

Реализация генотипа в фенотип

- Взаимодействие генов и влияние факторов среды

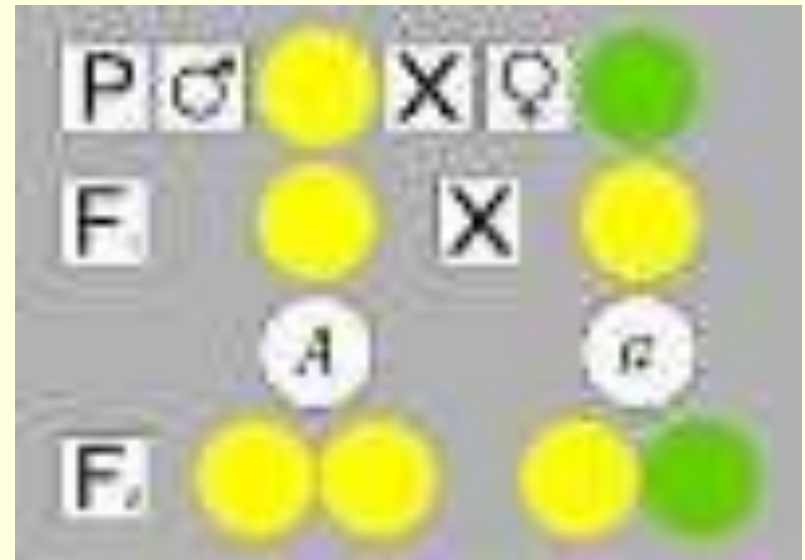
Некоторые общие положения

- Фенотип осознается нами в виде признаков.
- Существуют элементарные и сложные признаки, хотя границу между ними провести сложно.
- Каждый ген кодирует элементарный признак согласно принципа: 1 ген – 1 полипептид.
- Как следствие, большинство сложных признаков детерминируются не одним, а многими генами (принцип полигенности).
- В ходе онтогенеза формирование этих признаков происходит не только в результате действия отдельных генов, но и их взаимодействия (взаимовлияния).
- Взаимодействуют естественно не сами гены, а их продукты – фены (полипептиды).
- На реализацию генотипа в фенотип также оказывают влияние факторы окружающей среды.

Внутриаллельные взаимодействия ГЕНОВ

- **Полное доминирование** - вид взаимодействия, при котором в фенотипе гетерозигот присутствует продукт только одного (доминантного) гена и фенотип гетерозигот имеет такое же значение, как фенотип гомозигот по доминантному признаку.

(Окраска семядолей у гороха – желтая и зеленая)



Внутриаллельные взаимодействия ГЕНОВ

- **Неполное доминирование** - вид взаимодействия, при котором фенотип гетерозигот отличается от фенотипов гомозигот по доминантному и рецессивному признакам и имеет промежуточное значение между ними.



Внутриаллельные взаимодействия ГЕНОВ

- **Кодоминирование** - вид взаимодействия, при котором в фенотипе гетерозигот присутствуют продукты обоих генов. Например, кодоминирование проявляется у людей с 4 группой крови. Первая группа крови у людей с аллелями **iOiO**, вторая - с аллелями **IAIA** или **IAiO**; третья - **IBIB** или **IBiO**; четвертая группа имеет аллели **IAIB**.

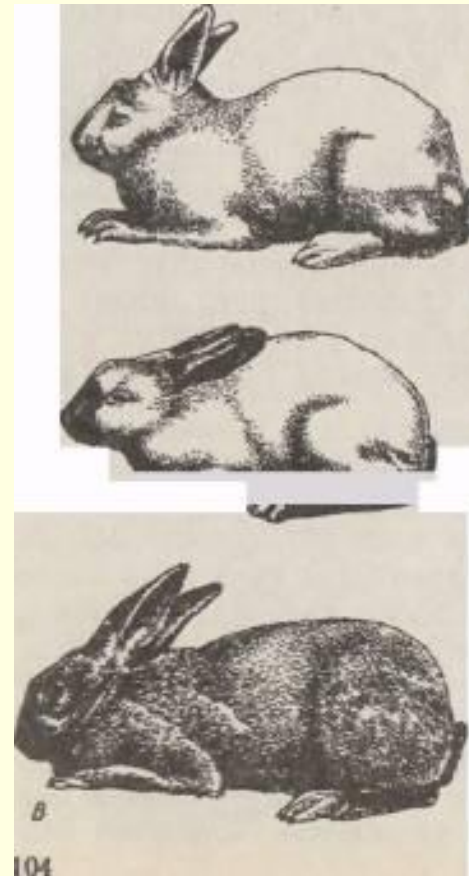
Группа крови	Антигены эритроцитов	Антитела Сыворотки	Генотип
0 (I)	0	анти-А анти-В	iOiO
A(II)	A	анти-В	IAIA или IAiO
B(III)	B	анти-А	IBIB или IBiO
AB(IV)	AB	---	IAIB

