

**Міністерство освіти і науки України  
Національний еколого-натуралістичний центр учнівської молоді**

# **Збірник задач з генетики**

**м. Київ - 2017**

УДК 575  
ББК 74.200

*Рекомендовано до друку засіданням кафедри методики позакласної та позашкільної роботи  
Національного еколого-натуралістичного центру учнівської молоді  
(Протокол № 2 від 9 березня 2017 року)*

В.Л. Адріанов

Збірник задач з генетики: [збірник/ за заг. ред. д.п.н., професора В.В. Вербицького]. – Київ, «НЕНЦ», 2017. – с.

У збірнику представлені завдання з генетики вирішення яких сприяє поглибленню знань і дає певну можливість для самоконтролю.

У збірнику представлені докладні алгоритми вирішення всіх основних видів завдань з генетики. Розбіру задач кожного типу передує короткий теоретичний вступ, що розкриває суть тієї чи іншої закономірності успадкування. Для відпрацювання навичок рішення в посібник включені блоки завдань по кожній темі. Завершують посібник завдання для самостійного контрольного рішення.

УДК 575  
ББК 74.200

© НЕНЦ, 2017

## **Зміст**

Нуклеїнові кислоти.....	3
ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.....	3
Задачі для самостійного розв'язання.....	5
Біосинтез білка.....	6
ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.....	7
ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ.....	9
Задачі з генетики.....	12
МОНОГІБРИДНЕ СХРЕЩУВАННЯ.....	14
ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.....	15
Задачі для самостійного розв'язання.....	18
ПРОМІЖНЕ УСПАДКУВАННЯ.....	24
Приклади задач.....	25
ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ.....	26
Дигібридне схрещування.....	27
Приклади задач.....	28
Задачі для самостійного розв'язання.....	35
ПОЛІГІБРИДНЕ СХРЕЩУВАННЯ.....	42
ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.....	44
Задачі для самостійного розв'язання.....	45
Аналізуюче схрещування.....	47
Приклади задач.....	48
ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ.....	50
ЗЧЕПЛЕНЕ УСПАДКУВАННЯ.....	51
ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.....	52
ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ.....	54
УСПАДКУВАННЯ, ЗЧЕПЛЕНЕ ЗІ СТАТТЮ.....	57
ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.....	59

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ.....	60
ВЗАЄМОДІЯ ГЕНІВ. МНОЖИННА ДІЯ ГЕНІВ.....	63
Приклади задач.....	65
Задачі для самостійного розв'язання.....	67
Генетика популяцій.....	72
Приклади задач.....	74
Задачі для самостійного розв'язання.....	75
Обмін речовин.....	76
Приклади задач.....	78
Задачі для самостійного розв'язання.....	80
Основи екології.....	83
Приклади задач.....	85
Задачі для самостійного розв'язання.....	87

**В. Л. Адріанов**  
**ЗАДАЧІ З БІОЛОГІЇ**  
**навчальний посібник**

**Нуклеїнові кислоти.**

Одна з фундаментальних властивостей живих організмів — *спадковість*, тобто здатність передавати свої ознаки потомкам. Ця здатність зумовлена передаванням із покоління в покоління генетичної інформації. Матеріальним носієм цієї інформації є молекули дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК).

ДНК — це біополімер, мономером якого є нуклеотид. Нуклеотид ДНК складається з трьох частин: залишків азотистої основи, дезоксирибози та фосфорної кислоти. Існують чотири основні типи азотистих основ: аденін (А), гуанін (Г), тимін (Т), цитозин (Ц). Назва нуклеотиду є похідною від назви азотистої основи: *аденіловий, гуаніловий, тимідиловий, цитидиловий*.

Згідно з моделлю Уотсона-Кріка (1953) молекула ДНК складається з двох полінуклеотидних ланцюгів, закручених у спіраль відносно один одного (подвійна спіраль). Азотисті основи різних ланцюгів з'єднуються за допомогою водневих зв'язків певним чином, а саме: аденін із тиміном, гуанін із цитозином. Принцип вибіркового поєднання нуклеотидів називається *принципом комплементарності*. Розмір кожної комплементарної пари вздовж осі спіралі дорівнює *0,34 нм*.

***ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.***

**Задача 1.** Один з ланцюгів ДНК має таку будову :

**АТГ-АЦЦ-АГТ-ЦАЦ-АТЦ.**

Яка послідовність нуклеотидів у другому ланцюзі цієї молекули ДНК?

*Розв'язання.* Послідовність нуклеотидів у другому ланцюзі ДНК визначається у відповідності до принципу комплементарності:

**ТАЦ-ТГГ-ТЦА-ГТГ-ТАГ**

**Задача 2.** Фрагмент молекули ДНК містить 560 тимідилових нуклеотидів, що становить 28 % загальної кількості. Визначте:

а) кількість аденілових, гуанілових і цитидилових нуклеотидів в даному фрагменті;

б) розмір даного фрагмента.

*Розв'язання.* а) Кількість аденілових нуклеотидів дорівнює кількості тимідилових ( $A = T$ ), тобто 560. Загальна кількість  $A + T = 1120$ , що становить 56 %.

Позначимо кількість  $G + C$  через  $x$  і складемо пропорцію:

$$1120 - 56\%; \quad x - 44\%. \quad x = \frac{1120 \times 44}{56} = 880$$

Звідси: кількість  $G = 440$ ,  $C = 440$ .

б) В даному фрагменті 2000 нуклеотидів, тобто 1000 пар. Довжина комплементарної пари нуклеотидів — 0,34 нм. Довжина фрагмента ДНК:

$$1000 \times 0,34 \text{ нм} = 340 \text{ нм}.$$

**Задача 3.** У молекулі ДНК з відносною масою 69000 на частку аденілових нуклеотидів припадає 8625. Визначте кількість нуклеотидів кожного виду, якщо молекулярна маса одного нуклеотиду - 345.

*Розв'язання.* Загальна кількість нуклеотидів  $69\ 000 : 345 = 200$ . Кількість аденілових нуклеотидів:  $8625 : 345 = 25$ , а оскільки  $A=T$ , то тимідилових нуклеотидів також 25. Кількість гуанілових і цитидилових нуклеотидів разом:  $200 - 50 = 150$ , а оскільки  $G = C$ , то кожного виду нуклеотидів окремо — по 75.

**Задача 4.** Фрагмент молекули ДНК має молекулярну масу 62 100. Молекулярна маса одного нуклеотиду – 345.

Визначте: а) кількість амінокислот, закодованих в даному фрагменті;

б) довжину даного фрагменту (в нанометрах).

*Розв'язання.* Загальна кількість нуклеотидів у фрагменті:  $62\ 100 : 345 = 180$

а) Оскільки молекула ДНК має два ланцюги, то кодує ділянка складається з 90 нуклеотидів.

Одна амінокислота кодується трьома нуклеотидами:  $90 : 3 = 30$  амінокислот.

б) Даний фрагмент має 90 пар нуклеотидів.

Довжина однієї пари нуклеотидів – 0,34 нм.  
Довжина фрагмента:  $90 \times 0,34\ \text{нм} = 30,6\ \text{нм}$ .

*Відповіді:* а) 30 амінокислот; б) 30,6 нм.

### ***Задачі для самостійного розв'язання.***

1. Визначте послідовність нуклеотидів у ланцюгу ДНК, якщо комплементарний ланцюг має таку будову:

**ТАГ-АГЦ-ЦТА-АГА-ГТЦ**

2. Молекула ДНК розпалася на два ланцюги. Визначено послідовність нуклеотидів в одному з ланцюгів: **АТГ-ТАА-ЦГА-ЦЦГ-АТА-ГТА**. Якою є послідовність нуклеотидів у другому ланцюзі?

3. Визначте послідовність нуклеотидів ДНК, яка буде комплементарна до такої :

**АТГ-АЦТ-ГГТ-АЦГ-ТАГ**

4. Довжина фрагмента ДНК 680 нм. Визначте кількість азотистих основ у даному фрагменті.

*Відповідь* : 4 000 основ.

5. Молекула ДНК містить  $10^9$  пар азотистих основ. Визначте довжину цієї ДНК.

*Відповідь*: 0,34 м

6. Фрагмент одного з ланцюгів ДНК має такий нуклеотидний склад:

**АТГ-ГАЦ-АЦГ-ТГА**

Визначте :

а) послідовність нуклеотидів у другому ланцюгу ДНК;

б) довжину цієї ділянки ДНК.

*Відповіді:* а) **ТАЦ-ЦТГ-ТГЦ-АЦТ**; б) довжина ділянки - 4,08 нм.

## **Біосинтез білка.**

Генетична інформація реалізується через синтез певних білків, характерних для даного організму.

Ділянку молекули ДНК, яка містить інформацію про первинну структуру певного поліпептиду, називають *геном*. Спадкова інформація зашифрована в молекулах нуклеїнових кислот за допомогою генетичного коду. Сутність коду полягає в тому, що послідовність амінокислот у білку визначається послідовністю нуклеотидів у ДНК.

Генетичний код є триплетним, тобто кожна амінокислота кодується трійкою (триплетом)



нуклеотидів. У кодї є 64 триплети (кодони), але три з них (УГА, УАГ, УАА) не відповідають жодній амінокислоті. Їх називають *нонсенс-кодонами*, вони є сигналами про закінчення синтезу. Всі амінокислоти, крім метіоніну і триптофану, кодуються більше, ніж одним триплетом. При розв'язанні задач, як правило, наводять *перший* кодон генетичного коду.

## ***ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.***

**Задача 1.** Ділянка молекули ДНК має таку будову :

**АЦЦ АТА ГТЦ ЦАА ГГА**

Визначте послідовність амінокислот у поліпептидному ланцюгу.

*Розв'язання.* Спочатку визначаємо структуру іРНК:

**УГГ УАУ ЦАГ ГУУ ЦЦУ**

За допомогою генетичного коду встановлюємо структуру відповідного поліпептидного ланцюга:

триптофан—тирозин—глутамін—валін—пролін.

**Задача 2.** Ділянка поліпептидного ланцюга має таку будову:

аланін—лізин—валін—серин.

Визначте послідовність нуклеотидів у ділянці ДНК, яка кодує цю частину ланцюга.

*Розв'язання.* Спочатку визначаємо структуру відповідної ділянки іРНК. В генетичному кодї певній амінокислоті відповідає кілька триплетів іРНК. При розв'язанні задач, як правило, наводиться *перший* триплет.

*Білок:* аланін—лізин—валін—серин;

*іРНК:* ГЦУ—ААА—ГУУ—УЦУ

*ДНК:* ЦГА—ТТТ—ЦАА—АГА

**Задача 3.** Скільки нуклеотидів входить до складу гена, що містить інформацію про структуру інсуліну (51 амінокислота)?

*Розв'язання.* Одна амінокислота кодується трійкою нуклеотидів. Ділянка одного ланцюга ДНК, що містить інформацію про білок із 51 амінокислоти, складається із  $51 \times 3 = 153$  нуклеотидів. Оскільки до гена входять два ланцюги ДНК, то кількість нуклеотидів у ньому — 306.

**Задача 4.** До складу білка входять 400 амінокислот. Визначте, яку довжину має ген, що його кодує.

*Розв'язання.* Відповідна ділянка одного ланцюга ДНК складається з  $400 \times 3 = 1200$  нуклеотидів, а ген — із 1200 пар нуклеотидів.

Довжина однієї пари нуклеотидів - 0,34 нм, звідси довжина даного гена:  $1200 \times 0,34 \text{ нм} = 408 \text{ нм}$ .

**Задача 5.** На одному з ланцюгів ДНК синтезована іРНК, в якій А—14%, Г—20%, У—40%, Ц—26%. Визначте процентний вміст нуклеотидів у молекулі ДНК.

*Розв'язання:* Визначаємо структуру ділянки ДНК, за матрицею якої синтезована іРНК:

**іРНК:** А(14%), Г(20%), У(40%), Ц(26%)

**ДНК:** Т(14%), Ц(20%), А(40%), Г(26%)

А(14%), Г(20%), Т(40%), Ц(26%)

$$A=T = \frac{40+14}{2} = 27\%$$

$$G=C = \frac{20+26}{2} = 23\%$$

Процентний вміст нуклеотидів у молекулі ДНК:

А — 27%, Г — 23%, Т — 27%, Ц — 23%.

## ***ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ.***

1. Якій амінокислоті за генетичним кодом відповідає триплет:

а) ААГ    б) ГЦУ    в) УЦА?

*В і д п о в і д і:*    а) лізин; б) аланін;                                    в)  
серин.

2. Які триплети за генетичним кодом відповідають амінокислотам: тирозин, метіонін, валін, аргінін?

*В і д п о в і д ь:*    тирозин — УАУ, УАЦ; метіонін — АУГ; валін — ГУУ, ГУЦ, ГУА, ГУГ; аргінін - ЦГУ, ЦГЦ, ЦГА, ЦГГ, АГА, АГГ.

3. Яким буде нуклеотидний склад ділянки ДНК, якщо іРНК містить: аденіну - 21 %, цитозину - 25%, гуаніну - 24%, урацилу - 30%?

*В і д п о в і д ь:*    А — 25,5%, Г — 24,5%, Т - 25,5%, Ц —24,5%.

4. Визначте послідовність амінокислот у поліпептиді, закодованому геном із таким складом нуклеотидів: **ЦАГ ТГГ АЦА ТАЦ ТТГ**

*В і д п о в і д ь:*    валін—треонін—цистеїн—метіонін—лізин.

5. Фрагмент одного з ланцюгів ДНК має такий нуклеотидний склад:

**АТГ ГАЦ АЦГ ТГА.**

Визначте: а) послідовність нуклеотидів у другому ланцюзі ДНК;

б) довжину цієї ділянки ДНК.

*В і д п о в і д ь:*    а) **ТАЦ ЦТГ ТГЦ АЦТ;**    б)  
4,08 нм.

6. Поліпептидний ланцюг складається з таких амінокислот:                    валін—лейцин—гістидин—серин—

ізолейцин. Визначте послідовність нуклеотидів у ланцюзі ДНК, що кодує даний білок.

*Відповідь:* **ЦАА ААТ ГТА АГА ТАА.**

7. До складу білка входить 800 амінокислот. Яка довжина гена, що кодує даний білок?

*Відповідь:* 816 нм.

8. Гормон вазопресин складається з дев'яти амінокислот і кодується такими триплетами:

**ТГТ — ТАГ — ТТТ — ГАА — ГАТ — ТГТ — ЦЦТ — ЦГТ — ГГТ**

Визначте: а) довжину гена, що кодує вазопресин;

б) амінокислотний склад цього гормону.

*Відповіді:* а) 9,18 нм; б) треонін — ізолейцин — лізин — лейцин — лейцин — треонін — гліцин — аланін — пролін.

9. Гормон окситоцин кодується такою послідовністю нуклеотидів:

**ТГТ — ТАТ — ТАТ — ГАА — ГАТ — ТГТ — ЦЦТ — ГАА — ГГТ.**

Визначте амінокислотний склад окситоцину.

