



Лабораторне заняття № 4

Тема: Взаємодія генів

Мета: розглянути основні типи взаємодії генів, ознайомитись з основними алгоритмами розв'язання задач на взаємодію генів.

Питання для самопідготовки:

1. Сутність поняття «взаємодія генів».
2. Алельні та неалельні гени.
3. Компліментарність.
4. Домінантний епістаз.
5. Рецесивний епістаз.
6. Полімерія.
7. Моделі розщеплення за умов різних типів взаємодії генів.

Хід роботи:

Теоретична частина:

У випадку дігенного успадкування типовою є схема розщеплення 9:3:3:1.

Але існують певні модифікації цього розщеплення:

Батьки P: ♀ AABV × ♂ aabb або ♀ AAbb × ♂ aaBV

F₁: AaBb

F₂:

Тип взаємодії генів	A-B-	A-bb	aaB	aab	Співвідношення
Дігібридне схрещування	9	3	3	1	9:3:3:1
Комплементарна взаємодія (1)	9	3	3	1	9:3:3:1
Комплементарна взаємодія (2)	9	7			9:7
Комплементарна взаємодія (3)	9	3	4		9:3:4
Домінантний епістаз (4)	12		3	1	12:3:1
Домінантний епістаз (5)	12		3	1	12:3:1
Рецесивний епістаз	9	3	4		9:3:4
Некумулятивна полімерія	15			1	15:1
Кумулятивна полімерія (6)					1:4:6:4:1

Примітка:

1 – доміантні алелі мають власний фенотиповий прояв, рецесивні алелі не мають власного фенотипового прояву

2 – доміантні та рецесивні алелі не мають власного фенотипового прояву



ЕКОЛОГІЧНА ГЕНЕТИКА



3 – домінуючі та рецесивні алелі мають власний фенотиповий прояв

4 – рецесивний алель гіпостатичного гену має власний фенотиповий прояв

5 – рецесивний алель гіпостатичного гену не має власного фенотипового прояву

6 – немає дискретного прояву, розподілення безперевне

Моделі розщеплення:

9:3:3:1 – комплементарна дія генів;

9:3:4 – комплементарна дія генів або рецесивний епістаз;

9:7 – комплементарна дія генів;

9:6:1 – комплементарна дія генів;

13:3 – епістаз;

12:3:1 – епістаз;

1:4:6:4:1 – полімерія;

15:1 – некумулятивна полімерія.

Приклади розв'язання типових задач на взаємодію генів

Задача 1.

При схрещуванні гарбузів з білими плодами у першому поколінні було отримано:

67 рослин з білими плодами

19 рослин з жовтими плодами

6 рослин з зеленими плодами.

Поясніть результати, визначте генотипи вихідних рослин. Що буде якщо схрестити вихідні рослини з рослинами з зеленими плодами з F_1 ?

Розв'язок:

Оскільки у першому поколінні відбувається розщеплення вихідні рослини гетерозиготні. Розщеплення отриманих нащадків не відповідає 1:2:1, тож це не моногібридне схрещування. Для визначення розщеплення спочатку розрахуємо загальну кількість нащадків: $67+19+6=92$. Розрахуємо $1/16$ для дигібридного схрещування: $92/16=5,75$. Розщеплення у нашому випадку складає:

$67/5,75=11,6$ з білими плодами ≈ 12

$19/5,75=3,3$ з жовтими плодами ≈ 3

$6/5,75=1,04$ з зеленими плодами ≈ 1

Таким чином ми отримали розщеплення 12:3:1, що вказує на успадкування забарвлення плоду за принципом домінуючого епістазу:

Ген А блокує будь-яке забарвлення – за його наявності усі плоди білого кольору, алель а дозволяє наявність забарвлення яке



ЕКОЛОГІЧНА ГЕНЕТИКА



в свою чергу залежить від іншого гену *B*. Домінантна алель *B* обумовлює жовте забарвлення, рецесивна алель *b* – зелене забарвлення.

