и белыми луковицами. В первом поколении все луковицы оказались красными.

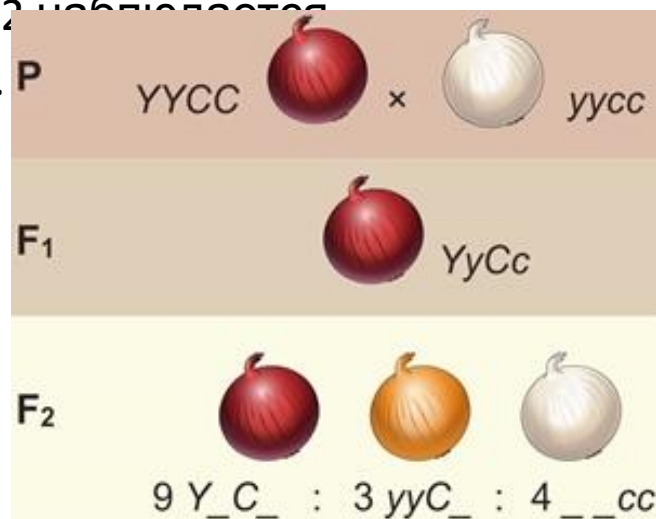
Во втором поколении произошло расщепление: 9/16 частей луковиц оказались красными, 3/16 – желтыми, 4/16 – белыми.

**Y** – красный цвет луковиц;

**y** – желтый цвет луковиц;

**C** – наличие пигмента;

**cc** – белые луковицы;



**P (1,2):**  $\begin{matrix} YYCC & \times & yycc \\ \text{крас} & & \text{бе} \\ \text{н} & & \text{л} \end{matrix}$

**g:**  $\begin{matrix} YC & & yc \end{matrix}$

**F1:**  $\begin{matrix} YyCc \end{matrix}$

**F2:**  $\begin{matrix} 9Y\_C\_; & 3yyC\_; & 3Y\_cc; & 1yycc \\ \text{крас} & \text{жёл} & & \\ \text{н} & \text{т} & \text{бел} & \end{matrix}$

**12:3:4**

# Рецессивный эпистаз

(взаимодействие по типу подавления)

При скрещивании черной и белой мышей в F1 все потомство будет иметь серую окраску шерсти «агути» (дикий тип).

Во втором поколении будет наблюдаться расщепление: 9/16 – агути, 3/16 – черные, 4/16 – белые.

Данное явление можно рассматривать не только с позиции комплементарного взаимодействия генов, но и с позиции рецессивного эпистаза.

И тогда можно обозначить

**A** – пигмент;

**aa** – супрессор;

**B** – неравномерное распре-

деление пигмента;

**b** – равномерное распре-

---

**A\_B\_** - окраска «агути»

**aa\_\_** - белые.



**9:3:4(3+1)**

# Двойной рецессивный эпистаз

Примером одновременного комплементарного взаимодействия генов и двойного рецессивного эпистаза является наследование окраски цветков у душистого горошка при скрещивании изначально белых чистых линий.

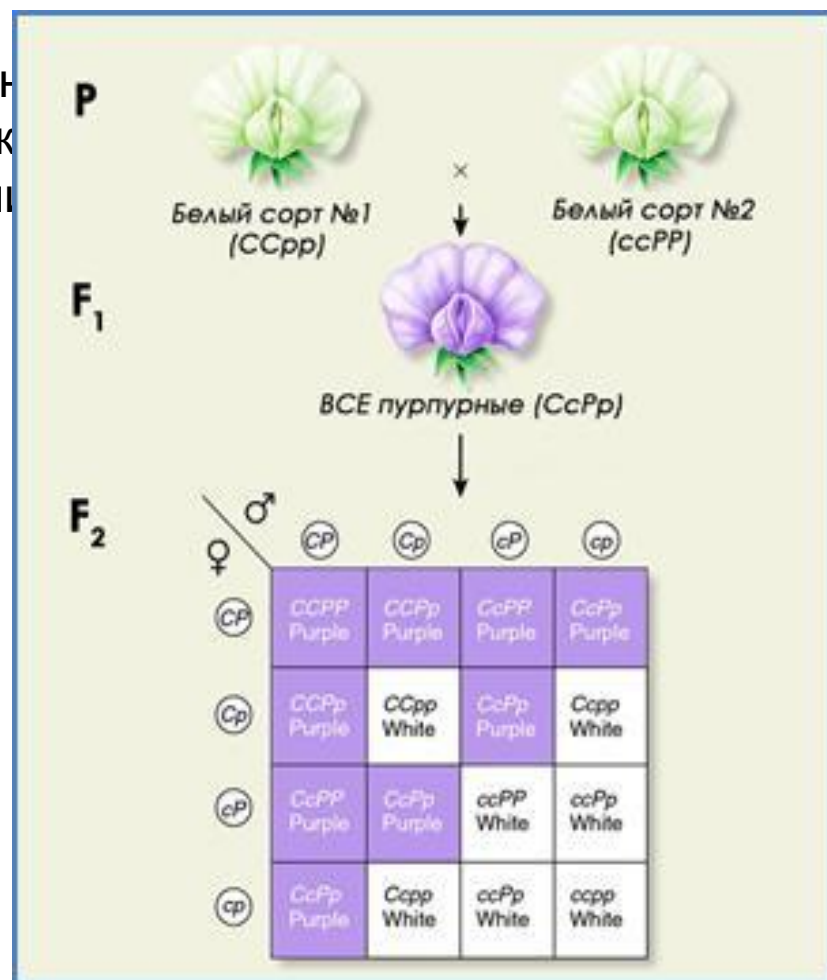
При самоопылении этих растений в F<sub>2</sub> наблюдается отклонение от менделевского расщепления:

оба рецессивных аллеля в гомозиготном состоянии имеют эпистатическое действие по отношению к доминантному аллелю другого гена; 9/16 растений из F<sub>2</sub> будут иметь цветки с пурпурной окраской, 7/16 – с белой окраской.

**C** – белые цветки  
**c** – нет эффекта;  $cc > P$ .  
**P** – белые цветки  
**p** – нет эффекта;  $pp > C$ .  
**C\_P\_** - пурпурные цветки  
 (комплементарное действие генов)

**9:7(3+3+1)**

**P:** **CCpp** x **ccPP**  
 белые 1                      белые 2  
**g:** **Cp**                      **cP**  
**F1:** **CcPp**  
 пурпурны  
 e  
 пурпурны                      пурпурны  
**P<sub>e</sub>** **CcPp**                      **xc** **CcPp**  
**F2:** 9 **C\_P\_** - пурпурные  
 7 { 3 **ccP\_** - белые  
 3 **C\_pp** - белые  
 1 **ccpp** - белые



# Наследование альбизизма

- **Альбинизмом** (от латинского albus — белый) называют врожденное отсутствие пигмента меланина, придающего окраску коже, волосам, а также радужной и пигментной оболочке глаз. Это явление встречается и у людей, и у животных. Но до сих пор ученые не в состоянии объяснить некоторые загадки альбиносов.
- Специалисты предполагают, что альбинизм возникает из-за отсутствия или блокады в организме фермента тирозиназы, ответственного за выработку меланина, и что это может быть обусловлено генетически. Однако у некоторых альбиносов с тирозиназой все в порядке.
- Вероятнее всего существует две формы альбинизма:
  - 1 – я форма, связанная с врожденным отсутствием пигмента меланина (врожденное отсутствие тирозиназы);
  - 2 – я форма, связанная с наличием гена-ингибитора фермента тирозиназы; люди, у которых выработка меланина блокирована другим геном.
- Тип наследования: аутосомно-рецессивный.



# Бомбейский фенотип

## (Бомбейский феномен)

- **"Бомбейский фенотип"** - название нетипичного генетического наследования групп крови (рецессивного эпистаза).
- Бомбейский феномен заключается в том, что у ребенка определяется группа крови, которой по правилам у него быть не может - т.е. у ребенка выявляется антиген, которого нет ни у одного из родителей. Например, у родителей 00 и 00 (I у обоих) вдруг рождается ребенок B0 (III). Или у родителей с 00(I) и B0/BB (III) рождается ребенок с A0(II) или AB (IV).
- Объясняется это тем, что в системе групп крови ABO имеются рецессивные гены-модификаторы, которые в гомозиготном состоянии подавляют экспрессию антигенов на поверхности эритроцитов. Например, человек с третьей группой крови должен иметь на поверхности эритроцитов антиген группы B, но эпистатирующий ген-супрессор в рецессивном гомозиготном состоянии (h/h) подавляет действие гена B(находящийся в доминантном состоянии), так что соответствующие антигены не образуются, и фенотипически проявляется группа крови 0.  
Однако этот ген может обычным образом передаваться ребенку и проявиться. В результате чего создается впечатление, что ребенок этому родителю родным быть не может.