*Відповідь:* треонін — ізолейцин — ізолейцин — лейцин — лейцин — треонін — гліцин — лейцин — пролін.

10. Хімічний аналіз іРНК показав, що вона містить 30% аденіну, 18% гуаніну, 20% урацилу. Визначте відсотковий нуклеотидний склад відповідної ділянки ДНК.

*Відповідь:* усіх нуклеотидів по 25%.

11. У складі молекули іРНК 26% аденілових нуклеотидів, 6% - гуанілових, 40% - уридилових.

Визначте нуклеотидний склад відповідної ділянки ДНК.

*Відповідь:* А - 33%, Г - 17%, Т - 33%, Ц - 17%.

12. Як зміниться структура білка, якщо у відповідному фрагменті ДНК внаслідок мутації втрачено одинадцятий нуклеотид:

**ТАТ—ТЦТ—ТТТ—ТГТ—ГГА— ЦГА**

*Відповідь:* вихідна структура білка: ізолейцин — аргінін — лізин — треонін — пролін — аланін; структура білка після мутації: ізолейцин — аргінін — лізин — аспарагін — лейцин.

13. Молекула РНК вірусу тютюнової мозаїки складається з 6500 нуклеотидів. Одна молекула вірусного білка складається з 158 амінокислот. Визначте:

а) довжину гена, який містить інформацію про структуру цього білка; б) кількість видів білка, закодованих у вірусній РНК.

*Відповіді:* а) 161,16 нм; б) 13

14. Альбумін сироватки крові людини має молекулярну масу 68 400. Молекулярна маса одної амінокислоти — 100. Визначте: а) кількість нуклеотидів ДНК, які кодують цей білок; б) довжину відповідного гена.

*Відповіді:* а) 2052; б) 697,68 нм.

15. Скільки аденілових, гуанілових, тимідилових нуклеотидів міститься у фрагменті ДНК, якщо в ньому 950 цитидилових нуклеотидів, що становить 20% загальної кількості нуклеотидів?

*Відповідь:* А - 1425 Г - 950 Т - 1425

16. У систему для штучного синтезу білка ввели молекули тРНК, які мають такі антикодони: ЦГА, УУА, АЦА, ЦЦА. Визначте, які амінокислоти можуть приєднуватися до цих тРНК.

*Відповідь:* аланін, аспарагін, цистеїн, гліцин.

17. Білок рибонуклеаза складається з 124 амінокислот. Що має більшу масу: білок чи ген, який його кодує? Молекулярна маса однієї амінокислоти — 100, нуклеотиду — 345.

*Відповідь:* маса білка — 12 400, маса гена — 256 680.

18. У здорової людини із сечею виділяються такі амінокислоти: аланін, серин, глутамінова кислота, гліцин. У людини, хворої на цистинурію, виділяються амінокислоти, яким відповідають такі триплети іРНК: **УЦУ, УГУ, ГЦУ, ГГУ, ЦАГ, ЦГУ, ААА**

Які саме амінокислоти виділяються у хворих на цистинурію?

*Відповідь:* серин, цистеїн, аланін, гліцин, глутамін, аргінін, лізин.

19. Фрагмент ДНК має такий порядок нуклеотидів:

**ААА—АЦЦ—ААА—АТА—ЦТТ—АТА—ЦАА.**

Під час реплікації третій зліва аденіловий нуклеотид випав із даної ділянки. Визначте структуру поліпептидного ланцюга в нормі та після мутації.

*Відповіді:* а) фенілаланін— триптофан — фенілаланін—тирозин— глутамін—тирозин—валін; б) фенілаланін — гліцин — фенілаланін — метіонін— аспарагін—метіонін.

### **Задачі з генетики.**

**Спадковість** — властивість організмів передавати свої ознаки потомству.

**Мінливість** — властивість організмів набувати нових ознак.

**Генотип** — сукупність усіх генів організму. При розв'язанні задач із генетики термін генотип вживають у його вузькому значенні, маючи на увазі тільки ті гени, що зумовлюють досліджувані ознаки.

**Фенотип** — це сукупність усіх ознак і властивостей організму, які формуються внаслідок взаємодії його генотипу й зовнішнього середовища. При розв'язанні задач із генетики термін фенотип вживають у вузькому значенні, маючи на увазі певні конкретні ознаки організму.

Розрізняють поняття «ознака» і «прояви ознаки». Наприклад, така ознака, як «колір насіння гороху» має два прояви — «жовтий колір» і «зелений колір», ознака «колір квітки гороху» має такі прояви, як «червоний колір» і «білий колір». Один із проявів ознаки є домінантним, другий — рецесивним.

У найпростішому випадку певна ознака зумовлена відповідним геном. Ген може перебувати в різних формах, які розміщені в гомологічних хромосомах і відрізняються за структурою. Різні форми одного й того ж самого гена називаються *алелями*. Наприклад, певний ген відповідає за колір насіння й має два алелі — домінантний і рецесивний, які відповідно зумовлюють жовтий і зелений кольори.

Отже, ген зумовлює певну ознаку, а його алелі — різні прояви цієї ознаки.

Організм, гомологічні хромосоми якого містять однакові алелі того чи іншого гена, називають *гомозиготним*.

Організм, гомологічні хромосоми якого містять різні алелі того чи іншого гена, називають *гетерозиготним*.

Для запису схем схрещувань у генетиці користуються спеціальною символікою і літерами латинського алфавіту, наприклад:

**A** — домінантний алель;

**a** — рецесивний алель;

- X**— символ схрещування;  
**P** — батьківські організми;  
**F<sub>1</sub>** — гібридне покоління;  
♀— символ жіночої статі;  
♂— символ чоловічої статі.

## **МОНОГІБРИДНЕ СХРЕЩУВАННЯ.**

Моногібридне схрещування — це схрещування особин, які відрізняються за однією досліджуваною ознакою.

Класичні дослід з моногібридного схрещування провів Грегор Мендель. За наслідками цих дослідів він сформулював закономірності, які згодом було названо «законами Менделя».

*Перший закон Менделя* (закон одноманітності гібридів першого покоління): при схрещуванні генетично однорідних форм, які відрізняються за однією ознакою, всі гібриди першого покоління будуть одноманітними.

*Другий закон Менделя* (закон розщеплення): при схрещуванні гібридів першого покоління між собою в другому поколінні з'являються особини як із домінантними, так і з рецесивними ознаками в середньому співвідношенні 3:1.

Виходячи з другого закону Менделя, англійський генетик Уільям Бетсон у 1902 р. сформулював *закон чистоти гамет*: «кожна із статевих клітин гібридів є чистою щодо однієї з батьківських ознак», тобто містить лише один із алелів даного гена.

Закономірності розщеплення мають *статистичний характер*. Це означає, що вони спостерігаються лише за достатньо великої кількості досліджуваних об'єктів. У задачах часто наводиться реальне розщеплення. В таких випадках слід визначити, якому теоретичному розщепленню



відповідає наведене в умові задачі реальне розщеплення.

При розв'язанні задач на моногібридне схрещування слід користуватися таким алгоритмом:

1) спочатку запишіть позначення алелів і відповідних проявів ознак;

2) генотип рецесивної особини можна визначити відразу, оскільки можливий лише один його варіант;

3) особини з домінантною ознакою обов'язково матимуть один домінантний алель, а другий можна визначити, знаючи, що в кожного гібрида один алель — від однієї батьківської особини, а другий — від іншої.

Для полегшення розв'язання задач можна використати решітку Пенета. Зазвичай, по вертикалі записуються алелі, які містяться в жіночих гаметах, а по горизонталі — ті, що в чоловічих.

	♀	♂	<b>A</b>	<b>a</b>
<b>A</b>			<b>AA</b>	<b>Aa</b>
<b>a</b>			<b>Aa</b>	<b>aa</b>

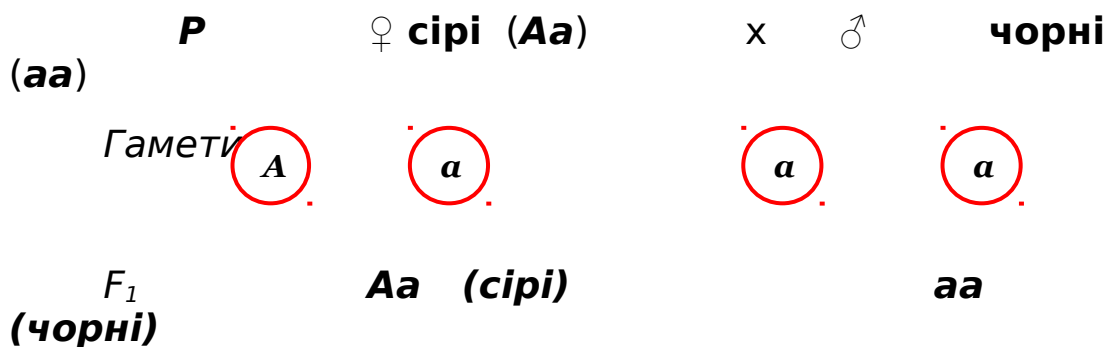
### ***ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.***

**Задача 1.** У дрозофіли сірий колір тіла — домінантна ознака, чорний колір — рецесивна. При схрещуванні сірих і чорних мух половина потомства має сіре тіло, половина — чорне. Визначте генотипи батьків.

*Розв'язання.* Позначимо: **A** — сірий колір, **a** — чорний.

Усі чорні мухи мають генотип **aa**, а у всіх сірих обов'язково є принаймні один алель **A**. Чорні гібридні мухи отримали по одному алелю від кожного з батьків, звідси генотип сірих батьківських форм — **Aa**. У сірих гібридних мух також по одному алелю від кожної батьківської форми, тому їх генотип також **Aa**.

### Схема схрещування



**Задача 2.** У морської свинки кудлата шерсть домінує над гладенькою. При схрещуванні кудлатих самців і самок отримано 29 гладеньких і 90 кудлатих особин. Визначте генотипи батьків і потомства.

*Розв'язання.* Позначимо: **A** — кудлата шерсть, **a** — гладенька.

Розщеплення ознак у гібридів 90 : 29, що відповідає співвідношенню 3:1. Розщеплення 3 : 1 відбувається лише тоді, коли батьки мають генотипи **Aa** x **Aa**.

**Задача 3.** У мишей сірий колір шерсті домінує над білим. Білого самця схрестили з трьома сірими самками. Перша самка народила 10 сірих мишенят, друга — 5 білих і 5 сірих, третя — 9 сірих і 1 білого. Визначте генотипи самця й усіх трьох самок.

*Розв'язання.* Позначимо: **A** — сірий колір, **a** — білий колір.

Генотип самця — **aa**. При схрещуванні з першою сірою самкою розщеплення не відбулося, звідси її генотип — **AA**. При схрещуванні з другою сірою самкою відбулося розщеплення 1:1, її генотип — **Aa**. Схрещування з третьою самкою дало як сірих, так і білих особин, звідси її генотип — **Aa**. Оскільки закономірності розщеплення мають статистичний характер, за невеликої кількості потомків реальне розщеплення (9:1) може значно відрізнятись від теоретичного (1:1).

**Задача 4.** У людини карі очі — домінуюча ознака, блакитні — рецесивна. Блакитноокий чоловік, батьки якого мали карі очі, одружився з кароокою жінкою, у батька якої очі були блакитні, а в матері — карі. Які очі можуть бути у їхніх дітей? Визначте генотипи всіх згаданих у задачі осіб.

*Розв'язання.* Позначимо: **A** — карі очі, **a** — блакитні.

Генотип чоловіка — **aa**. Оскільки його батьки мали карі очі, обидва були гетерозиготами: **Aa**. У жінки обов'язково є алель **A**, успадкований від матері (генотип якої **AA** чи **Aa**). Другий алель жінка дістала від батька (його генотип — **aa**). Таким чином, генотип жінки — **Aa**. У парі **Aa** × **aa** з рівною ймовірністю можуть народитися діти як з карими, так і з блакитними очима.

**Задача 5.** Групи крові у людини визначаються одним геном, який має три алелі —  $i^o$ ,  $I^A$ ,  $I^B$ . Алелі  $I^A$ ,  $I^B$  домінують над  $i^o$ , а в разі сумісного перебування в генотипі проявляються обидва:  $I^A I^B$  (явище кодомінантності). Особи з генотипом  $i^o i^o$  мають першу групу крові, з генотипом  $I^A I^A$  чи  $I^A i^o$  — другу, з генотипом  $I^B I^B$  чи  $I^B i^o$  — третю, з генотипом  $I^A I^B$  — четверту. Які групи крові можливі у дітей, якщо в їхньої матері друга група, а в батька — перша?

*Розв'язання.* Особа з другою групою крові може мати генотип  $I^A I^A$  чи  $I^A i^o$ , тому можливі два варіанти:

- а)  $I^A I^A$  ×  $i^o i^o$       б)  $I^A i^o$  ×  $i^o i^o$

Таким чином, у дітей можливі як перша, так і друга групи крові.

**Задача 6.** Резус-фактор — це особливий білок, який міститься в крові. Якщо він є, таких осіб називають резус-позитивними, якщо немає — резус-негативними. У випадку, коли плід резус-позитивний а мати резус-негативна, виникає резус-конфлікт, який здебільшого не проявляється за першої вагітності, а тільки за наступних. Резус-негативна жінка виходить заміж за гетерозиготного резус-позитивного чоловіка. Яка ймовірність резус-конфлікту між організмами матері та плоду за другої вагітності?

*Розв'язання.* Позначимо: **Rh** - наявність резус-фактора, **rh** - відсутність.

<b>P</b> ♀ <b>резус-негативна</b> <b>ПОЗИТИВНИЙ</b>	x	♂ <b>резус-позитивний</b>	
		<b>rhrh</b>	<b>Rhrh</b>
<b>F<sub>1</sub></b>			<b>Rhrh</b>
<b>rhrh</b>		<b>резус-позитивний</b>	<b>резус-негативний</b>

*Відповідь:* ймовірність резус-конфлікту - 50%.

### *Задачі для самостійного розв'язання.*

1. Особини мають такі генотипи: **AA, aa, Bb, CC, Dd, Ee**. Які з них гомозиготи, а які - гетерозиготи?

*Відповідь:* **AA, aa, CC** - гомозиготи; **Bb, Dd, Ee** - гетерозиготи.

2. Які типи намет утворюються в особин: а) **AA**; б) **Bb**; в) **Cc**?

*Відповіді:* а) **A**; б) **B, b**; в) **C, c**

3. У великої рогатої худоби алель безрогості домінує над алелем рогатості. Яке потомство можна отримати від схрещування безрогого бугая з рогатою коровою, якщо безрога корова народила від цього бугая рогате теля?

*Відповідь:* з рівною ймовірністю безроге (**Aa**) і рогате (**aa**)

4. У кролів ознака нормальної шерсті домінує над ознакою короткої шерсті. Від крільчихи з короткою шерстю народилося сім кроленят: чотири з короткою шерстю й три - з нормальною. Визначте генотип і фенотип батька.