Вихідні рослини мали білі плоди, тож обидва мають алель *A*. Поява жовтих та зелених плодів вказує на гетерозиготність вихідних форм за геном *A*. Оскільки виникли і жовті, і зелені плоди за геном *B* батьківські форми також гетерозиготні. Тобто генотип вихідних рослин *AaBb*. Гени *A* та *B* успадковуються незалежно один від одного.

Схрещування вихідних рослин *AaBb* з рослинами з зеленими плодами які мають генотип *aabb* є аналізуючим. При цьому утворюються 4 генотипових класів у співвідношенні 1 *AaBb*:1 *Aabb*:1 *aaBb*:1 *aabb*. Особини з генотипами *AaBb* та *Aabb* матимуть білі плоди, тож розщеплення за фенотипами буде 2 білі: 1 жовті: 1 зелені.

Запис розв'язку у зошитах:

Дано:
A – блокування забарвлення
a – забарвлення проявляється
B – жовте забарвлення
b – зелене

Розв'язання:
 $P \text{ } \text{♀} \text{ } AaBb \times \text{♂} \text{ } AaBb$

G *AB* *AB*
Ab *Ab*
aB *aB*
ab *ab*

Гамети	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>B</i>	<i>b</i>
<i>AB</i>	<i>ABB</i> білі	<i>ABb</i> білі	<i>aBB</i> білі	<i>aBb</i> білі
<i>Ab</i>	<i>ABb</i> білі	<i>Abb</i> білі	<i>aBb</i> білі	<i>abb</i> білі
<i>aB</i>	<i>VB</i> білі	<i>aVb</i> білі	<i>VB</i> жовті	<i>aVb</i> жовті
<i>ab</i>	<i>Vb</i> білі	<i>abb</i> білі	<i>Vb</i> жовті	<i>abb</i> зелені

$67+19+6=92, 92/16=5,75$
 $67/5,75=11,6$ з білими плодами ≈ 12



ЕКОЛОГІЧНА ГЕНЕТИКА



забарвленн я		$19/5,75=3,3$ з жовтими плодами ≈ 3 $6/5,75=1,04$ з зеленими плодами ≈ 1 12:3:1 – домінантний епістаз
Р біле × біле		Р ♀ $AaBb$ × ♂ $aabb$
F ₁ 67 біле	G	AB ab Ab aB ab
19 жовте	F ₁	$AaBb$ білі $Aabb$ білі
6 зелене		$aaBb$ жовті $aabb$ зелені
Харак тер		Розщеплення за генотипом 1 $AaBb$:1 $Aabb$:1 $aaBb$:1 $aabb$.
успадкуван ня?		Розщеплення за фенотипом 2 білі: 1 жовті: 1 зелені
Генот ипи		
вихідних рослин?		
Р		
вихідна × зелена ?		

Задача 2.

Схрестили дві рослини духмяного горошку з білими пазушними та білими верхівковими квітами. У першому поколінні усі рослини виявилися з пурпуровими пазушними квітками, а у другому покоління відбулося розщеплення: 415 з пурпуровими пазушними, 140 з пурпуровими верхівковими, 350 з білими пазушними, 95 з білими верхівковими. Разом 1000 нащадків. Як успадковуються ці ознаки? Яку рослину слід використати для аналізуючого схрещування? Які будуть результати цього схрещування?

Розв'язок:

Проаналізуємо успадкування кожної ознаки окремо.

Успадкування забарвлення квітів. Оскільки усі нащадки у першому поколінні однакові то батьки скоріш за все гомозиготи. Порахуємо кількість нащадків у другому поколінні за забарвленням:



ЕКОЛОГІЧНА ГЕНЕТИКА



$$415+140=555 \text{ пурпорових}$$

$$350+95=445 \text{ білих}$$

Розрахуємо $\frac{1}{4}$ від загальної кількості нащадків: $1000/4=250$.

$$555/250=2,22$$

$$445/250=1,78.$$

Але в першому поколінні усі нащадки були однаковими, тож таке розщеплення у другому поколінні вказує на те що ознака успадковується не моногенно. Знайдемо $1/16$ від загальної кількості нащадків. $1000/16=62,5$

$$555/62,5=8,88 \approx 9$$

$$445/62,5=7,28 \approx 7.$$

Розщеплення 9:7 вказує на компліментарну взаємодію двох генів *A* та *B* які окремо не обумовлюють прояв забарвлення. Генотипи вихідних рослин тому будуть *AAbb* та *aaBB* (вони обидва білого кольору). Генотип гібридів першого покоління *AaBb*.