# Полимерия

- **Полимерия** – формирование признака несколькими парами неаллельных доминантных генов. Чем больше таких генов в генотипе, тем ярче может проявляться признак. Полимерные гены обычно обозначаются одной буквой с нумерацией  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ .
- Полимерия может быть накопительной (**кумулятивной**) и ненакопительной (**некумулятивной**).
- **Кумулятивная полимерия (суммирующаяся)** – степень выраженности фенотипа зависит от числа доминантных аллелей разных генов однозначного действия в генотипе. Если полимерных генов 2, во втором поколении наблюдается расщепление по фенотипу **1:4:6:4:1**. Если полимерных генов 3, расщепление в F<sub>2</sub> имеет вид: **1:6:15:20:15:6:1**. Если полимерных генов 4 – **1:8:28:56:70:56:28:8:1**. Чем больше полимерных генов, тем сложнее характер расщепления и больше число фенотипических классов, но различия между фенотипическими классами уменьшаются.
- **Некумулятивная полимерия** – для полной выраженности фенотипа достаточно одного доминантного аллеля из полимерных генов. Количество доминантных аллелей не влияет на степень выраженности признака (наследование по типу «всё или ничего»). При этом во втором поколении при действии двух полимерных генов наблюдается расщепление по фенотипу **15:1**.

# Некумулятивная полимерия

У пастушьей сумки (*Capsella bursa*) треугольная форма плода контролируется полигенами  $A_1$  и  $A_2$ , круглая форма – полигенами  $a_1$  и  $a_2$ .

- $A$  – треугольная форма плода
- $a$  – округлая форма плода

$PA_1A_1A_2A_2 \times a_1a_1a_2a_2$

F1  $A_1a_1A_2a_2$  – треугольная форма

F2

9 $A_1A_2$ - треугольная	} 15:1
3 $A_1a_2a_2$ - треугольная	
3 $a_1a_1A_2$ - треугольная	
1 $a_1a_1a_2a_2$ - округлая	



При некумулятивной полимерии наличие в генотипе разного количества доминантных полимерных генов однозначного действия не изменяют выраженности признака. Достаточно одной доминантной аллели любого гена, чтобы вызвать развитие признака.

# Кумулятивная полимерия

- При кумулятивной (накопительной) полимерии степень проявления признака зависит от суммарного действия нескольких генов. Чем больше доминантных аллелей генов, тем сильнее выражен тот или иной признак. Расщепление в F2 по фенотипу при дигибридном скрещивании происходит в соотношении **1:4:6:4:1**.
- По типу кумулятивной полимерии наследуются многие количественные признаки (рост, цвет, длина, урожайность, плодовитость и т.д.).

Например, цвет кожи человека определяется двумя полимерными генами (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>) и от количества доминантных аллелей, определяющих темный цвет кожи («А»), окраска кожи может варьировать от белой (отсутствие доминантных аллелей или 0 «А») до негроидно-черной (максимальное количество (4 «А» доминантных аллелей). Промежуточными вариантами при смешанных браках будут светлые мулаты (1 «А»), средние мулаты или просто мулаты (2 «А») и темные мулаты (3 «А»).



$a_1 a_1 a_2 a_2$

<sup>2</sup>  
белый

$A_1 a_1 a_2 a_2$

<sup>2</sup>  
 $a_1 a_1 A_2 a_2$

<sup>2</sup>  
светлый

$A_1 A_1 a_2 a_2$

$A_1 a_1 A_2 a_2$

$a_1 a_1 A_2 A_2$

мулат  
(средний)

$A_1 A_1 A_2 a_2$

<sup>2</sup>  
 $A_1 a_1 A_2 A_2$

<sup>2</sup>  
темный

$A_1 A_1 A_2 A_2$

<sup>2</sup>

негр

# Кумулятивная полимерия

## НАСЛЕДОВАНИЕ ПИГМЕНТАЦИИ КОЖИ У ЧЕЛОВЕКА

P  $A_1A_1 A_2A_2$  x  $a_1a_1 a_2a_2$

F<sub>1</sub>  $A_1a_1 A_2a_2$  мулаты

Гаметы	$A_1 A_2$	$A_1 a_2$	$a_1 A_2$	$a_1 a_2$
$A_1 A_2$	$A_1A_1 A_2A_2$ негры	$A_1A_1 A_2a_2$ темные мулаты	$A_1a_1 A_2A_2$ темные мулаты	$A_1a_1 A_2a_2$ мулаты
$A_1 a_2$	$A_1A_1 A_2a_2$ темные мулаты	$A_1A_1 a_2a_2$ мулаты	$A_1a_1 A_2a_2$ мулаты	$A_1a_1 a_2a_2$ светлые мулаты
$a_1 A_2$	$A_1a_1 A_2A_2$ темные мулаты	$A_1a_1 A_2a_2$ мулаты	$a_1a_1 A_2A_2$ мулаты	$a_1a_1 A_2a_2$ светлые мулаты
$a_1 a_2$	$A_1a_1 A_2a_2$ мулаты	$A_1a_1 a_2a_2$ светлые мулаты	$a_1a_1 A_2a_2$ светлые мулаты	$a_1a_1 a_2a_2$ белые