*Відповідь:* Aa, нормальна шерсть.

5. У томатів кругла форма плоду домінує над грушоподібною.

а) Які генотипи батьківських рослин, якщо в потомстві круглих і грушоподібних плодів порівну?

б) З гібридного насіння вирощено рослини томатів. 118 із них дали грушоподібні плоди, а 363 — круглі. Скільки серед цих рослин гетерозигот?

*Відповіді:* а) **Aa x aa**; б) 242.

6. У пшениці алель карликовості домінує над алелем нормального зросту. Які генотипи вихідних форм, якщо в потомстві 1/4 рослин — нормального зросту?

*Відповідь:* **Aa x Aa**.

7. У вівса гігантський зріст — рецесивна ознака, нормальний зріст — домінуюча. Які рослини треба схрестити, щоб отримати однорідне за зростом гомозиготне потомство?

*Відповідь:* можливі два варіанти: **AA x AA** або **aa x aa**.

8. При схрещуванні дрозодів із нормальними крилами (**A**) в потомстві з'явилося 1/4 мух із загнутими крилами (**a**). Їх схрестили з нормальними мухами й отримали 47 особин із нормальними крилами й 49 — із загнутими. Визначте генотипи мух, яких схрещували в обох дослідах.

*Відповідь:* у першому - **Aa x Aa**, в другому - **Aa x aa**.

9. До шкільного куточка живої природи принесли двох чорних морських свинок, вважаючи їх чистопородними. Але в наступному поколінні серед їх потомків з'явилися коричневі. Які висновки можна зробити про генотипи батьківських особин?

*Відповідь:* батьки були гетерозиготними.

10. У норк коричневе забарвлення хутра визначається алелем **R**, сіре — **r**. Сірого самця послідовно схрестили з двома коричневими самками.

Перша дала тільки коричневих потомків, серед потомків другої — як сірі, так і коричневі. Визначте генотипи цих самок.

*Відповідь:* генотип першої самки — **RR**, другої — **Rr**.

11. У великої рогатої худоби трапляється чорне й червоне забарвлення шерсті. Внаслідок схрещування з одним і тим же чорним бугаєм червона корова народила чорне теля, чорна корова — чорне, а інша чорна корова — червоне. Як успадковуються ці ознаки? Визначте генотипи особин в усіх схрещуваннях.

*Відповідь:* чорний колір — домінуюча ознака, червоний — рецесивна. Перше схрещування — **aa x Aa**, друге — **AA** (або **Aa**) x **Aa**, третє — **Aa x Aa**.

12. У людини рецесивний алель **b** зумовлює глухонімосту, домінуючий алель **B** — нормальний слух. Від шлюбу глухонімої жінки з нормальним чоловіком народилася глухоніма дитина. Визначте генотипи батьків.

*Відповідь:* генотип жінки — **bb**, чоловіка — **Bb**.

13. У людини шестипалість домінує над нормальною будовою кисті. Визначте ймовірність народження нормальних дітей у сім'ї, де обидва батьки гетерозиготні.

*Відповідь:* 1/4.

14. В сім'ї, де один із батьків має нормальну будову кисті, а другий шестипалий, народилася нормальна дитина. Яка ймовірність народження наступної дитини шестипалою?

*Відповідь:* 1/2.

15. Альбінізм — рецесивна ознака. В сім'ї, де один із батьків — альбінос, а інший — нормальний, народилися близнюки, один з яких був альбіносом. Яка ймовірність народження наступної дитини альбіносом?

*Відповідь:* 1/2.

16. Синдактилія (зрощування пальців) успадковується як домінантна ознака. В сім'ї, де один із батьків має дану аномалію, а інший — нормальний, народилося три дитини. Дві з них мають нормальну будову кисті, а в третього пальці зрослися. Визначте генотипи батьків.

*Відповідь:* **Aa x aa.**

17. У людини володіння переважно правою рукою — домінантна ознака, лівою — рецесивна. Чоловік-правша, мати якого була лівшею, одружився з жінкою-правшею, що мала двох сестер, одна з яких лівша. Яка ймовірність народження дитини-лівші?

*Відповідь:* якщо генотип жінки **Aa**, то 1/4; якщо **AA**, то дитина-лівша народитися не може.

18. Ахондроплазія (порушення розвитку скелета) успадковується як домінантна ознака. В родині, де обидва батьки хворі, народилася нормальна дитина. Яка ймовірність того, що наступна дитина буде також нормальною?

*Відповідь:* 1/4

19. Пізня дегенерація рогівки (розвивається після 50 років) успадковується як домінантна ознака. Визначте ймовірність виникнення захворювання в родині, про яку відомо, що всі родичі по лінії матері, які

дожили до 70 років, мали цю хворобу, а по лінії батька всі предки були здоровими.

*Відповідь:* 100%

20. Чоловік з полідактилією одружився з нормальною жінкою. Вони мають п'ятеро дітей, і всі — з полідактилією. Один із синів одружився з нормальною жінкою. Яка ймовірність народження у них дітей з аномалією?

*Відповідь:* 50%.

21. Світловолосий юнак, батьки якого мали темне волосся, одружився з темноволосою дівчиною, мати якої теж мала темне волосся, а батько — світле. В них народилася темноволоса дитина. Чи може народитися у них дитина зі світлим волоссям?

*Відповідь:* з ймовірністю 50%.

22. Руде волосся — рецесивна ознака, чорне — домінантна. При яких шлюбах народжуватимуться діти з рудим волоссям з ймовірністю:

а) 100%; б) 50%; в) 25%?

Відповіді: а) **aa x aa**; б) **Aa x aa**;  
в) **Aa x Aa**.

23. У пологовому будинку переплутали двох хлопчиків — Ігоря і Сашка. Батьки одного з них мають **I** та **II** групу крові, батьки іншого — **II** и **IV**. У Ігоря — **I** група крові, у Сашка — **II**. Визначте, хто чий син.

*Відповідь:* Ігор — син першої пари, Сашко — другої.

24. У матері **I** група крові, а в батька — **IV**. Чи можуть діти успадкувати групу крові одного з батьків?

*Відповідь:* не можуть.

25. У матері **I** група крові, а в батька — **III**. Чи можуть діти успадкувати групу крові своєї матері?



*Відповідь:* можуть у випадку, якщо генотип батька  $I^B i^o$

26. Вирішується питання про встановлення батьківства. Лабораторне дослідження показало, що у дитини — **I** група, а у гаданого батька — **IV**. Який висновок можна з цього зробити?

*Відповідь:* особа з **IV** групою крові не може бути батьком дитини з **I** групою.

27. Гетерозиготні батьки мають **II** й **III** групи крові. Які групи можливі у їхніх дітей?

*Відповідь:* **I, II, III, IV.**

28. У хлопчика **I** група крові, а в його сестри — **IV**. Які групи крові в їхніх батьків?

*Відповідь:* **II** група ( $I^A i^o$ ) і **III** група ( $I^B i^o$ )

29. Батько дівчини має **I** групу крові, мати — **IV**. Дівчина одружилася з юнаком, який має **III** групу крові ( $I^B i^o$ ). Від цього шлюбу народилися діти з **I, II** й **IV** групами. Чи можливе народження дитини з **IV** групою?

*Відповідь:* так.

30. У матері **IV** група крові, у батька — **III** ( $I^B i^o$ ). Які групи крові не можуть бути у їхніх дітей?

*Відповідь:* не може бути **I** група крові.

31. Чоловік, батьки якого мали **I** й **IV** групи крові, одружився з жінкою **III** групою крові. Від цього шлюбу народилося троє дітей: із **I, II, IV** групами крові. Які генотипи батьків?

*Відповідь:* генотип жінки —  $I^B i^o$ , чоловіка —  $I^A i^o$

32. В одного з батьків **II** група крові, у другого — **III**. Визначте генотипи цих батьків, якщо у них народилося шестеро дітей із такими групами

крові: а) в усіх **IV**; б) у трьох **IV** й у трьох **III**; в) у половини **IV**, у половини **II**; г) двоє з **IV**, двоє з **III** і двоє з **I** групами крові.

*Відповідь:* а)  $I^A I^A \times I^B I^B$ ; б)  $I^A i^0 \times I^B I^B$ ; в)  $I^A I^A \times I^B i^0$ ; г)  $I^A i^0 \times I^B i^0$ .

33. За яких генотипів батьків дитина не може успадкувати їхні групи крові?

*Відповідь:* **I** ( $i^0 i^0$ ) та **IV** ( $I^A I^B$ ) або **II** ( $I^A I^A$ ) й **III** ( $I^B I^B$ ).

34. Батько дитини — гомозиготний резус-позитивний, мати — резус-негативна. Якими можуть бути генотипи і фенотипи дітей?

*Відповідь:* усі діти будуть резус-позитивними, гетерозиготними.

## ПРОМІЖНЕ УСПАДКУВАННЯ.

У деяких випадках один алель гена несповна домінує над іншим. За такої умови спостерігається проміжне успадкування, тобто ознаки гібридів є проміжними у порівнянні з батьківськими формами.

Наприклад, у нічної красуні є форми з червоним і білим забарвленням квітки. Гібридні форми мають рожеві квітки, оскільки жоден з алелів гена не проявляється сповна.

Один з алелів вважають умовно домінантним і над його символом ставлять риску:  $\bar{A}$  — червоні квітки;  $a$  — білі квітки.

### Схема схрещування:

Р	червоні	X	білі
	$\bar{A} \bar{A}$		$aa$
Гамети Р	$\bar{A}$		$a$

$F_1$	$\bar{A}a$ (рожеві) X	$\bar{A}a$ (рожеві)	
Гамети $F_1$	$\bar{A}$	$a$	$\bar{A}$
	$a$		
Генотипи $F_2$	1 $\bar{A}\bar{A}$	:	2 $\bar{A}a$ :
	1 $aa$		
Фенотипи $F_2$	червоні		рожеві білі

### *Приклади задач.*

Задача 1. При схрещуванні двох форм нічної красуні половина потомства має рожеві квітки, половина — червоні. Визначте генотипи і фенотипи батьків.

*Розв'язання.* Генотип гібридів із рожевими квітками —  $\bar{A}a$ , з червоними —  $\bar{A}\bar{A}$ . Звідси генотипи батьків:  $\bar{A}\bar{A}$  (червоні) і  $\bar{A}a$  (рожеві).

Задача 2. При схрещуванні жовтої морської свинки з білою всі потомки кремові. Схрещування кремових свинок між собою дало розщеплення 1 жовта: 2 кремових: 1 біла. Яким буде потомство від схрещування кремових із жовтими і білими?

*Розв'язання.* Позначимо:  $\bar{A}$  — жовтий колір,  $a$  — білий. Гетерозиготи  $\bar{A}a$  — кремові.

Від схрещування  $\bar{A}a$  (кремові) x  $\bar{A}\bar{A}$  (жовті) половина потомків — жовті, половина — кремові. Від схрещування  $\bar{A}a$  (кремові) x  $aa$  (білі) половина потомків — кремові, половина — білі.

## **ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ.**

1. Внаслідок схрещування двох сортів нічної красуні отримано 52 рослини із рожевими квітами і 49 рослин із білими. Визначте генотипи і фенотипи батьків.

*Відповідь:*  **$\bar{A}a$**  (рожеві) X  **$aa$**  (білі)

2. Схрестили дві форми суниць — червоноплідну та білоплідну. Потомство має рожеві плоди. Яким буде потомство за генотипом і фенотипом від схрещування між собою гібридних форм із рожевими плодами?

*Відповідь:* 1  **$\bar{A}\bar{A}$**  (червоні) : 2  **$\bar{A}a$**  (рожеві) : 1  **$aa$**  (білі)

3. Червоноквіткову форму нічної красуні схрестили з білокрітковою. Яким буде потомство від схрещування рослин першого покоління: а) з білокрітковою батьківською формою; б) з червоноквітковою батьківською формою?

*Відповіді:* а) 50%  **$\bar{A}a$**  (рожеві) : 50%  **$aa$**  (білі);

б) 50%  **$\bar{A}a$**  (рожеві) : 50%  **$\bar{A}\bar{A}$**  (червоні).

4. Від схрещування двох форм нічної красуні отримано гібриди, 25% яких мали червоні, 50% рожеві, 25% білі квітки. Визначте генотипи і фенотипи батьків.

*Відповідь:*  **$Aa$**  (рожеві) X  **$Aa$**  (рожеві).

5. При схрещуванні чорного півня з білою куркою всі курчата строкаті. В другому поколінні отримано 24 строкатих, 12 чорних і 10 білих. Яким буде потомство від схрещування: а) строкатих курей з чорними півнями; б) строкатих півнів з білими курми?

*Відповідь:* а) 50% строкатих : 50% чорних; б) 50% строкатих : 50% білих.

6. У редиски коренеплід може бути довгим, круглим або овальним. При схрещуванні між собою форм з овальним коренеплодом отримано розщеплення: 121 рослина з довгими коренеплодами, 119 з круглими, 243 з овальними. Яким може бути потомство від самозапилення рослин, що мають: а) довгий коренеплід; б) круглий?

*Відповіді:* а) з довгим; б) з круглим.

7. Червоний колір квітки у ротиків визначається алелем **A**, білий – алелем **a**. Рослини з генотипом **Aa** мають рожеві квітки. При схрещуванні двох форм ротиків половина потомства має рожеві квітки, половина — білі. Визначте генотипи і фенотипи батьків.

*Відповідь:* **Aa** (рожеві) X **aa** (білі)

8. Серпоподібноклітинна анемія успадковується як ознака з неповним домінуванням гомозиготні індивідууми рано помирають, гетерозиготні життєздатні і мають особливу форму гемоглобіну. Малярійний плазмодій не здатний живитися цим гемоглобіном, тому гетерозиготи не хворіють на малярію. Яка ймовірність народження дітей, стійких до малярії, у родині, де один із батьків гетерозиготний, а другий нормальний щодо цієї ознаки? *Відповідь:* 1/2

9. Яка ймовірність народження дітей, нестійких до малярії, у родині, де обоє батьків є стійкими до цієї хвороби?

*Відповідь:* 1/4

### **Дигібридне схрещування.**

*Дигібридне схрещування* — це схрещування особин, які відрізняються за двома досліджуваними ознаками.

Г. Мендель схрещував два сорти гороху — один із жовтим гладеньким насінням, другий — із зеленим

зморшкуватим. Ці сорти відрізняються за двома ознаками — забарвленням та формою насіння.