Успадкування розташування квіток. Перше покоління гібридів однакове, тож і за цією ознакою батьки гомозиготні. Оскільки ми маємо два класи нащадків у другому поколінні, а в першому домінує пазушне розташування то припускаємо моногенне успадкування ознаки. Розрахуємо кількість нащадків за кожним класом:

$$415+350=765 \text{ пазушних}$$

$$140+95=235 \text{ верхівкових}$$

$$765/250=3,06 \approx 3$$

$$235/250=0,94 \approx 1$$

Розщеплення 3:1 вказує на успадкування ознаки за принципом повного домінування. Тож алель *C* відповідає за пазушне розташування квітки, генотип *cc* – верхівкове. Таким чином генотипи вихідних рослин: *CC* та *cc*.

Повний генотип батьків за двома ознаками може бути таким:

$$AAbbCC \text{ та } aaBBcc \text{ або } Aabbcc \text{ та } aaBBCC.$$

Для аналізуючого схрещування слід використати білу рослину з верхівковими квітками та генотипом *aabbcc*. Результати такого схрещування будуть залежати від другої батьківської форми (нижче наведено кілька прикладів таких розщеплень, **не всі можливі варіанти!**):

$$1. \quad P \text{ } \text{♀} \text{ } AABBCC \times \text{♂} \text{ } aabbcc$$

$$F_1 \text{ } AaBbCc - 100\% \text{ пурпурові пазушні}$$

$$2. \quad P \text{ } \text{♀} \text{ } AABBCC \times \text{♂} \text{ } aabbcc$$

$$F_1 \text{ } AaBbCc - 50\% \text{ пурпурові пазушні}$$

$$AaBbcc - 50\% \text{ пурпурові верхівкові}$$



ЕКОЛОГІЧНА ГЕНЕТИКА



3. P ♀ $AABbCC$ × ♂ $aabbcc$
F₁ $AaBbCc$ – 50% пурпурові пазушні
 $AabbCc$ – 50% білі пазушні
4. P ♀ $AaBVCC$ × ♂ $aabbcc$
F₁ $AaBbCc$ – 50% пурпурові пазушні
 $aaBbCc$ – 50% білі пазушні
5. P ♀ $AABVcc$ × ♂ $aabbcc$
F₁ $AaBbcc$ – 100% пурпурові верхівкові
6. P ♀ $AABbcc$ × ♂ $aabbcc$
F₁ $AaBbcc$ – 50% пуропорові верхівкові
 $Aabbcc$ – 50% білі верхівкові
7. P ♀ $AaBVcc$ × ♂ $aabbcc$
F₁ $AaBbcc$ – 50% пуропорові верхівкові
 $aaBbcc$ – 50% білі верхівкові
8. P ♀ $AaBbCc$ × ♂ $aabbcc$
F₁

Гамети	Abc
ABC	$AaBbCc$ пурпурові пазушні
ABc	$AaBbcc$ пурпурові верхівкові
AbC	$AabbCc$ білі пазушні
Abc	$Aabbcc$ білі верхівкові
aBC	$aaBbCc$ білі пазушні
aBc	$aaBbcc$ білі верхівкові
abC	$aabbCc$ білі пазушні
abc	$aabbcc$ білі верхівкові

Відповідь:

Таким чином, ознаки успадковуються незалежно одна від одної. Ознака розташування квіток успадковується за принципом повного домінування та контролюється одним геном. Ознака забарвлення квітки успадковується за принципом компліментарної взаємодії двох генів які також успадковуються незалежно один від одного. Повний генотип батьків за двома ознаками може бути таким: $AAbbCC$ та $aaBVcc$ або $AAbbcc$ та $aaBVCC$. Для аналізуючого схрещування слід використати білу рослину з верхівковими квітками та генотипом $aabbcc$.