СООТНОШЕНИЕ 1 : 4 : 6 : 4 : 1

(НЕГРЫ : ТЕМНЫЕ МУЛАТЫ : МУЛАТЫ : СВЕТЛЫЕ МУЛАТЫ : БЕЛЫЕ

# Кумулятивная полимерия

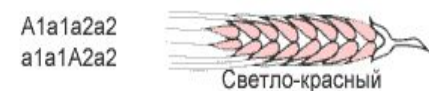
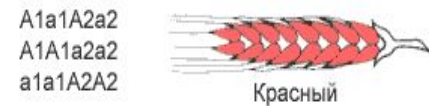
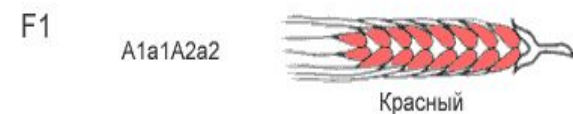
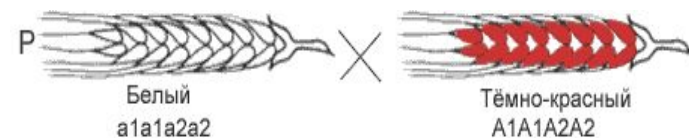
Например, красный цвет зерна пшеницы обусловлен доминантными генами из двух пар аллелей  $A_1$  и  $A_2$ . У растения с генотипом  $a_1a_1a_2a_2$  зерно не окрашено. Слабо окрашены зерна растений с одним доминантным геном  $A_1a_1a_2a_2$  или  $a_1a_1A_2a_2$ . Самый яркий цвет характерен для зерен с четырьмя доминантными генами  $A_1A_1A_2A_2$

Решение

P: ♀  $A_1a_1A_2a_2$  × ♂  $A_1a_1A_2a_2$

F<sub>1</sub>:

♂ \ ♀	$A_1A_2$	$A_1a_2$	$a_1A_2$	$a_1a_2$
$A_1A_2$	$A_1A_1A_2A_2$	$A_1A_1A_2a_2$	$A_1a_1A_2A_2$	$A_1a_1A_2a_2$
$A_1a_2$	$A_1A_1A_2a_2$	$A_1A_1a_2a_2$	$A_1a_1A_2a_2$	$A_1a_1a_2a_2$
$a_1A_2$	$A_1a_1A_2A_2$	$A_1a_1A_2a_2$	$a_1a_1A_2A_2$	$a_1a_1A_2a_2$
$a_1a_2$	$A_1a_1A_2a_2$	$A_1a_1a_2a_2$	$a_1a_1A_2a_2$	$a_1a_1a_2a_2$



# Кумулятивная полимерия

- Число возможных комбинаций гамет, образующих зиготы в F2:  $4^n$
- Минимальная необходимая совокупность особей в F2, в которой реализуются все возможные фенотипы (включая оба крайних родительских):  $4^n$
- Частота особей крайнего (родительского) фенотипического класса в F2:  $(1/4)^n$
- Ожидаемая частота (доля) особей каждого фенотипического класса (на примере аддитивного действия двух полимерных генов):

**P<sub>1,2</sub>:**  $A_1A_1A_2A_2 \times a_1a_1a_2a_2$

**F<sub>1</sub>:**  $A_1a_1A_2a_2$  ( $n = 2, 4^2 = 16$  – число возможных комбинаций гамет в F2 и

минимальное количество потомков второго поколения, в которой реализуются все возможные фенотипы)

**F<sub>2</sub>:**  $0A : 1A : 2A : 3A : 4A$  (5 фенотипических классов в соотношении **1:4:6:4:1**)

Частота особей крайних родительских фенотипов (0A и 4A) =  $(1/4)^2 = 1/16$ .

Частота особей с фенотипом 1A =  $1 * 4/1 = 4$  (4/16)

Частота особей с фенотипом 2A =  $4 * 3/2 = 6$  (6/16)

Частота особей с фенотипом 3A =  $6 * 2/3 = 4$  (4/16)

Частота особей с фенотипом 4A =  $4 * 1/4 = 1$  (1/16)

---

n – число генов в генотипе особи, находящихся в гетерозиготном состоянии;

Для определения частоты/доли особи в следующем фенотипическом классе, необходимо долю особей из предыдущего фенотипического класса умножить на соотношение между числом доминантных аллелей в определяемом фенотипическом классе (записывается в знаменатель) и «остатком» (от общего числа фенотипических классов вычитают число доминантных аллелей в данном классе; записывается в числитель).

***Генетические задачи решаются легко только тогда,  
когда они предварительно уже решены другими.***

***Поэтому необходимо предостеречь тех,  
кто впервые приступает к генетическому анализу,  
от уныния и пессимизма,  
если их первые попытки окажутся неудачными.***

***Александр Сергеевич Серебровский***