Виходячи з наслідків досліду, Мендель сформулював закономірність, яка дістала назву **третього закону Менделя** (закон незалежного успадкування ознак):

*успадкування кожної ознаки відбувається незалежно одна від іншої, внаслідок чого в другому поколінні з'являються особини з новими (порівняно з батьківськими) комбінаціями проявів ознак.*

Алгебраїчно успадкування ознак при дигібридному схрещуванні можна записати як квадрат двочлена  $(3+1)^2$ , а розщеплення за фенотипом визначити за формулою:

*(3 жовті + 1 зелена) x (3 гладеньких + 1 зморшкувата) =*

*9 жовтих гладеньких + 3 жовтих зморшкуватих + 3 зелених гладеньких + 1 зелена зморшкувата.*

Успадкування алелів алгебраїчно можна записати як  $(1 + 2 + 1)^2$ , а розщеплення за генотипом визначити за формулою:

$$(1AA+2Aa+1aa) \times (1Bb+2Bb+1bb) =$$
$$1AABV + 2AABb + 1AAbb + 2AaBV + 4AaBb + 2Aabb+1aaBV + 2aaBb + 1aabb$$

### ***Приклади задач.***

**Задача 1.** При схрещуванні двох форм ротиків — із білими та червоними квітками — все потомство має рожеві квіткі. Схрещування рослин із червоними квітками та нормальним віночком і рослин із рожевими квітками та радіальним віночком дає лише рослини з нормальним віночком, але половина з них — рожеві, половина — червоні. Якщо отримані рослини з рожевими нормальними квітками самоzapилуються,

то яка частина їхнього потомства матиме рожеві нормальні, а яка — білі радіальні квітки?

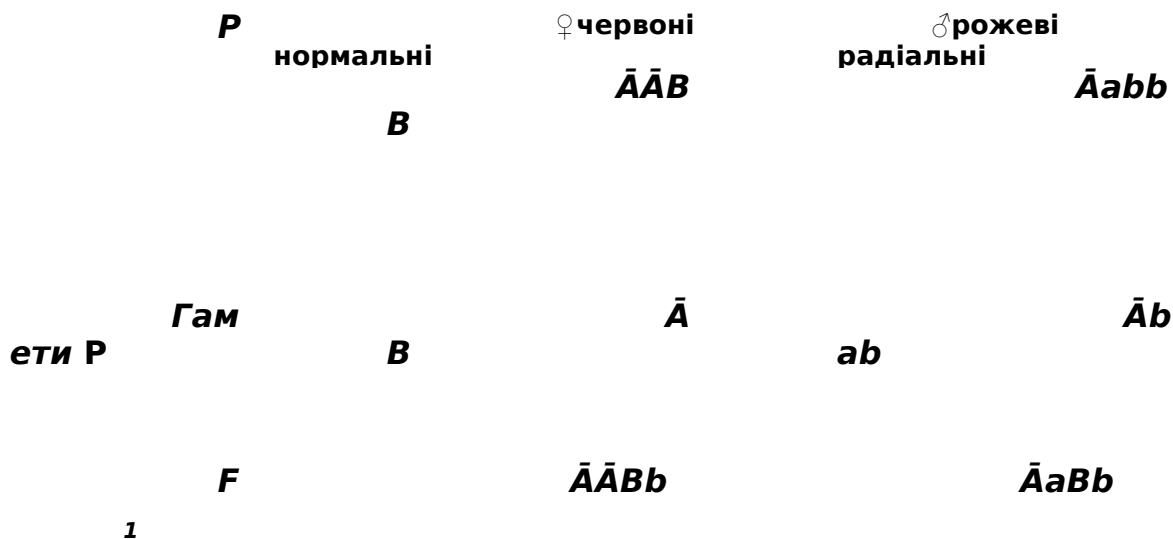
*Розв'язання.* При схрещуванні червоноквіткової та білокріткової форм з'являються гібриди з рожевими квітками; значить, у даному випадку має місце проміжне успадкування.

При схрещуванні рослин із нормальним віночком і радіальним в  $F_1$  з'явилися тільки рослини з нормальним віночком; значить, нормальний віночок — домінуюча ознака, а вихідні форми є гомозиготами.

Задачі такого типу можна розв'язувати кількома способами.

### 1-й спосіб.

Позначимо:  $\bar{A}$  — червоний колір,  $a$  — білий;  $B$  — нормальний віночок,  $b$  — радіальний.



За умовою задачі рожевокріткові рослини з нормальним віночком самозапилюються:  $AaBb \times AaBb$ .

Накресливши решітку Пенета, визначаємо, що 6/16, тобто 3/8 рослин мають рожеві квітки з нормальним віночком, 1/16 рослин має білі радіальні квітки.

### 2-й спосіб.

Скористаємося законом теорії ймовірностей:

*якщо дві події незалежні, то ймовірність того, що вони відбудуться одночасно, дорівнює добутку ймовірностей кожної з них.*

Щоб скористатися даним методом, потрібно знати ймовірність появи особин із певним фенотипом при моногібридному схрещуванні:

повне домінування:

ймовірність появи особин із домінантною ознакою — **3/4**

ймовірність появи особин із рецесивною ознакою — **1/4**

неповне домінування:

ймовірність появи особин із домінантною ознакою — **1/4**;

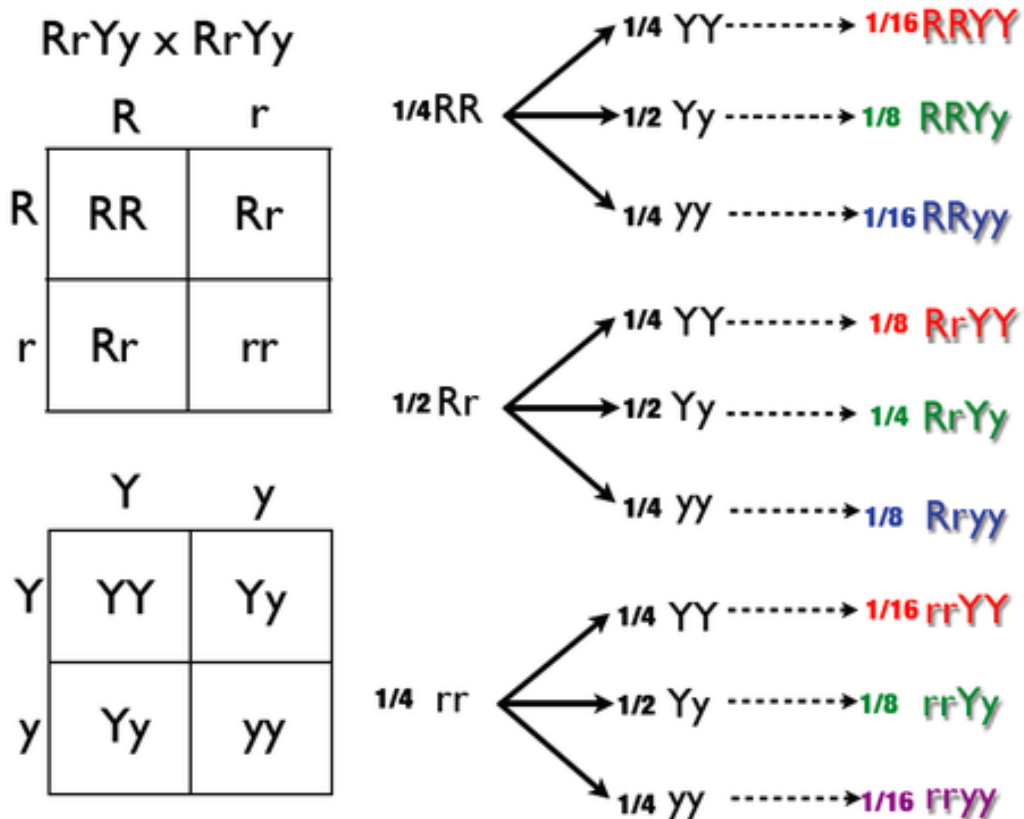
ймовірність появи особин із проміжною ознакою — **1/2**;

ймовірність появи особин із рецесивною ознакою — **1/4**.

Отже, ймовірність появи рослин із рожевими квітками —  $1/2$ , з нормальним віночком —  $3/4$ . Ймовірність появи рослин із рожевими квітками і нормальним віночком дорівнює:  $1/2 \times 3/4 = 3/8$ .

Ймовірність появи рослин із білими квітками —  $1/4$ , з радіальним віночком —  $1/4$ . Ймовірність появи рослин із білими квітками і радіальним віночком:  $1/4 \times 1/4 = 1/16$ .





### 3-й спосіб.

Розв'язання за формулою: (3 нормальних віночки + 1 радіальний) x (1 червона + 2 рожеві + 1 біла) = 3 нормальних червоних + 6 нормальних рожевих + 3 нормальних білих + 1 радіальна червона + 2 радіальні рожеві + 1 радіальна біла.

**Задача 2.** У морських свинок кудлата шерсть і чорне забарвлення — домінантні ознаки, гладенька шерсть і біле забарвлення — рецесивні. Внаслідок схрещування кудлатої чорної свинки з гладкошерстою чорною отримано 28 гладкошерстих чорних, 30 кудлатих чорних, 9 гладкошерстих білих, 11 кудлатих білих. Визначте генотипи батьків.

Розв'язання. Позначимо: **A** — кудлата шерсть, **a** — гладенька; **B** — чорне забарвлення, **b** — біле.

### 1-й спосіб.

Задачу можна розв'язати шляхом аналізу успадкування кожної ознаки окремо.

Розщеплення за ознакою характеру шерсті — 41 з кудлатою : 37 з гладенькою або 1:1. Таке розщеплення спостерігається тоді, коли генотипи батьків за даним геном **Aa** x **aa**.

Розщеплення за ознакою забарвлення шерсті — 58 чорних : 20 білих або 3:1. Таке розщеплення відбувається за генотипів батьків **Bb** x **Bb**.

Звідси повні генотипи батьків: **AaBb** x **aaBb**

### 2-й спосіб.

Визначення генотипів батьків за рецесивним потомством. Певні алелі батьківських особин можна визначити відразу: **A—B—** x **—aaB**. Серед потомків є гомозиготні рецесивні особини (гладкошерсті білі) з генотипом **aabb**. Оскільки потомок отримує від батьків по одному алелю з кожної пари, можна визначити інші алелі батьків: **AaBb** X **aaBb**

**Задача 3.** У малини червоний колір плодів і колюче стебло — домінантні ознаки, а жовтий колір плодів і гладеньке стебло — рецесивні. Унаслідок схрещування гетерозиготних за обома ознаками рослин із рослинами, які мають жовті плоди і гладеньке стебло, отримано 100 потомків. Скільки з них матимуть жовті плоди й колючі стебла?

*Розв'язання.* Позначимо: **A** — червоний плід, **a** — жовтий; **B** — колюче стебло, **b** — гладеньке.

### **Схема схрещування:**

**P** ♀ червоні колючі ♂ жовті гладенькі  
**X** **AaBb** **aabb**

**Гамети P** **AB Ab aB ab ab**

**F**  
**1** **AaBb** (червоні колючі)  
**Aabb** ( червоні гладенькі)  
**aaBb** (жовті колючі)

Таким чином, жовті плоди й колючі стебла матимуть 1/4 потомків, або 25 особин.

**Задача 4.** У вівса нормальний зріст рослин домінує над гігантським, ранньостиглість — над пізньостиглістю. Внаслідок схрещування ранньостиглих рослин нормального зросту між собою отримано 128 рослин. Із них 32 гігантських і стільки ж — пізньостиглих. Визначте кількість гігантських пізньостиглих рослин.

**Розв'язання.** Позначимо: **A** — нормальний зріст, **a** — гігантський, **B** — ранньостиглість, **b** — пізньостиглість.

Проаналізуємо розщеплення за кожною ознакою окремо. За ознакою зросту — 32 гігантських : 96 нормальних, або 3:1. Звідси генотипи батьків за цим геном: **Aa** x **Aa**. За ознакою стиглості — 32 пізньостиглих : 96 ранньостиглих, або 3:1. Генотипи батьків за даним геном: **Bb** x **Bb**.

За обома генами батьки мають такі генотипи: **AaBb** X **AaBb**

Визначити кількість гігантських пізньостиглих рослин в **F<sub>1</sub>** можна або за решіткою Пенета, або шляхом розрахунку ймовірностей. Імовірність появи гігантських рослин — 1/4, пізньостиглих — 1/4,

Ймовірність появи гігантських пізньостиглих рослин:  $1/4 \times 1/4 = 1/16$ , тобто 8 особин.

**Задача 5.** У людини карий колір очей домінує над блакитним, а здатність краще володіти правою рукою — над здатністю володіти лівою.

Кароокий лівша одружився з блакитноокою правшею. В них народилася дитина — блакитноока лівша. Визначте генотипи батьків.

*Розв'язання.* Позначимо: **A** — карі очі, **a** — блакитні, **B** — краще володіння правою рукою, **b** — лівою.

Генотип дитини — **aabb**. Значить, батько гетерозиготний за геном кольору очей — **Aabb**, а мати за іншим геном — **aaBb**.

**Задача 6.** У людини є дві форми глухонімоти, які визначаються рецесивними алелями різних генів **a** і **b**. Визначте ймовірність народження нормальної дитини в сім'ї, де обоє батьків мають різні форми глухонімоти, а за другою парою алелів вони гетерозиготні.

*Розв'язання.* Визначаємо генотипи батьків:

<b>P</b>	♀	<b>aaBb</b>	♂	<b>Aabb</b>
	X			
<b>Гамети P</b>		<b>aB</b>		<b>Ab ab</b>
	<b>ab</b>			
<b>F</b>		<b>AaBb</b> (нормальний)		
1		<b>aaBb</b> (глухонімий)		
		<b>Aabb</b>		

**Задача 7.** У жінки з резус-негативною кров'ю III групи народилася дитина з IV групою крові, у якої була гемолітична хвороба внаслідок резус-конфлікту. Що можна сказати про групу крові та резус-фактор батька дитини?

*Розв'язання.* Генотип дитини з IV групою крові –  $I^A I^B$ . Від матері дитина отримала алель  $I^B$ , від батька –  $I^A$ . Отже, батько може мати II групу крові ( $I^A I^A$  або  $I^A i^o$ ) чи IV групу ( $I^A I$ ).

Оскільки між організмами плоду і матері виник резус-конфлікт, значить плід є резус-позитивним. Це можливо у випадку, коли батько резус-позитивний (гомозиготний або гетерозиготний).

### ***Задачі для самостійного розв'язання.***

1. За яких генотипів батьків спостерігатиметься одноманітність гібридів першого покоління:

- a)  **$AaBb \times AaBb$**
- b)  **$AaBB \times AaBB$**
- c)  **$AABB \times aabb$**
- d)  **$AaBb \times aabb$**
- e)  **$Aabb \times Aabb$**

*Відповідь: c)*

2. В якому варіанті схрещувань співвідношення генотипів в потомстві складатиме 9:3:3:1?

- a)  **$AaBB \times AaBb$**
- b)  **$AaBb \times aabb$**
- c)  **$AaBb \times AaBb$**
- d)  **$AAbb \times aaBB$**

*Відповідь: c)*

3. Які типи гамет утворюють організми з генотипами:

- a) **AABV**                      d) **AABb**  
b) **AaBV**                      e) **AAbb**  
c) **aaBV**                      f) **AaBb?**

*Відповіді:* a) **AB**; b) **AB, aB**; c) **aB**; d) **AB, Ab**; e) **Ab**; f) **AB, aB, Ab, ab**.