Задача 3.

Схрестили курочку з горохоподібним гребенем з півнем з трояндоподібним гребенем У першому поколінні усі курчата мали горіхоподібний гребінь. При схрещуванні курочок та півнів, що мали горіхоподібний гребінь, отримали 279 курчат з горіхоподібним гребенем, 115 з горохоподібним, 106 з трояндоподібним та 35 з простим. Поясніть отримані результати,



ЕКОЛОГІЧНА ГЕНЕТИКА



визначте генотипи батьківських форм. Яка частина нащадків з трояндоподібним гребенем гомозиготна?

Розв'язок:

Оскільки в першому поколінні усі нащадки виявилися однаковими, то ми припускаємо, що батьківські форми – гомозиготи. Наявність 4 фенотипових класів у другому поколінні свідчить про дигібридне схрещування. Вираховуємо загальну кількість нащадків:

$$279+115+106+35=535.$$

$$\text{Знаходимо } 1/16 - 535/16=33,4.$$

Розраховуємо модель розщеплення:

$$279/33,4=8,35 \text{ горіхоподібний гребінь } \approx 9 A-B-$$

$$115/33,4=3,4 \text{ горохоподібний гребінь } \approx 3 A-bb$$

$$106/33,4=3,1 \text{ трояндоподібний гребінь } \approx 3 aaB-$$

$$35/33,4=1,04 \text{ простий гребінь } \approx 1 aabb$$

Розщеплення 9:3:3:1 вказує на успадкування ознаки форми гребеня у курей за принципом комплементарної взаємодії генів коли кожен з генів А та В у домінантному стані обумовлює свій фенотиповий прояв, разом вони утворюють ще один фенотиповий прояв та особини гомозиготи за рецесивом також відрізняються від інших форм.

Таким чином генотипи батьківських форм Р ♀ $AAbb$ × ♂ $aaBB$. Гібриди першого покоління мають генотип $AaBb$.

У другому поколінні 3/16 курчат мають трояндоподібний гребінь, але тільки одна третина з них з генотипом $aaBB$ будуть гомозиготні. Тобто загалом з усіх нащадків 1/16 частина буде гомозиготною та мати трояндоподібний гребінь (у таблиці виділено червоним кольором). Так само і для горохоподібного гребеня 1/16 курчат будуть гомозиготами за цією ознакою (у таблиці виділено сірим кольором).

Гамети	AB	Ab	aB	ab
AB	$AABB$ горіх.	$AABb$ горіх.	$AaBB$ горіх.	$AaBb$ горіх.
Ab	$AABb$ горіх.	$Aabb$ горох.	$AaBb$ горіх.	$Aabb$ горох.
aB	$AaBB$ горіх.	$AaBb$ горіх.	$aaBB$ троян.	$aaBb$ троян.
ab	$AaBb$ горіх.	$Aabb$ горох.	$aaBb$ троян.	$aabb$ прост.



Задача 4.

У льону форма пелюсток успадковується за принципом епістатичної взаємодії генів. Ген А обумовлює гофровану форму пелюсток, його рецесивна алель гладеньку. Ген І подавляє дію гену А, а алель і не впливає на форму пелюсток. Яка ймовірність отримання рослин з гофрованими пелюстками від схрещування рослин одна з яких гетерозиготна та має гофровані пелюстки, а інша дігетерозиготна?

Розв'язок:

По-перше потрібно встановити генотипи батьків. За умовами задачі один з батьків гетерозиготний та має гофровані пелюстки. Тобто ген А який обумовлює форму пелюстки не блоковано, а тому ця рослина гомозиготна за геном і – іі. Інша батьківська рослина дігетерозиготна, і, тому за фенотипом повинна мати гладенькі пелюстки. Тож генотипи наших батьків ♀ Aaіі та ♂ AaIi.