Множественный аллелизм

- Многие гены у разных организмов существуют более чем в двух аллельных формах, хотя один диплоидный организм не может быть носителем более двух аллелей. Впервые множественные аллели были открыты в локусе **white**, определяющем окраску глаз у дрозофилы, Морганом и его сотрудниками.

Множественный аллелизм

- У кроликов существует серия множественных аллелей по окраске шерсти: сплошная (шиншилла), гималайская (горностаевая), а также альбинизм. Гималайские кролики на фоне общей белой окраски шерсти имеют черные кончики ушей, лап, хвоста и морды. Альбиносы полностью лишены пигмента



Межаллельные взаимодействия генов (Комплементарность)

- **Комплементарными** (дополняющими) называют гены, обуславливающие при совместном сочетании в генотипе в гомозиготном или гетерозиготном состоянии новое фенотипическое проявление признака.

Межаллельные взаимодействия генов (Комплементарность)

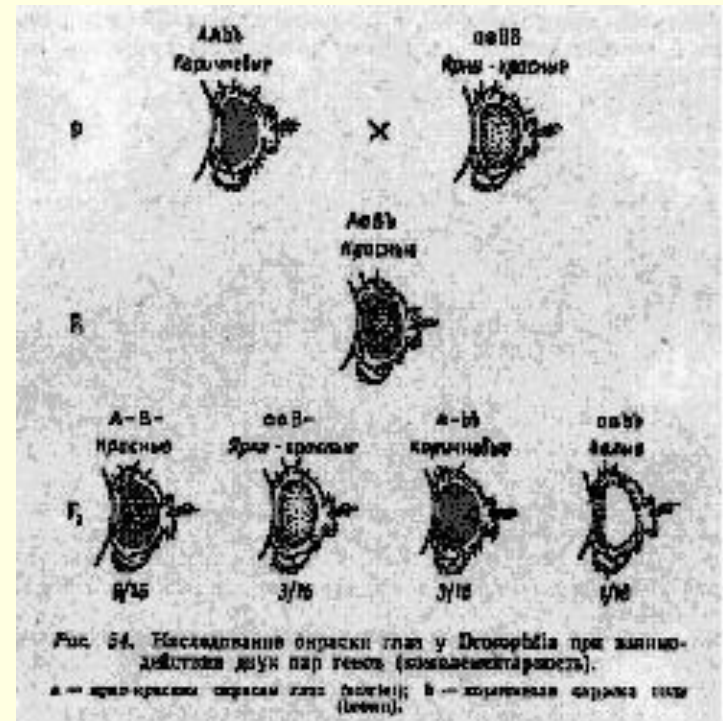
- Классическим примером комплементарного взаимодействия генов является наследование формы гребня у кур (В.Бэтсон, 1902). При скрещивании кур, имеющих розовидный и гороховидный гребень, все первое поколение имеет ореховидный гребень. При скрещивании гибридов первого поколения у потомков наблюдается расщепление по форме гребня: 9/16 ореховидных: 3/16 розовидных: 3/16 гороховидных: 1/16 листовидный. Генетический анализ показал, что куры с розовидным гребнем имеют генотип **A_bb**, с гороховидным - **aaB_**, с ореховидным - **A_B_** и с листовидным - **aabb**, то есть развитие розовидного гребня происходит в том случае, если в генотипе имеется только один доминантный ген - **A**, гороховидного - наличие только гена **B**, сочетание генов **A B** обуславливает появление ореховидного гребня, а сочетание рецессивных аллелей этих генов - листовидного.