4. У помідорів нормальна висота (**A**) і червоний колір плодів (**B**) домінантні ознаки, а карликовість і жовтоплідність — рецесивні. Які плоди будуть у рослин, отриманих унаслідок схрещувань:

- a) **AAbb x aaBV**  
б) **Aa x Aabb**  
в) **AaBb x aabb?**

*Відповіді:* a) всі — нормальні червоноплідні; б) 3 нормальні червоноплідні: 3 нормальні жовтоплідні : 1 карликова червоноплідна : 1 карликова жовтоплідна; в) 1 нормальна червоноплідна : 1 нормальна жовтоплідна : 1 карликова червоноплідна : 1 карликова жовтоплідна.

5. У помідорів червоний колір (**A**) домінує над жовтим (**a**), а куляста форма плода (**B**) — над грушоподібною (**b**). Схрестили рослину, гетерозиготну за червоним забарвленням і з грушоподібною формою плода, з гетерозиготною за кулястою формою й з жовтими плодами. Визначте, якими будуть гібриди першого покоління.

*Відповідь:* 25% червоних кулястих; 25% червоних грушоподібних; 25% жовтих кулястих; 25% жовтих грушоподібних.

6. Один із сортів пшениці має червоне колосся (домінантна ознака) й неполягаюче стебло (рецесивна ознака). Інший сорт пшениці має біле колосся (рецесивна ознака) й полягаюче стебло (домінантна ознака). Обидва сорти гетерозиготні. Який процент гібридів із білим колоссям і

неполягаючим стеблом буде отримано внаслідок схрещування цих сортів? *Відповідь: 25%.*

7. Сорт помідора з червоними кулястими плодами схрещено з сортом, який має жовті кулясті плоди. Потомство має червоні кулясті та червоні грушоподібні плоди. Визначте генотипи батьків.

*Відповідь: **AABb** x **aaBb***

8. Які ознаки матимуть гібридні рослини, одержані внаслідок запилення гомозиготних червоноплідних помідорів нормального зросту пилком жовтоплідних карликових?

*Відповідь: усі рослини нормального зросту з червоними плодами.*

9. У селекціонера є два гомозиготних сорти помідорів — жовтоплідний нормального зросту й червоноплідний карликовий. Як із цим вихідним матеріалом отримати гомозиготні форми: червоноплідну нормальну й жовтоплідну карликову?

*Відповідь: дані сорти спочатку треба схрестити між собою, а потім шляхом самозапилення гібридів  $F_1$  отримати гібриди  $F_2$ . Серед них 1/16 рослин — гомозиготні червоноплідні нормальні (**AABB**), а 1/16 — гомозиготні жовтоплідні карликові (**aabb**).*

10. У дурману пурпуровий колір квіток (**P**) домінує над білим (**p**), а колючі коробочки (**D**) — над гладенькими (**d**). Форму рослини, яка має пур-пурові квітки й гладенькі коробочки, схрестили з формою, яка має білі квітки й колючі коробочки. Отримано 320 рослин із пурпуровими квітками й колючими коробочками та 312 рослин із пурпуровими квітками й гладенькими коробочками. Визначте генотипи батьків.

*Відповідь: **PPdd** x **ppDd***

11. У помідорів кругла форма і червоний колір плодів домінує над грушоподібною формою й жовтим кольором. Схрестили два гомозиготні сорти: один із червоними грушоподібними плодами, другий — з

круглими жовтими. В другому поколінні отримано 160 рослин. Скільки з них матимуть червоні круглі плоди?

Відповідь: 90

12. Самця морської свинки, який має довгу чорну шерсть, схрестили з самкою, шерсть якої коротка чорна. Отримано 15 свинок із короткою чорною шерстю, 13 із довгою чорною, 4 1 з короткою білою, 5 з довгою білою. Визначте генотипи батьків.

Відповідь: **AaBb** x **aaB**

15. У курей чорне забарвлення пір'я визначається геном **E**, буре - **e**, наявність чубчика — **C**, відсутність — **c**. Бурого чубатого півня схрещено з чорною куркою без чубчика. В потомстві 50% курчат чорних чубатих і 50% бурих чубатих. Які генотипи батьків?

Відповідь: **Eecc** x **eeCC**

16. Курка ті півень чорні чубаті. Від них отримано 12 курчат: 6 чорних чубатих, 3 бурих чубатих, 2 чорних без чубчика, 1 буре без чубчика. Які генотипи курки та півня?

17. У великої рогатої худоби алель безрогості домінує над алелем рогатості, алель чорного кольору - над алелем червоного. Схрестили гетерозиготного за обома генами бугая з такою ж коровою. Яка ймовірність народження безрогих червоних телят?

Відповідь: 3/16

18. Яке розщеплення за фенотипом слід чекати в **F<sub>2</sub>** в разі дигібридного схрещування **Aabb** x **aaBB**, якщо чоловічі гамети **AB** нежиттєздатні?

Відповідь: 5:3:3:1

19. У людини полідактилія (**A**) й короткозорість (**B**) — домінантні ознаки. Визначте кількість пальців і гостроту зору в людей із такими генотипами:

a) **aabb**

b) **AaBb**



c) **aaBB**

d) **AABb**

e) **AAbb**

Відповіді:

a) п'ять пальців і нормальний зір;

b) полідактилія й короткозорість;

c) п'ять пальців і короткозорість;

d) полідактилія й короткозорість;

e) полідактилія й нормальний зір.

20. У людини нормальна пігментація шкіри (**C**) домінує над альбінізмом (**c**), наявність ластовиння (**P**) над його відсутністю (**p**). Визначте фенотипи людей із таким генотипами:

a) **CcPp**;      б) **ccPP**;    в) **CCpp**;      г) **ccpp**;    д) **ccPp**.

Відповіді:

а) нормальна шкіра й ластовиння; б) альбінізм і ластовиння;

в) нормальна шкіра без ластовиння; г) альбінізм без ластовиння;

д) альбінізм і ластовиння.

21. Блакитноокий правша, батько якого був лівшею, оженився на кароокій лівші з родини, всі члени якої протягом кількох поколінь мали карі очі. Якими в них можуть бути діти?

Відповідь:      50% кароокі правші

22. Від нормальних батьків народилася дитина - глухонімих альбінос. Визначте генотипи батьків, якщо відомо, що глухонімота і альбінізм - рецесивні ознаки.

Відповідь:      **AaBb x AaBb**

23. У людини кароокість і наявність ластовиння — домінуючі ознаки. Кароокий без ластовиння чоловік

одружується з блакитноокою жінкою, котра має ластовиння. Визначте, якими в них будуть діти, якщо чоловік гетерозиготний за ознакою кароокості, а жінка гетерозиготна за ознакою ластовиння.

*Відповідь:* із рівною ймовірністю 25% можуть народитися діти кароокі з ластовинням, кароокі без ластовиння, блакитноокі з ластовинням, блакитноокі без ластовиння.

24. Причинами природженої сліпоти можуть бути аномалії кришталика та рогівки ока. Це рецесивні ознаки, які успадковуються незалежно. Мати й батько здорові, але є носіями рецесивних алелів сліпоти. Які ймовірності народження у них здорових і хворих дітей?

*Відповідь:* здорових — 9/16, сліпих — 7/16.

25. Жінка з карими очима й світлим волоссям одружується з чоловіком, який має блакитні очі й темне волосся. Відомо, що у батька дружини очі карі, у матері — блакитні й в обох світле волосся. У чоловікового батька — темне волосся й блакитні очі, а в матері — світле волосся й блакитні очі. Визначте генотипи всіх згаданих у задачі осіб. Якими можуть бути діти від цього шлюбу?

*Відповідь:* батько дружини — **AAbb** або **Aabb**, мати дружини — **aabb**, дружина — **Aabb**, батько чоловіка — **aaBB** або **aaBb**, мати чоловіка — **aabb**, чоловік — **aaBb**.

З рівною ймовірністю 1/4 може народитися дитина кароока з темним волоссям, кароока зі світлим, блакитноока з темним, блакитноока з світлим.

26. Чоловік із кучерявим волоссям і карими очима, родичі якого в ряді поколінь мали карі очі, одружується з жінкою, яка має пряме волосся й блакитні очі. Чи можуть у них бути діти й онуки з кучерявим волоссям і блакитними очима за умови, що діти одружуватимуться з людьми, у яких блакитні очі й пряме волосся? Кучеряве волосся не сповна домінує над прямим, гетерозиготи мають хвилясте волосся.

*Відповідь:* ні.

27. Чоловік, хворий на аніридію (відсутність райдужної оболонки ока), у якого не спостерігається зміщення кришталика, одружується з жінкою, у якої спостерігається зміщення кришталика, але є райдужна оболонка. Аніридія та зміщення кришталика — доміантні ознаки. У цієї пари народилося п'ятеро дітей, усі мають обидві аномалії. Визначте генотипи батьків.

*Відповідь:* **aaBB x AAbb**

28. Батько хворий на мігрень (доміантна ознака), а мати здорова. У батька нормальний слух, у матері також, але вона має рецесивний алель глухоти. Яка ймовірність народження дітей з обома хворобами, якщо батько гетерозиготний за обома генами?

*Відповідь:* 1/8.

29. Одружуються дівчина, хвора на цукровий діабет, і короткозорий юнак. Які у них можуть бути діти, якщо юнак гомозиготний? Чи будуть у них цілком здорові онуки, якщо їхні діти одружаться з особами, хворими на діабет і з нормальним зором? Цукровий діабет — рецесивна ознака, короткозорість — доміантна.

*Відповідь:* усі діти - короткозорі й не хворіють на діабет. Імовірність народження цілком здорових онуків — 1/4.

30. У людини є два види сліпоти, які визначаються рецесивними алелями різних генів. Яка ймовірність того, що дитина буде сліпою, якщо батько й мати хворіють тим самим видом сліпоти, а за другим геном вони нормальні й гомозиготні? А якщо різними видами сліпоти? *Відповідь:* 100%  
0%.

31. Визначте ймовірність народження дитини сліпою, якщо батьки зрячі, обидві ж бабусі хворіють однаковим видом сліпоти, а за іншим геном вони

нормальні й гомозиготні? В генотипах дідів алелів сліпоти немає.

32. Перед судово-медичною експертизою поставлено завдання з'ясувати, чи є хлопчик, котрий живе в сім'ї *N*, рідним чи прийомним сином. Дослідження крові всіх членів сім'ї дало такі результати: у жінки резус-позитивна кров IV групи, у чоловіка — резус-негативна I групи, у дитини резус-позитивна I групи.

*Відповідь:* дитина прийомна.

33. Батько блакитноокий, мати кароока; обидва резус-позитивні. У них народилося п'ятеро дітей, з яких четверо резус-позитивні, але двоє блакитноокі, двоє кароокі. Одна дитина блакитноока й резус-негативна. Визначте генотипи батьків.

*Відповідь:* обидва батьки гетерозиготні за резус-фактором, а мати гетерозиготна за кольором очей.

## ПОЛІГІБРИДНЕ СХРЕЩУВАННЯ.

Це схрещування особин, які відрізняються за кількома досліджуваними ознаками.

Наприклад, у гороху **A** — червоний колір квіток, **a** — білий; **B** — жовтий колір насіння, **b** — зеленим; **C** — гладенька форма насіння, **c** — зморшкувата.

<b><i>P</i></b>	♀ <b><i>AABBCC</i></b>	х	♂ <b><i>aabbcc</i></b>
	червоні жовте гладеньке		білі зелене зморшкувате
<b><i>Гамети P</i></b>	<b><i>ABC</i></b>		<b><i>abc</i></b>
<b><i>F<sub>1</sub></i></b>	<b><i>AaBbCc</i></b> червоні жовте гладеньке		

Число гамет, які утворює ***F<sub>1</sub>***, дорівнює  $2^n$ , де ***n*** — кількість досліджуваних ознак (або відповідних генів).

Загальна формула розщеплення за фенотипом у ***F<sub>2</sub>***:  $(3 + 1)^n$

Розщеплення за фенотипом у наведеному прикладі:

$(3+1)^3 = (3 \text{ червоних} + 1 \text{ біла}) \times (3 \text{ жовтих} + 1 \text{ зелене}) \times (3 \text{ гладеньких} + 1 \text{ зморшкувате}) = 27 \text{ червоних жовтих гладеньких} + 9 \text{ червоних жовтих зморшкуватих} + 9 \text{ червоних зелених гладеньких} + 3 \text{ червоних зелених зморшкуватих} + 9 \text{ білих жовтих гладеньких} + 3 \text{ білих жовтих зморшкуватих} + 3 \text{ білих зелених гладеньких} + 1 \text{ біла зелене зморшкувате.}$

Число фенотипових класів у ***F<sub>2</sub>*** дорівнює  $2^n$ ; в наведеному прикладі  $2^3 = 8$ .

Загальна формула розщеплення за генотипом у ***F<sub>2</sub>***:  $(1+2+1)^n$

Розщеплення за генотипом у наведеному прикладі :

$$(1AA + 2Aa + 1aa) \times (1BB + 2Bb + 1bb) \times (1CC + 2Cc + 1cc) =$$

$$1AABVCC + 2AaBVCC + 2AABbCC + 4AaBbCC + 2AABVCCc +$$

$$+ 4AaBbCc + 4AABbCc + 8AaBbCc + 1AABVcc +$$

$$2AaBVcc + 2AABbcc + 4AaBbcc + 1AAbbCC + 2AabbCC$$

$$+ 2AAbbCc + 4AabbCc + 1Aabbcc + 2Aabbcc +$$

$$1aaBVCC + 2aaBbCC + 2aaBVCCc + 4aaBbCc + 1aaBVcc$$

$$+ 2aaBbcc + 1aabbCC + 2aabbCc + 1aabbcc.$$

## **ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.**

**Задача 1.** Полідактилія, короткозорість і карий колір очей успадковуються як домінантні ознаки. Гени, що визначають ці ознаки, містяться в різних парах хромосом. Яка ймовірність народження кароокої дитини без аномалій, якщо обоє батьків гетерозиготні за всіма трьома генами?

*Розв'язання.* Ймовірність народження кароокої дитини —  $3/4$ , з нормальною будовою кисті —  $1/4$ , з нормальним зором —  $1/4$ . Отже, ймовірність народження кароокої дитини без аномалій дорівнює:

$$3/4 \times 1/4 \times 1/4 = 3/64.$$

**Задача 2.** У курей біле пір'я домінує над забарвленим, оперені ноги — над голоногістю, горохоподібний гребінь — над листоподібним. Гомозиготну білу курку з опереними ногами й горохоподібним гребенем схрестили із забарвленим голоногим півнем, що має листоподібний гребінь. Яка частина білих оперених з горохоподібним гребенем потомків  $F_2$  від цього схрещування не дасть розщеплення в разі схрещування із забарвленими голоногими з листоподібним гребенем птахами?