Запишемо схрещування:

P ♀ Aaіі × ♂ AaIi

G	Ai	AI
	ai	Ai
		aI
		ai

F₁ :

Гамети	AI	Ai	aI	ai
Ai	AAIi гладенькі	AAii гофровані	AaIi гладенькі	Aaіі гофровані
ai	AaIi гладенькі	Aaіі гофровані	aaIi гладенькі	aaіі гладенькі

Розщеплення 5:3 (гладенькі:гофровані). Всього можливих класів – 8. З них 3/8 будуть мати гофровані пелюстки (в таблиці виділено блакитним).

Тож відповідь: ймовірність отримання нащадків з гофрованими пелюстками 3/8.

Задача 5.

У пшениці щільність колосу визначається кількістю колосків на 10 см довжини колосу. Розрізняють наступні типи колосу: пухкий (менш ніж 17 колосків), середньої щільності (17-20), вище середньої (20-23), щільні (23-26) та дуже щільні (більш ніж 26 колосків). Припустимо, що щільність визначається двома парами полімерних неалельних генів що мають кумулятивний ефект: чим менша кількість доміантних генів тим більша щільність колосу. Схрестили два сорти пшениці що мають середню та вище



ЕКОЛОГІЧНА ГЕНЕТИКА



середньої щільності та генотипи $A_1A_2a_1a_2$ та $A_1a_1A_2A_2$. Яка максимальна можлива щільність колосу гібридів першого покоління?

Розв'язок:

Запишемо проведене схрещування:

$P \quad \text{♀ } A_1A_2a_1a_2 \times \text{♂ } A_1a_1A_2A_2$

G A_1A_2 A_1A_2
 A_1a_2 a_1A_2
 a_1A_2
 a_1a_2

F_1

Гамети	A_1A_2	a_1A_2	
A_1A_2	$A_1A_1A_2A_2$ пухкий	$A_1a_1A_2A_2$ середня щільність	середня щільність
A_1a_2	$A_1A_1A_2a$ середня щільність	$A_1a_1A_2a_2$ середньої	вище середньої
a_1A_2	$A_1a_1A_2A_2$ середня щільність	$a_1a_1A_2A_2$ середньої	вище середньої
a_1a_2	$A_1a_1A_2a_2$ вище середньої	$a_1a_1A_2a_2$ щільний	

Відповідь: максимальна можлива щільність колосу гібридів першого покоління від такого схрещування – щільний колос – одна домінуюча алель (в таблиці виділено жовтим) з вірогідністю утворення $1/8$.

Практична частина:

Задача 1. Від схрещування темних та білих коропів в F_1 усі нащадки виявились темними, а у F_2 відбулося розщеплення:

265 темних,
 82 сталевих,
 87 помаранчевих,
 24 білих

 458

Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних риб. Яке забарвлення буде у нащадків від схрещування гомозиготних сталевих та помаранчевих риб?

Задача 2. Від схрещування альбіносів та забарвлених золотих рибок у F_1 усі рибки виявились забарвленими, а у F_2 відбулося розщеплення: 199 забарвленими та 17 альбіносів. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних риб та гібридів F_1 .



ЕКОЛОГІЧНА ГЕНЕТИКА



Задача 3. Від схрещування акваріумних рибок-меченосців, які мали дві темні плями на хвості з незабарвленими рибками, у F_1 усі рибки мали чорну смугу на хвості, а у F_2 відбулося розщеплення:

54 з чорною смугою,
16 з двома чорними плямами,
28 незабарвлених
98

Поясніть розщеплення. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних риб та гібридів F_1 .

Задача 4. Схрещують два сорти льону, один з яких має рожеве забарвлення віночку та нормальні пелюстки, а інший – біле забарвлення віночку та нормальні пелюстки. В F_1 рослини мали рожеве забарвлення віночку та нормальні пелюстки. В F_2 відбулося розщеплення: 42 рожеві нормальні, 6 рожеві з гофрованими пелюстками, 4 білих з гофрованими пелюстками та 16 білих з нормальними пелюстками. Поясніть результати.