Рис. 6. Наследование формы гребня у кур.

Межаллельные взаимодействия генов (Комплементарность)

- Два разных гена могут находиться в разных локусах и влиять на один и тот же признак. (Наследование окраски глаз у дрозофилы при комплементарном взаимодействии неаллельных генов)



Взаимодействие двух генов при формировании одного признака: комплементарность

Межаллельные взаимодействия генов (Комплементарность)

- Комплементарное действие генов наиболее четко проявляется, когда скрещиваются две 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 (*Lathyrus odoratus*) 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, тогда как 7/16 - с белой.

А – белые цветки а – нет эффекта В – белые цветки в – нет эффекта гены А и В действуют комплементарно – пурпурная окраска цветка	Р ААавв х ааВВ белая белая F₁ АаВв пурпурная F₂ А- В- - 9; А- вв – + аа В- + аавв – 7 пурпурные белые
---	--

Межаллельные взаимодействия генов (Комплементарность)

- При скрещивании черной и белой мышей в F₁ все потомство будет иметь серую окраску шерсти (агути). Во втором поколении будет наблюдаться расщепление: 9 – агути; 3 – черных; 4 – белых.

А – пигмент а – нет эффекта В – ген распределитель пигмента в – нет эффекта гены А и В действуют комплементарно	P ААвв х ааВВ черная белая F₁ АаВв агути F₂ А- В- - 9; А- вв - 3; аа В- + аавв - 4 агути черные белые
--	--

Межаллельные взаимодействия генов (Комплементарность)

- При скрещивании двух растений фигурной тыквы, имеющих плоды округлой формы в F₁ все потомство будет иметь плоды дисковидной формы. Во втором поколении будет наблюдаться расщепление: 9 – дисковидная; 6 – округлая; 1 – фигурная.

А – округлая а – фигурная В – округлая в – нет эффекта гены А и В действуют комплементарно – дисковидная форма плода	<table><tr><td>P</td><td colspan="2">ААвв</td><td>х</td><td colspan="2">ааВВ</td></tr><tr><td></td><td colspan="2">округлые</td><td></td><td colspan="2">округлые</td></tr><tr><td>F₁</td><td colspan="5">АаВв</td></tr><tr><td></td><td colspan="5">дисковидные</td></tr><tr><td>F₂</td><td>А- В- - 9;</td><td>А- вв + аа В- - 6</td><td></td><td>аавв - 1</td><td></td></tr><tr><td></td><td>дисковидные</td><td>округлые</td><td></td><td>фигурные</td><td></td></tr></table>	P	ААвв		х	ааВВ			округлые			округлые		F ₁	АаВв						дисковидные					F ₂	А- В- - 9;	А- вв + аа В- - 6		аавв - 1			дисковидные	округлые		фигурные	
P	ААвв		х	ааВВ																																	
	округлые			округлые																																	
F ₁	АаВв																																				
	дисковидные																																				
F ₂	А- В- - 9;	А- вв + аа В- - 6		аавв - 1																																	
	дисковидные	округлые		фигурные																																	

Эпистаз

(от греч. epistasis – препятствие, подавление)

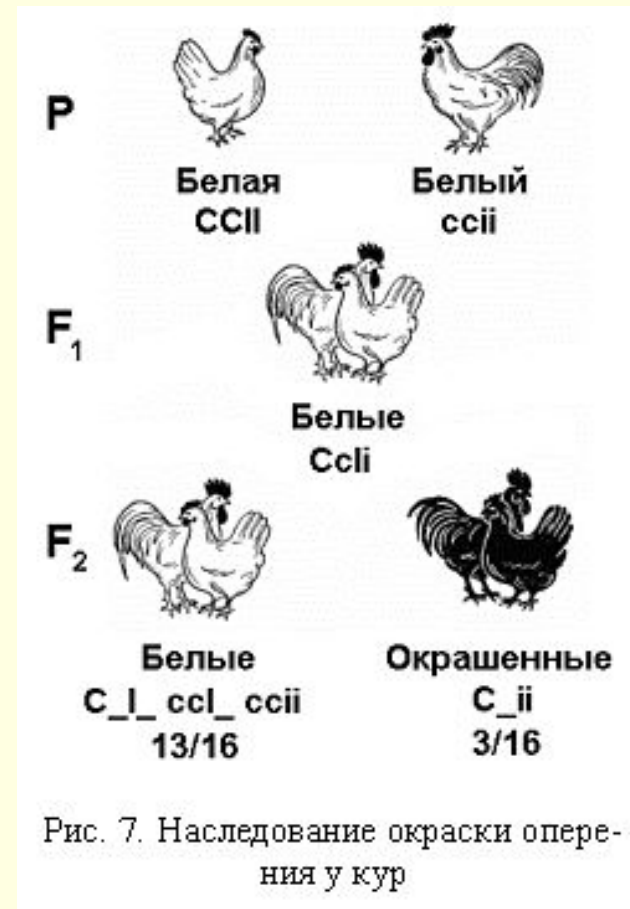
- взаимодействие между доминантными генами из разных пар аллелей, при котором один ген, называемый ингибитор или супрессор, подавляет проявление другого.