*Розв'язання.* Позначимо: **A** — біле пір'я, **a** — забарвлене; **B** — оперені ноги, **b** — голі; **C** — горохоподібний гребінь, **c** — листоподібний.

<b>P</b>	♀ <b>AABVCC</b>	x	♂ <b>aabbcc</b>
<b>Гамети P</b>	<b>ABC</b>		<b>abc</b>

**$F_1$**

**$AaBbCc$**

Білі оперені з горохоподібним гребенем потомки  **$F_2$**  не дадуть розщеплення при схрещуванні з рецесивними гомозиготними формами в тому випадку, якщо вони будуть гомозиготами  **$AABBCC$** . Частина таких особин в  **$F_2$**  становить  $1/64$ .

### ***Задачі для самостійного розв'язання.***

1. Які типи гамет утворюють особини з такими генотипами:

**a)  $AABBCC$**

**b)  $AABbCc$**

**c)  $AaBbCC$**

**d)  $AaBbCc$**

*Відповіді:*

**a)  $ABC$**

**b)  $ABC ; ABc$**

**c)  $ABC; AbC; aBC; abC$**

**d)  $ABC; ABc; AbC; Abc; aBC; aBc; abC; abc$**

2. Особини з генотипом  **$AaBbCc$**  схрещені між собою.

a) Скільки типів гамет утворюють дані особини?

b) Яка частина потомства має всі три домінуючі ознаки?

с) Яка частина потомства має всі три рецесивні ознаки?

*Відповіді:*

**a) 8;            b) 27/64;            c) 1/64**

3. У гороху жовтий колір насіння (**A**) домінує над зеленим (**a**), гладенька форма насіння (**B**) – над зморшкуватою (**b**), біб простої форми (**C**) – над бобом з перетяжками(**c**). Схрещено рослини: **AaBbcc x aabbCc**. Визначте розщеплення за фенотипом у гібридному поколінні.

*Відповідь:*

1/8 жовтих гладеньких простих;  
1/8 жовтих гладеньких з перетяжками;  
1/8 жовтих зморшкуватих простих;  
1/8 жовтих зморшкуватих із перетяжками;  
1/8 зелених гладеньких простих;  
1/8 зелених гладеньких з перетяжками;  
1/8 зелених зморшкуватих простих;  
1/8 зелених зморшкуватих із перетяжками.

4. У томатів червоне і жовте забарвлення плоду визначається алелями **A** і **a**, кругла й грушоподібна форма плоду – алелями **B** і **b**, високе і низьке стебло – алелями **R** і **r**. Схрестили жовтоплідну рослину, гетерозиготну за ознаками форми плоду й висоти стебла, з низькою рослиною, гетерозиготною за ознаками кольору й форми плоду.

*Відповідь:*

3 червоних круглих високих : 3 жовтих круглих високих;  
3 червоних круглих низьких : 3 жовтих круглих низьких  
1 червоний грушоподібний високий : 1 жовтий грушоподібний високий  
1 червоний грушоподібний низький : 1 жовтий грушоподібний низький.

5. Кароокій, темноволосий рецесивний чоловік одружується з карокою, темноволосою домінуючою жінкою. Визначте ймовірність народження блакитноокої світловолосої рецесивної дитини,



якщо батьки обоє гетерозиготні за доміантними ознаками.

*Відповідь:* 1/32

6. Батьки кароокі, резус-позитивні з II групою крові. Вони гетерозиготні за всіма трьома ознаками. Яка ймовірність народження блакитноокої резус-негативної дитини з I групою крові?

*Відповідь:* 1 /64

### **Аналізуюче схрещування.**

Це схрещування особини невідомого генотипу з особиною, гомозиготною за рецесивними алелями. Припустимо, в наявності є сорт гороху з жовтим гладеньким насінням. Його генотип можна визначити за результатами схрещування із сортом, що має зелене зморшкувате насіння.

У даному випадку можливі чотири варіанти гібридного потомства.

**1-й варіант.** Розщеплення в потомстві:

25% жовтих гладеньких

25% зелених гладеньких

25% жовтих зморшкуватих

25% зелених зморшкуватих.

Особина з генотипом **aabb** утворює тільки один тип гамет — **ab**. Ці алелі отримує кожен гібрид, а інші алелі успадковуються від другої батьківської особини, причому саме вони й визначають фенотип. Випишемо окремо алелі, які вносяться чоловічою та жіночою гаметами:

жовті гладенькі — **AB ab**

зелені гладенькі — **aB ab**

жовті зморшкуваті — **Ab ab**

зелені зморшкуваті — **ab ab**

Особина з жовтим гладеньким насінням утворює гамети **AB, aB, Ab, ab**. Отже, її генотип — **AaBb**.

**2-й варіант.** Розщеплення в потомстві:

50% жовтих гладеньких

50% жовтих зморшкуватих.

Визначаємо генотипи гібридів:

жовті гладенькі — **AB ab**

жовті зморшкуваті — **Ab ab**

Особина з жовтим гладеньким насінням утворює гамети: **AB, Ab**. Отже, її генотип — **AABb**.

**3-й варіант.** Розщеплення в потомстві:

50% жовтих гладеньких

50% зелених гладеньких.

Генотипи гібридів:

жовті гладенькі — **ABab**

зелені гладенькі — **aB ab**

Особина з жовтим гладеньким насінням утворює гамети **AB, aB**. Отже, її генотип — **AaBB**.

**4-й варіант.** Все потомство має жовте гладеньке насіння. Генотип гібридів — **ABab**, особина з жовтим гладеньким насінням утворює лише один тип гамет — **AB**. Отже, її генотип — **AABB**.

### ***Приклади задач.***

**Задача 1.** У морської свинки кучерява шерсть (**A**) і чорне забарвлення (**B**) — домінуючі ознаки, а гладенька шерсть (**a**) і біле забарвлення (**b**) — рецесивні. В результаті схрещування чорної кучерявої свинки з білою гладкошерстою в потомстві отримано 9 кучерявих чорних свинок і 11 кучерявих білих. Визначте генотипи батьків.

*Розв'язання.* Генотип білої гладкошерстої свинки — **aabb**. Визначаємо генотипи гібридів:

кучеряві чорні — **AB ab**

кучеряві білі — **Ab ab**

Звідси можна визначити, що чорна кучерява свинка утворює гамети **AB, Ab**; її генотип — **AABb**.

**Задача 2.** У дурману пурпурове забарвлення квіток (**A**) домінує над білим (**a**), а колючі коробочки (**B**) — над гладенькими (**b**). Рослину з пурпуровими квітками й колючими коробочками схрещено з рослиною, яка має білі квітки й гладенькі коробочки. В потомстві отримано 320 рослин із пурпуровими квітками й колючими коробочками та 312 рослин із пурпуровими квітами й гладенькими коробочками. Яким буде потомство від самозапилення батьківської рослини з пурпуровими квітами й колючими коробочками?

*Розв'язання.* Перш за все необхідно визначити генотип батьківської рослини з пурпуровими квітками й колючими коробочками. В потомстві відбулося розщеплення 1:1. Генотипи гібридів:

пурпурові колючі — **AB ab**;

пурпурові гладенькі — **Ab ab**.

Значить, рослина з пурпуровими квітками й колючими коробочками утворює гамети **AB** і **Ab**. Звідси її генотип — **AABb**. Визначаємо потомство від самозапилення цієї рослини:

		♀ <b>AABb</b>	x	♂ <b>AABb</b>	
<b>Гамети</b>		<b>AB</b>		<b>Ab</b>	
<b>Ab</b>					<b>AB</b>

**F1** за генотипом: 1 **AABV** : 2 **AABb** : 1 **AAbb**

за фенотипом: 3/4 пурпурових колючих : 1/4 пурпурових гладеньких

## **ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ.**

1. Яким буде співвідношення фенотипів у потомстві в разі аналізуючого схрещування, якщо особина гетерозиготна за двома ознаками (виберіть правильну відповідь):

а) 1:1; б) 3:1; в) 1:1:1:1; г) 9:3:3:1?

Відповідь: **в)**

2. Яким буде співвідношення фенотипів у разі аналізуючого схрещування, якщо особина має генотип:

а) **Aa**; б) **AaBb**; в) **AABb**; г) **AaBbCC**;  
д) **AaCC**?

Відповіді: а) 1:1, б) 1:1:1:1; в) 1:1; г) 1:1:1:1; д) 1:1

3. У помідорів червоний колір плоду (**A**), кругла форма плоду (**B**) і нормальний зріст рослини (**C**) — домінантні ознаки, а жовтий колір плоду (**a**), видовжена форма плоду (**b**) і карликовий зріст рослини (**c**) — рецесивні ознаки. Схрестили сорт нормального зросту з червоними круглими плодами і сорт карликового зросту з жовтими видовженими плодами. В потомстві отримали 25% нормальних із червоними круглими плодами, 25% нормальних із червоними видовженими плодами,

25% нормальних із жовтими круглими плодами и 25% нормальних із жовтими видовженими плодами. Визначте генотипи батьків.

Відповідь: **AaBbCC** x **aabbcc**

4. У флоксів біле забарвлення квіток визначається геном **R**, кремове — **r**, плоский віночок — **W**, лійкоподібний — **w**. Рослину з білими плоскими квітами схрещено з рослиною, яка має кремові лійкоподібні квітки. В потомстві 1/4 рослин має білі плоскі квітки, 1/4 — кремові плоскі, 1/4 — білі

лійкоподібні, 1/4 — кремові лійкоподібні. Визначте генотипи батьківських рослин.

*Відповідь:* **RrWw x rrww**

5. У запашного горошку високий зріст (**A**) домінує над карликовим (**a**); зелене забарвлення бобів (**B**) — над жовтим (**b**). Схрестили рослину високого зросту, що дає зелені боби, з карликовою рослиною, яка має жовті боби. В потомстві отримано 52 рослини високого зросту із зеленими бобами й 49 карликових рослин із зеленими бобами. Визначте генотипи батьківських особин.

*Відповідь:* **AaBB x aabb**

6. У помідорів червоне забарвлення плодів домінує над жовтим, двогніздові плоди — над багатогніздовими, високе стебло — над карликовим. Селекціонер має високий сорт із червоними двогніздовими плодами. Як практично можна визначити, чи є він гомозиготним?

*Відповідь:* необхідно провести аналізуюче схрещування. Якщо сорт є гомозиготним, то розщеплення не відбудеться.

7. У собак чорний колір шерсті домінує над кавовим, а коротка шерсть — над довгою. Мисливець купив собаку з чорною короткою шерстю й хоче впевнитися, що він не несе алелів кавового кольору та довгої шерсті. Якого партнера потрібно підібрати для схрещування, щоб перевірити генотип купленого собаки?

*Відповідь:* кавового довгошерстого.

## **ЗЧЕПЛЕНЕ УСПАДКУВАННЯ.**

Сумісне успадкування генів, які містяться в одній хромосомі, називають *зчепленим успадкуванням*.

Гени одної хромосоми утворюють групу зчеплення. Кількість груп зчеплення дорівнює кількості пар хромосом, або кількості хромосом у гаплоїдному наборі.

Зчеплення генів може порушуватися в результаті кросинговеру.

Кросинговер — це обмін ділянками між гомологічними хромосомами. В особини з генотипом **AB//ab** внаслідок кросинговеру утворюються такі типи гамет:

а) **aB, Ab** — кросоверні гамети, містять нові (порівняно з батьківськими) комбінації алелів;

б) **AB, ab** — некросоверні гамети.

Частота кросинговеру між певними генами прямо пропорційна відстані між ними, яка вимірюється в умовних одиницях — *морганідах*.

1 морганіда — це відстань між генами, за якої кросинговер відбувається з частотою 1%.

Кількісно частота кросинговеру між даними генами дорівнює відсоткові кросоверних особин, отриманих внаслідок аналізуючого схрещування, або відсоткові кросоверних гамет, які утворює гетерозиготна батьківська особина.

## **ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.**

**Задача 1.** Чоловік отримав від матері хромосому з генами A і B, від батька — з генами a і b, причому ці гени успадковуються зчеплено. Його жінка — рецесивна гомозигота. Яка ймовірність того, що їхня дитина буде рецесивною за обома генами, якщо відстань між генами 8 морганід?

*Розв'язання.* Генотип чоловіка — **AB//ab**, його жінки — **aa//bb**. Індивід з генотипом **AB//ab** утворює гамети **AB, ab, Ab, aB**.

Кількість кросоверних гамет **Ab** і **aB** відповідає відстані між генами, тобто 8%. Кількість некросоверних гамет **AB** і **ab** — 92%. Звідси кількість гамет кожного типу: **AB** — 46%, **ab** — 46%, **Ab** — 4%,

**aB** — 4%. Дитина буде рецесивною за обома генами при злитті гамет **ab** і **ab**, ймовірність чого становить 46%.

**Задача 2.** У кукурудзи буває забарвлений ендосперм (**A**) і незабарвлений (**a**), гладкі зерна (**B**) і зморшкуваті (**b**). Гени, що визначають ці ознаки, успадковуються у зчепленому стані, частота кросинговеру — 3,6%. Визначте потомство від схрещування: **AB//ab** X **ab//ab**

*Розв'язання.* Особа **AB//ab** утворює гамети в такому співвідношенні: 3,6% кросоверних гамет **Ab** і **aB**; 96,4% некросоверних гамет **AB** і **ab**.

Окремо: 1,8% **Ab**; 1,8% **aB**; 48,2% **AB**;  
48,2% **ab**.

Ці гамети в такому ж співвідношенні зливатимуться з гаметами **ab**, які утворює особина **ab//ab**. Внаслідок цього утворюється потомство:

1,8% **Ab//ab** (забарвлений, зморшкуваті);

1,8% **aB// ab** (незабарвлений гладкі);

48,2% **AB// ab** (забарвлений, гладкі);

48,2% **aa//bb** (незабарвлений, зморшкуваті).

**Задача 3.** Схрещено дві породи кролів: з короткою хвилястою шерстю й із довгою прямою. В результаті аналізуючого схрещування отримано потомство: з довгою прямою шерстю – 99 особин, із короткою хвилястою – 101, із довгою хвилястою – 24, з короткою прямою – 26. Визначте частоту кросинговеру. Відповідь обґрунтувати.

*Розв'язання.* Особини з довгою прямою й короткою хвилястою шерстю – *некросоверні*; з довгою хвилястою й короткою прямою – *кросоверні*. Частота кросинговеру дорівнює процентіві кросоверних особин, отриманих унаслідок аналізуючого схрещування. Всього особин – 250; з них кросоверних – 50. Звідси частота кросинговеру – 20%.

**Задача 4.** У дрозофіли відстань між генами **A** і **B** – 12 морганід. Яким буде потомство від схрещування рецесивної самки та самця з генотипом **AB//ab**, якщо для самців дрозофіли характерне повне зчеплення генів?