Задача 5. Висота рослини сорго, гомозиготної за рецесивними алелями чотирьох генів карликовості, дорівнює 40 см. Висота рослини, гомозиготної за домінантними алелями цих чотирьох генів, дорівнює 240 см. Припустимо, що відмінності у висоті стебла контролюються в рівній мірі всіма чотирма незчепленими генами, причому їх дія носить кумулятивний характер. Рослину генотипу $A_1A_1A_2A_2A_3A_3a_4a_4$ схрещували з рослиною $a_1a_1a_2a_2a_3a_3A_4A_4$. Яка висота стебла у кожній з батьківських форм? Яка очікувана висота рослин F_1 ? Вкажіть очікувані межі мінливості висоти у рослин F_2 та очікувану частоту рослин для кожного класу висоти. Яка очікувана середня висота рослин F_2 ?

Завдання для виконання вдома:

Задача 1. При схрещуванні рослини цибулі з жовтими цибулинами (№ 1) з двома рослинами, які мали білі цибулини (№ 2 і № 3), були отримані наступні результати:

від схрещування рослин № 1 і № 2 в F_1 всі рослини з жовтими, а в F_2 - 54 з жовтими і 15 з білими цибулинами;

від схрещування рослин № 1 і № 3 в F_1 всі рослини з червоними, а в F_2 - 71 з жовтими, 89 з білими і 195 з червоними цибулинами.



ЕКОЛОГІЧНА ГЕНЕТИКА



Поясніть результати, визначте генотипи вихідних рослин. Які результати ви чекаєте отримати в аналізуючому схрещуванні і які рослини ви пропонуєте для цього використовувати?

Задача 2. Рослина, гомозиготна за трьома парами рецесивних генів, має висоту 32 см, а гомозиготна за домінантними алелями цих генів має висоту 50 см. Приймаємо, що вплив окремих домінантних генів на ріст у всіх випадках однаковий і їх дія підсумовується. В F_2 від схрещування цих рослин отримано 192 нащадки. Скільки з них матиме генетично обумовлену висоту в 44 см?

Задача 3. При схрещуванні курей та півней, які мали горіхоподібні гребені, отримали 279 курчат з горіхоподібним гребенем, 115 з горохоподібним, 106 з трояндоподібним та 35 з простим. Поясніть результати, визначте генотипи вихідних птахів. Яка частина курчат з трояндоподібним гребенем гомозиготна?

Задача 4. У грициків звичайних відомі рослини двох фенотипів – з овальними та трикутними стручками. Відомо, що форма стручка контролюється двома парами генів, але овальні стручки мають лише рослини з генотипом $a_1a_1a_2a_2$. При схрещуванні рослин з трикутними стручками з рослиною з овальними стручками в F_1 отримали 122 рослини, а в F_2 – 642 рослини. Скільки рослин мають трикутні та овальні стручки у F_1 та у F_2 ?

Задача 5. Від схрещування рослин гарбуза із зеленими і жовтими плодами в F_1 плоди виявилися жовтими, а в F_2 відбулося розщеплення на $3/4$ жовтих і $1/4$ зелених. Від схрещування рослин з білими і зеленими плодами в F_1 плоди білі, а в F_2 розщеплення: 113 білих, 31 жовтий і 7 зелених. Як успадковується ознака? Поясніть розщеплення в обох схрещуваннях і визначте генотипи вихідних рослин.

Питання для контролю знань:

1. Що таке взаємодія неалельних генів?
2. Яким чином визначити моделі розщеплення при взаємодії генів?
3. Яке розщеплення вказує на взаємодію за типом компліментарності?
4. Яке розщеплення вказує на взаємодію за типом домінантного епістазу?
5. Яке розщеплення вказує на взаємодію за типом рецесивного епістазу?



ЕКОЛОГІЧНА ГЕНЕТИКА



6. Яке розщеплення вказує на взаємодію за типом кумулятивної полімерії?
7. Яке розщеплення вказує на взаємодію за типом некумулятивної полімерії?
8. В чому полягає різниця в механізмах дії різних типів епістазу?
9. Який алгоритм розв'язання задач на взаємодію генів?