Эпистаз

- А – нет окраски
- а – нет окраски
- В – дает пигмент
- в – нет окраски
- аллель А > В -, т.е. является ингибитором или супрессором

Расщепление в F2:

13:3



Эпистаз

(подавление)

- **Пример:** доминантный ген (А) серой окраски лошади подавляет проявление другой пары генов, определяющих масть (вороную - В, рыжую – в)
- При скрещивании жеребца серой масти с рыжей кобылой все потомство в первом поколении будет иметь серую масть. При дальнейшем скрещивании гибридов F1 в F2 будет наблюдаться расщепление 12:3:1

12	A-B-, A-вв	- серые
3	aaB-	- вороные
1	aавв	- рыжие

Криптомерия

(взаимодействие по типу проявления)

- Некоторые гены не проявляют своего действия фенотипически до тех пор, пока не происходит их взаимодействия с другими (неаллельными) генами. Ген, присутствие которого необходимо в генотипе, чтобы признак проявился называется геном – проявителем.
- Пример – При скрещивании двух форм растения льна с розовыми и белыми цветками в F₁ все потомство будет иметь голубые цветки. Во втором поколении будет наблюдаться расщепление: 9 – голубые; 3 – розовые; 4 – белые.

А – ген проявитель а – нет эффекта В – голубая в – розовая Аллель В- проявляется только в сочетании с геном А	<table><tr><td>P</td><td>AAвв</td><td>х</td><td>aaBB</td></tr><tr><td></td><td>розовая</td><td></td><td>белая</td></tr><tr><td>F₁</td><td colspan="3">AaBв</td></tr><tr><td></td><td colspan="3">голубая</td></tr><tr><td>F₂</td><td>A- В- - 9;</td><td>A- вв - 3;</td><td>aa В- + аавв - 4</td></tr><tr><td></td><td>голубая</td><td>розовая</td><td>белая</td></tr></table>	P	AAвв	х	aaBB		розовая		белая	F ₁	AaBв				голубая			F ₂	A- В- - 9;	A- вв - 3;	aa В- + аавв - 4		голубая	розовая	белая
P	AAвв	х	aaBB																						
	розовая		белая																						
F ₁	AaBв																								
	голубая																								
F ₂	A- В- - 9;	A- вв - 3;	aa В- + аавв - 4																						
	голубая	розовая	белая																						

Полимерное взаимодействие

- Полимерия. Скрещивая белую и пурпурную фасоли, Мендель столкнулся с явлением полимерии. Полимерией называют влияние двух, трех и более неаллельных генов на развитие одного и того же признака. Такие гены называют полимерными, или множественными, и обозначают одной буквой с соответствующим индексом, например **A1**, **A2**, **a1**, **a2**. Полимерные гены контролируют большинство количественных признаков организмов: высоту растения, массу семян, масличность семян, содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы, удойность коров, яйценоскость, вес тела и т.д. У человека по типу полимерии наследуется, например, окраска кожи.