*Розв'язання.* Схема схрещування:

Р	♀	<b>ab//ab</b>	x	♂	<b>AB//ab</b>
Гамети Р		<b>ab</b>		<b>AB</b>	<b>ab</b>
F1		50% <b>AB//ab</b>		50% <b>ab//ab</b>	

**Задача 5.** Гени **B** і **C** зчеплені, а частота кросинговеру між ними становить 24%. Ген **E** розташований у іншій групі зчеплення. Які типи гамет і в якому процентному співвідношенні утворюються в особин з генотипом **BC//bc** та **E//e** ?

*Розв'язання.* Визначаємо відсотки кросоверних і некросоверних хромосом: 76% некросоверних **BC** і **bc**; 24% кросоверних **Bc** і **bC**.

Окремо: **BC** — 38%, **bc** — 38%, **Bc**— 12%, **bC** — 12%. При утворенні гамет кожна з цих комбінацій алелей може з рівною ймовірністю поєднуватись або з алелем **E**, або з алелем **e**. Внаслідок цього утворюються 8 типів гамет:

19% **BCE**, 19% **Bce**, 19% **bceE**, 19% **bce**;  
 6% **BcE**, 6% **Bce**, 6% **bCE**, 6% **bCe**

## **ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ.**

1. Диплоїдний набір хромосом у клітинах людини — 46, голуба — 80, кішки — 38, жаби — 26, собаки — 78, аскариди — 4, шимпанзе — 48, корови — 60.



Визначте число груп зчеплення у кожному випадку.  
Відповідь: 23, 40, 19, 13, 39, 2, 24, 30.

2. У чотирьох гетерозиготних особин утворюються такі типи гамет:

- а) **AB** — 40%, **Ab** — 10%, **aB** — 10%, **ab** — 40%;
- б) **AB** — 50%, **ab** — 50%;
- в) **AB** — 25%, **Ab** — 25%, **aB** — 25%, **ab** — 25%;
- г) **AB** — 30%, **Ab** — 20%, **aB** — 20%, **ab** — 30%

Визначте тип успадкування в кожному з випадків.

Відповідь: **а, г** — неповне зчеплення, **б** — повне зчеплення, **в** — незалежне успадкування або зчеплене успадкування (якщо частота кросинговеру - 50%).

3. Гени **B** і **C** локалізовані в одній парі гомологічних хромосом. Напишіть можливі генотипи:

а) гомозигот за доміантними ознаками; б) гомозигот за рецесивними ознаками; в) гетерозигот за обома ознаками.

Відповідь: а) **BC//BC** б) **bc//bc** в) **BC//bc** або **Bc//bC**

4. Гени **A** і **B** локалізовані в одній парі гомологічних хромосом і повністю зчеплені, тобто кросинговер між ними не відбувається. Які типи гамет і в якому процентному співвідношенні утворюються у гетерозиготи за обома генами?

Відповідь: якщо генотип особини **AB//ab**, то 50% **AB** і 50% **ab**; якщо **Ab//aB**, то 50% **Ab** і 50% **aB**.

5. Які типи кросоверних і некросоверних гамет утворюються в організмів, що мають такі генотипи:  
а) **CB//cb** б) **Cb//cB** ?

Відповідь: а) кросоверні гамети — **Cb, cB**; некросоверні — **CB, cb**;

б) кросоверні — **CB, cb**; некросоверні — **Cb, cB**.

6. Визначте відстань між генами **C** і **E**, якщо при схрещуванні гетерозиготної за цими генами особини з рецесивною гомозиготою отримано 12% кросоверних особин. *Відповідь:* 12 морганід.

7. Які типи гамет і в якому процентному співвідношенні утворюються в особини з генотипом **A//a BC//bc**, якщо частота кросинговеру між зчепленими генами становить 20%?

*Відповідь:* по 20% некросоверних гамет **ABC**, **aBC**, **Abc**;

по 5% кросоверних гамет **ABc**, **aBc**, **AbC**, **abC**.

8. У помідорів високе стебло (**A**) домінує над карликовим (**a**), круглі плоди (**B**) — над грушоподібними (**b**). Відповідні гени зчеплені й містяться в хромосомі на відстані 10 морганід. Гомозиготні високі рослини з круглими плодами схрещені з карликовими рослинами, які мають грушоподібні плоди. Які типи гамет і в якому процентному співвідношенні утворюють гібриди **F<sub>1</sub>**?

*Відповідь:* **AB** - 45%, **Ab** - 45%, **aB** - 5%, **ab** - 5%

9. У дрозофіли буває червоний і білий колір очей. Ці ознаки визначаються алелями одного гена. Відомо, що гени жовтого тіла и білих очей зчеплені, а кросинговер між ними становить 3 %. Який процент кросинговеру спостерігається між генами жовтого тіла й червоних очей? *Відповідь:* 3%.

10. Проведено схрещування двох пар дрозофіл. В обох парах самки були гетерозиготними за генами **A** і **B**, а самці — рецесивними. Перша пара мух дала розщеплення: 48% **ABab** : 2% **Abab** : 2% **aBab** : 48% **abab**. Друга — 2% **ABab** : 48% **Abab** : 48% **aBab** : 2% **abab**. Визначте генотипи першої й другої самки та відстань між даними генами.

*Відповіді:* генотип першої самки - **AB//ab**; другої - **Ab//aB**; відстань між генами - 4 морганіди.

11. У кукурудзи гладенька форма насіння домінує над зморшкуватою, забарвлене насіння — над незабарвленим. Гени, які відповідають за ці ознаки, успадковуються зчеплено. При схрещуванні сорту, що має гладеньке забарвлене насіння, із сортом зі зморшкуватим незабарвленим насінням, отримано потомство: з гладеньким забарвленим насінням — 961 особина, зі зморшкуватим забарвленим — 35, із гладеньким незабарвленим — 37, зі зморшкуватим незабарвленим 967. Визначте відстань між генами.

**Відповідь:** 3,6 морганіди

12. У пацюків темне забарвлення шерсті домінує над світлим, рожевий колір очей — над червоним. Гени, які відповідають за ці ознаки, успадковуються зчеплено. Від схрещування рожевооких темношерстих пацюків із червоноокими світлошерстими отримано потомство: темношерстих рожевооких — 73 особини, світлошерстих рожевооких — 24, темношерстих червонооких — 26, світлошерстих червонооких — 77. Визначте частоту кросинговеру.

**Відповідь:** 25%.

## УСПАДКУВАННЯ, ЗЧЕПЛЕНЕ ЗІ СТАТТЮ.

В хромосомному наборі організмів розрізняють нестатеві хромосоми, або *аутосоми*, і статеві хромосоми (*гетеросоми*, *алосоми*). У певної статі статеві хромосоми можуть бути однаковими або різними. Залежно від цього стать, яка утворює один тип гамет, називається *гомогаметною*, а стать, яка утворює різні типи гамет — *гетерогаметною*.

Відомо чотири типи хромосомного визначення статі:

1) жіноча стать є гомогаметною (**XX**); а чоловіча — гетерогаметною (**XU**) - у ссавців, більшості амфібій, частини риб, комах (крім метеликів), ракоподібних, черв'яків, деяких дводомних рослин;

2) жіноча стать — гомогаметна (**XX**), а чоловіча — гетерогаметна (**XO**) - у клопів;

3) жіноча стать — гетерогаметна (**XU**), а чоловіча — гомогаметна (**XX**) - у птахів, плазунів, частини риб, метелків;

4) жіноча стать - гетерогаметна (**XO**), а чоловіча — гомогаметна (**XX**) у молі, живородної ящірки.

Успадкування генів, локалізованих у статевих хромосомах, називають *успадкуванням, зчепленим зі статтю*.

У людини в випадку, коли ген локалізований у **X**-хромосомі, він передається від батька лише до дочок, а від матері — до синів і дочок порівну. Якщо рецесивний алель зчеплений з **X**-хромосоною, то у жінок він проявляється лише в гомозиготному стані, а у чоловіків — у будь-якому разі (такий організм називається *гемізиготним*).

У ссавців жіночі особини мають дві **X**-хромосоми, але в кожній клітині жіночого організму одна з **X**-хромосом інактивована. **X**-хромосоми інактивуються на ранній стадії ембріонального розвитку, при цьому в різних клітинах **X**-хромосоми від батька й від матері вимикаються випадково. Приклад — успадкування кольору шерсті у кішок. У них ген **C+** визначає чорний колір, **C** — рудий; у гетерозигот **X<sup>C+</sup>X<sup>C</sup>** в одних клітинах проявляється хромосома **X<sup>C+</sup>**, в інших — **X<sup>C</sup>**; такі особини мають черепахове (чорно-руде) забарвлення. Такий колір шерсті властивий виключно самкам, тому що самці мають лише одну **X**-хромосому.

У схемах схрещувань вказують, у якій статевій хромосомі міститься даний алель. Наприклад, рецесивний алель гемофілії міститься в **X**-хромосомі, його позначають символом **X<sup>h</sup>**, а домінантний алель нормального зсідання крові позначається **X<sup>H</sup>**.

## ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ.

**Задача 1.** Дочка гемофіліка виходить заміж за сина іншого гемофіліка, причому наречений і наречена не хворіють на гемофілію. Визначте ймовірність народження хворої дитини.

*Розв'язання.* Дочка гемофіліка отримала від батька **X**-хромосому з рецесивним алелем гемофілії **h**, але оскільки вона не хвора, значить, її друга **X**-хромосома несе домінуючий алель **H**. Таким чином, генотип нареченої **X<sup>H</sup> X<sup>h</sup>**. Наречений отримав від батька **Y**-хромосому, від матері **X**-хромосому з алелем **H**, а його генотип — **X<sup>H</sup> Y**.

<b>P</b>	♀ <b>X<sup>H</sup> X<sup>h</sup></b>	x	♂ <b>X<sup>H</sup> Y</b>	
<b>Гамети P</b>	<b>X<sup>H</sup></b>	<b>X<sup>h</sup></b>	<b>X<sup>H</sup></b>	<b>Y</b>
<b>F1</b>	♀ <b>X<sup>H</sup> X<sup>H</sup></b> (нормальна)		♀ <b>X<sup>H</sup></b>	<b>X<sup>h</sup></b>
			♂ <b>X<sup>H</sup> Y</b> (нормальний)	
	♂ <b>X<sup>h</sup> Y</b> (гемофілік)			

Ймовірність народження хворої дитини - **1/4**

**Задача 2.** У нормальної жінки народилося троє синів: один — гемофілік і дальтонік, другий — гемофілік із нормальним зором, третій — нормальний за обома ознаками. Чим це можна пояснити?

*Розв'язання.* Генотип одного сина — **X<sup>h</sup>d<sup>y</sup>**, другого — **X<sup>h</sup>D<sup>y</sup>**, третього — **X<sup>H</sup>D<sup>y</sup>**. Значить, вони отримали від матері три типи хромосом — **X<sup>h</sup>d**, **X<sup>h</sup>D**, **X<sup>H</sup>D**. Це можливо в тому випадку, коли між **X**-хромосомами матері відбувається кросинговер. Генотип матері може бути **X<sup>H</sup>DX<sup>h</sup>d**, в результаті кросинговеру утворюються гамети **X<sup>h</sup>d** і **X<sup>h</sup>D**, або **X<sup>H</sup>d** і **X<sup>H</sup>D**, в результаті кросинговеру утворюються гамети **X<sup>H</sup>D** і **X<sup>h</sup>d**.

**Задача 3.** У курей зчеплений зі статтю ген **A** в рецесивному стані має летальну дію. Яка частина потомства загине, якщо схрестити курку з гетерозиготним півнем?

*Розв'язання.* У птахів жіноча стать є гетерогаметною, а чоловіча — гомогаметною. Генотип курки  $X^A Y$ , півня  $X^A X^a$ .

Схема схрещування:

<b>P</b>	♀ $X^A Y$	x	♂ $X^A X^a$	
<b>Гамети P</b>	$X^A$	$Y$	$X^A$	$X^a$
<b>F1</b>	$X^A X^A$	$X^A X^a$	$X^A Y$	$X^a Y$

Жіночі особини  $X^a Y$  загинуть, їхня частка - 25%.

## **ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ.**

1. Схрестили червонооких самок дрозофіли з червоноокими самцями. В потомстві отримано 69 червонооких і білооких самців і 71 червонооку самку. Визначте генотипи батьків і потомства, якщо відомо, що червоний колір очей — домінантна ознака, білий — рецесивна, а відповідний ген зчеплений з X-хромосомою.

*Відповідь:* **P:  $X^A X^a$  x  $X^A Y$ ; F<sub>1</sub>:  $X^A X^A$ ,  $X^A X^a$ ,  $X^A Y$ ,  $X^a Y$**

2. Чоловік-дальтонік одружується із жінкою з нормальним зором, батько якої був дальтоніком. Яким буде зір у їхніх дітей?

*Відповідь:* 1/2 дітей — дальтоніки, 1/2 матимуть нормальний зір.

3. У здорової жінки брат дальтонік. Чи може у неї народитися син із кольоровою сліпотою?

*Відповідь:* може з імовірністю  $1/4$ , якщо жінка гетерозиготна.

4. Батько й мати здорові, а дитина хворіє на гемофілію. Яка стать у дитини? *Відповідь:* чоловіча.

5. Які діти можуть народитися від шлюбу гемофіліка з жінкою-дальтоніком, яка не є носієм алеля гемофілії?

*Відповідь:* усі дівчата нормальні, всі хлопчики — дальтоніки з нормальним зсіданням крові.

6. Батьки розрізняють кольори нормально, а їхній син хворий на дальтонізм. Від кого хлопчик успадкував це захворювання - від батька чи від матері? *Відповідь:* від матері.

7. Здорова жінка, батько якої страждав гемофілією, одружилася зі здоровим чоловіком. Яка ймовірність народження дитини, хворої на гемофілію? *Відповідь:*  $1/4$ .

8. Жінка, мати якої страждала дальтонізмом, а батько — гемофілією, одружилася з чоловіком, котрий має обидва захворювання. Визначте ймовірність народження в цій сім'ї дітей, які також страждатимуть обома захворюваннями.

*Відповідь:* 0%.

9. У людини відсутність потових залоз визначається рецесивним алелем, локалізованим в X-хромосомі. Чоловік, який страждає відсутністю потових залоз, оженився на здоровій гетерозиготній жінці. Які в них можуть бути діти?

*Відповідь:* 50% дочок — здорові й 50% — хворі; 50% синів — здорові й 50% — хворі.

10. Надмірна волосатість (гіпертрихоз) вушних раковин визначається геном, локалізованим в Y-хромосомі. Яка ймовірність народження дитини з такою аномалією, якщо цю ознаку має батько?

*Відповідь:*  $1/2$ .

11. Жінка з нормальним зором, батько якої був дальтоніком, одружилася з чоловіком з волосатістю вушних раковин і нормальним зором. Яка ймовірність народження в цій сім'ї сина, хворого на дальтонізм і гіпертрихоз? *Відповідь:* 1/4.