Полимерия (некумулятивная)

- При скрещивании двух гомозиготных форм пастушьей сумки с треугольными и округлыми семенами в F1 все потомство будет иметь треугольные семена. Во втором поколении будет наблюдаться расщепление: 15 с треугольными / 1 с округлыми

Пастушья
сумка



A_1 – треугольные семена
 A_2 – треугольные семена
 a_1 – округлые семена
 a_2 – округлые семена
 A_1 и A_2 – полимерные гены

P	$A_1 A_1 A_2 A_2$	x	$a_1 a_1 a_2 a_2$
	треугольные		округлые
F ₁	$A_1 a_1 A_2 a_2$		
			треугольные
F ₂	$A_1 - A_2 - + A_1 - a_2 a_2 + a_1 a_1 A_2 - - 15;$		$a_1 a_1 a_2 a_2 - 1$
	треугольные		округлые

Полимерия (кумулятивная)

- При скрещивании двух гомозиготных форм пшеницы с ярко красным эндоспермом и неокрашенным эндоспермом в F₁ все потомство будет иметь семена с розовым эндоспермом. Во втором поколении будет наблюдаться расщепление: 1:4:6:4:1 (по мере убывания интенсивности окраски зерновки)



Модификационное взаимодействие

- Для многих генов известна способность модифицировать эффекты действия других (неаллельных генов). Такие гены имеют название **модификаторы**. Гены - модификаторы могут иметь или не иметь собственное фенотипическое проявление.

Плейотропия

- **Плейотропное (множественное) действие гена**
- Один ген определяет развитие или влияет на проявление нескольких признаков.
- **Пример:** ген карликовости у мышей (рецессивная аллель) определяет ненормальное развитие гипофиза. Рецессивные гомозиготы прекращают расти на второй неделе жизни, неспособны к размножению, внутренние органы, особенно железы внутренней секреции, имеют измененную форму, менее подвижны и плохо переносят перепады температур.
- **Пример:** ген платиновой окраски шерсти у лисиц одновременно является летальным в гомозиготном состоянии

Пенетрантность генов

- Важнейшей особенностью действия генов является их пенетрантность, впервые описанная Н. В. Тимофеевым-Ресовским. Под ней понимают **частоту проявления того или иного гена**, измеряемую частотой встречаемости признака в популяции, т. е. частотой встречаемости в популяции организмов, обладающих этим признаком. Пенетрантность является статистической концепцией регулярности, с которой выражается (экспрессируется) тот или иной ген в популяции. Если какой-либо ген в популяции фенотипически выражается у индивидуумов, количество которых составляет 75% обследованных, то считают, что его пенетрантность тоже составляет 75%. Например, доминантный ген, контролирующий изменение цвета склеры глаз человека встречается у 90% людей. Следовательно, пенетрантность этого гена составляет 90%.

Экспрессивность генов

(выраженность проявления генетически
детерминированного признака)

- Экспрессия некоторых генотипов может зависеть от внешних условий. Ниже показаны два кролика, один из которых с темными пятнами. Аллель гималайской окраски у кролика температурочувствителен. При повышенной температуре белок не функционален и необходимый пигмент не образуется, а при нормальной температуре получается кролик, у которого некоторые участки шкуры окрашены.



Влияние факторов среды

- Экспрессивность и пенетрантность подвержены колебаниям. Причины этих колебаний не совсем ясны. Обычно вариабельность в экспрессивности и пенетрантности генов объясняют либо модифицирующим влиянием других генов (генов-модификаторов), либо действием факторов среды либо совместным действием обоих этих факторов, а возможно и других факторов.

Норма реакции признака

- Диапазон проявлений генотипа в зависимости от условий окружающей среды называют наследственной нормой реакции.

Подытожим:

- Формирование любого генетически детерминированного признака (реализация генотипа в фенотип) – достаточно сложный процесс, на исход которого влияют многие факторы:
- полученный от родителей комплекс генов,
- взаимодействие этих генов,
- факторы окружающей среды

Отношение	Генотипы			
	<i>A_B_</i>	<i>A_bb</i>	<i>aaB_</i>	<i>aabb</i>
9:3:3:1	9	3	3	1
9:3:4	9	3	4	
12:3:1	12		3	1
9:7	9	7		
9:6:1	9	6		1
15:1	15			1
13:3	13		3	

Варианты соотношений классов в потомстве дигибридного скрещивания в зависимости от типа взаимодействия генов