12. У людини рецесивний алель гемофілії (**h**) і рецесивний алель дальтонізму (**d**) містяться в **X**-хромосомі на відстані 9,8 морганід. Які типи гамет і в якому процентному співвідношенні утворюють особини: а) **X<sup>DH</sup>X<sup>dh</sup>** б) **X<sup>Dh</sup>Y**

*Відповіді:* а) 45,1% **X<sup>DH</sup>** : 4,9% **X<sup>Dh</sup>** : 4,9% **X<sup>dH</sup>**  
: 45,1% **X<sup>dh</sup>**

б) 50% **X<sup>Dh</sup>** : 50% **Y**

13. Алелі, що визначають у кішок чорний і рудий колір шерсті, містяться в **X**-хромосомі. Гетерозиготна кішка має чорно-руде (черепахове) забарвлення. Яка ймовірність народження особини жіночої статі з чорним забарвленням у разі схрещування черепахової самки й чорного кота?  
*Відповідь:* 1/4

14. Схрестили чорну самку з рудим котом. Чи будуть у потомстві особини з рудим кольором шерсті?  
*Відповідь:* ні.

15. Темна емаль зубів визначається домінантними алелями двох різних генів, один із яких розташований в аутосомі, другий — у **X**-хромосомі. В сім'ї, де батьки мають темні зуби, народилися дівчинка та хлопчик із нормальним кольором зубів. Визначте ймовірність народження наступної дитини також із нормальними зубами, якщо темні зуби матері зумовлені геном **X**-хромосоми, а темні зуби батька — аутосомним геном?

16. Яка ймовірність народження хлопчиків або дівчаток у сім'ї, де мати — носій рецесивного, зчепленого зі статтю летального алеля, що викликає загибель ембріона?

*Відповідь:* ймовірність народження дівчаток — 2/3, хлопчиків — 1/3.



## ВЗАЄМОДІЯ ГЕНІВ. МНОЖИННА ДІЯ ГЕНІВ.

Генотип кожного організму являє собою систему генів, що склалася в процесі еволюції. У ряді випадків гени часто діють не ізольовано, а взаємодіють один з одним (через свої продукти). Типи взаємодії генів: *комплементарність, епістаз, полімерія.*

*Комплементарність* — це явище виникнення нової ознаки за сумісного перебування в генотипі домінантних алелів різних генів у порівнянні з дією кожного алеля окремо. Можливі чотири випадки розщеплення в  $F_2$ .

1. Обидва домінантних алелі не мають самостійного фенотипового прояву. Наприклад, у запашного горошку червоний колір квіток визначається одночасною наявністю в генотипі алелів **A** і **B**. За відсутності в генотипі одного з них або обох разом квітки білі.

В разі схрещування особин **AAbb** (білі) x **aaBB** (білі) в  $F_1$  усі рослини — з червоними квітками (**AaBb**), а в  $F_2$  відбувається розщеплення 9 червоних : 7 білих.

2. Один алель самостійний прояв має, а другий — ні. У кроликів алель **A** визначає наявність пігменту, алель **a** — відсутність пігменту; алель **B** нерівномірний розподіл пігменту, **b** — рівномірний. Якщо пігмент розподіляється рівномірно по довжині волосини, колір шерсті — чорний, якщо нерівномірно — сірий.

При схрещуванні особин **AAbb** (чорний) x **aaBB** (білий) в  $F_1$  всі кролі сірі (**AaBb**), а в  $F_2$  відбувається розщеплення — 9 сірих : 4 білих : 3 чорних.

3. Обидва домінантних алелі мають самостійний прояв, при цьому фенотипи різні. У курей алель **A** визначає горохоподібний гребінь, **B** - трояндоподібний; за сумісного перебування в генотипі алелів **A** і **B** гребінь горіхоподібний; особина з генотипом **aabb** має простий гребінь. У разі схрещування особин **AAbb** (горохоподібний) x **aaBB** (трояндоподібний) в  $F_1$  всі птахи мають горіхоподібний гребінь, а в  $F_2$  відбувається розщеплення

9 горіхоподібних : 3 горохоподібних : 3  
трояндоподібних : 1 простий.

4. Обидва доміантних алелі мають самостійний прояв, причому фенотипи, що утворюються, однакові. У гарбузів сферична форма плоду визначається доміантними алелями різних генів — **A** і **B**. За сумісного перебування в генотипі алелів **A** і **B** форма плоду дископодібна, рослини з генотипом **aabb** мають видовжений плід.

За схрещування особин **AAbb** (сферична) х **aaBB** (сферична) в **F<sub>1</sub>** усі рослини мають дископодібні плоди (**AaBb**), а в **F<sub>2</sub>** відбувається розщеплення — 9 дископодібних : 6 сферичних : 1 видовжений.

Іншим типом взаємодії генів є епістаз. Це явище пригнічення одного гена іншим. Наприклад, у гарбузів плоди можуть бути жовтого кольору (**A**) та зеленого (**a**). Обидва алелі можуть пригнічуватися доміантним алелем **I** (**I** > **A**, **I** > **a**), внаслідок чого утворюються білі плоди. Рецесивний алель **i** не перешкоджає прояву алелів **A** та **a**.

**P**    **AAII** (білі)                    х **aaII** (зелені)

**F<sub>1</sub>**                    **AaIi** (білі)

**F<sub>2</sub>**                    12 білих : 3 жовтих : 1 зелений

Ще один тип взаємодії генів — полімерія. Бувають випадки, коли різні гени проявляють однакову дію. Їх позначають однаковими символами з цифровими індексами: **A<sub>1</sub>**, **A<sub>2</sub>**, **a<sub>1</sub>**, **a<sub>2</sub>** тощо.

Існують два варіанти полімерії — некумулятивна й кумулятивна. В разі некумулятивної полімерії ступінь прояву ознаки не змінюється в залежності від кількості доміантних алелів у генотипі.

Наприклад, у курей опереність ніг визначається домінантними алелями різних генів  $A_1$  і  $A_2$ :

**$P \quad A_1A_1A_2A_2 \times a_1a_1a_2a_2$**

При кумулятивній полімерії ступінь прояву ознаки залежить від кількості домінантних алелів у генотипі. Так успадковується, наприклад, забарвлення зерен у пшениці:

У  $F_2$  спостерігається розщеплення 15 забарвлених : 1 біле. Забарвлення зерен варіює від темно-червоного до світло-рожевого в залежності від кількості домінантних алелів.

Один ген може визначати різні ознаки організму. Це явище називається множинною дією генів (*плейотропія*). Один алель гена може бути повністю домінантним по відношенню до різних ознак, а другий алель — повністю рецесивним. Іноді алель гена по відношенню до одних ознак є домінантним, а по відношенню до інших — рецесивним. Особливий випадок — коли домінантний алель має рецесивну летальну дію, тобто в гомозиготному стані призводить до загибелі особини.

### ***Приклади задач.***

**Задача 1.** У папуг алель  $A$  визначає жовтий колір пір'я,  $B$  — блакитний, при взаємодії генів  $A$  і  $B$  колір зелений, особини з генотипом  $aabb$  білі. При схрещуванні гетерозиготних особин із жовтим і блакитним пір'ям отримано 20 папуг. Скільки серед них білих?

*Розв'язання.* Схема схрещування:

<b>P</b> (блакитні)	♀ <b>Aabb</b> (жовті)	x	♂ <b>aaBb</b>
<b>Гамети F<sub>1</sub></b>	<b>Ab ab</b>		<b>aB ab</b>
<b>F<sub>1</sub></b> (білі)	25% <b>AaBb</b> (зелені)	25%	<b>Aabb</b> (жовті)
	25% <b>aaBb</b> (блакитні)	25%	<b>aabb</b>

Отже, частка білих особин — 1/4, тобто 5 папуг.

**Задача 2.** При схрещуванні жовтоплідного й білоплідного гомозиготних гарбузів усе потомство має білі плоди. Внаслідок схрещування отриманих рослин між собою в другому поколінні відбулося розщеплення у співвідношенні 182 білих : 44 жовтих : 15 зелених. Визначте генотипи батьківських форм, гібридів першого й другого поколінь.

**Розв'язання.** Генотип жовтоплідної батьківської форми — **AAii**. Оскільки в **F<sub>2</sub>** з'являються рослини із зеленими плодами, значить, білоплідна батьківська форма має рецесивний алель **a**, а її генотип — **aaII**.

**P**            **AAii (жовті) x aaII (білі)**

**F<sub>1</sub>**            **AaIi (білі)**

**F<sub>2</sub>**            **12 білих : 3 жовтих : 1 зелена**

Теоретичне розщеплення 12 : 3 : 1 відповідає практичному розщепленню 182 : 44 : 15.

**Задача 3.** У грициків стручечок може бути трикутної або округлої форми. При схрещуванні будь-якої гомозиготної форми з трикутним стручечком із рослиною, яка має округлий стручечок, у гібридів першого покоління плоди завжди трикутні. Визначте генотипи батьківських форм, якщо у другому

поколінні отримано розщеплення: 15 рослин з трикутними : 1 рослина з округлими плодами.

*Розв'язання.* Розщеплення в другому поколінні свідчить про те, що в даному випадку спостерігається явище некумулятивної полімерії.

$P \quad \text{♀} A_1 A_1 A_2 A_2 \text{ (трикутні)} \quad \times \quad \text{♂} a_1 a_1 a_2 a_2$   
**(овальні)**

$F_1 \quad A_1 a_1 a_2 a_2 \text{ (трикутні)}$

$F_2 \quad 15 \text{ трикутних : } 1 \text{ овальний}$

**Задача 4.** У курей алель коротких ніг ( $A$ ) домінує над алелем довгих ніг ( $a$ ), але він летальний у гомозиготному стані й призводить до загибелі потомства на стадії зародка. Від схрещування коротконогих курей і півнів отримано 200 яєць. Скільки вилупиться курчат із короткими ногами?

*Розв'язання.* Генотип коротконогих батьківських особин може бути тільки один -  $Aa$ . Схема схрещування:

$P \quad \text{♀} Aa \quad \times \quad \text{♂} Aa$

$F_1 \quad 1 AA \text{ (гинуть)} : 2 Aa \text{ (короткі)} : 1 aa$   
( довгі)

Частка особин з короткими ногами —  $1/2$ , тобто 100 курчат.

### ***Задачі для самостійного розв'язання.***

1. Схрестили дигетерозиготну червоноквіткову рослину запашного горошку з такими рослинами: а) гомозиготною червоноквітковою; б) гомозиготною білоквітковою. Яким буде потомство в кожному випадку?

*Відповідь:* а) все потомство — червоноквіткове;  
б) 1/2 потомства червоноквіткова, 1/2 — білоквіткова.

2. У мишей доміантний алель **C** зумовлює пігментацію шерсті, рецесивний алель **c** — білий колір. Алель **A** викликає нерівномірний розподіл пігменту вздовж волосини, внаслідок чого шерсть має сірий колір. Алель **a** викликає рівномірну пігментацію волосся, внаслідок чого шерсть чорна. Дигетерозиготна сіра миша схрещена з білою, гомозиготною за алелями **c** та **a**. Визначте розщеплення за фенотипом у першому поколінні.

*Відповідь:* 50 % потомства має білу шерсть, 25% — чорну, 25% — сіру.

3. У курей ген **R** визначає трояндоподібний гребінь, ген **P** — горохоподібний. За комплементарної взаємодії генів **R** і **P** утворюється горіхоподібний гребінь, птахи з генотипом **rrpp** мають простий гребінь. Проведено такі схрещування: а) гомозиготна особина з трояндоподібним гребенем схрещена з особиною, гомозиготною за геном горохоподібного гребеня; б) особина з горіхоподібним гребенем, гетерозиготна за генами **R** і **P** схрещена з особиною, яка має простий гребінь. Який фенотип матимуть їхні потомки?

*Відповіді:*

а) всі потомки будуть із горіхоподібним гребенем;  
б) 1/4 із горіхоподібним : 1/4 із трояндоподібним :  
1/4 із горохоподібним : 1/4 із простим.

4. У собак породи кокер - спаніель ген **A** визначає руду масть, **B** — коричневу, за комплементарної взаємодії генів **A** і **B** масть чорна, особини з генотипом **aabb** світло-жовті. Чорний кокер - спаніель був схрещений зі світло-жовтою самкою й від цього схрещування народилося світло-жовте цуценя. Яка ймовірність появи коричневого цуценяти від

схрещування того ж чорного спанієля із самкою однакового з ним генотипу?

*Відповідь:* 3/16

5. Синтез в клітинах людини інтерферону зумовлюється комплементарною взаємодією двох домінантних алелів— **A** і **B**.

а) В одного з батьків пригнічена здібність до утворення інтерферону внаслідок відсутності гена **B**, а другий — здоровий і всі його родичі також здорові. Яка ймовірність появи здорового потомства?

б) Батьки здорові й гетерозиготні за генами **A** і **B**. Визначте ймовірність народження здорових і хворих дітей.

*Відповіді :* а) 100% б) 9/16; 7/16

6. У людини одна з форм спадкової глухоти визначається двома рецесивними алелями різних генів — **d** і **e**. Для нормального слуху необхідна наявність двох домінантних алелів **D** і **E**, один із яких визначає розвиток завитки, а другий — слухового нерва. В сім'ї батьки глухі, а п'ятеро їхніх дітей — з нормальним слухом. Визначте генотипи членів сім'ї.

*Відповідь:* генотипи батьків **DDee** x **ddEE**, дітей — **DcEe**.

7. При схрещуванні чорного кроля з білим половина гібридів першого покоління має чорний колір шерсті, половина — сірий. У другому поколінні отримано 16 сірих кролів, 14 чорних і 10 білих. Визначте генотипи батьків і потомства.

*Відповідь:* **P: AAbb** x **aaBb**; **F<sub>1</sub>: Aabb** x **AaBb**;

**F<sub>2</sub>: 2AaBb : 2Aabb : 1AABb : 1aaBb : 1aabb**

8. Коричневе забарвлення хутра у норок зумовлюється взаємодією генів **A** і **B**. За відсутності

обох генів чи одного з них норка має платинове забарвлення. Внаслідок схрещування коричневих норок, гетерозиготних за обома генами, отримано 80 особин. Скільки з них платинових?

*Відповідь: 35 особин*

9. Форма плодів у гарбузів може бути сферичною (**A** або **B**), дископодібною (**AB**) та видовженою (**ab**). При схрещуванні сорту з дископодібними плодами із сортом, що має видовжені плоди, в потомстві отримано співвідношення: 49 дископодібних : 102 сферичних : 51 видовжений. Визначте генотипи батьків і потомства.

*Відповідь: P: AaBb x aabb;*

*F<sub>1</sub>: 1AaBb:1Aabb:1aaBb 1aabb*

10. При схрещуванні білоплідного и зеленоплідного гарбузів у першому поколінні одержано 50% білоплідних і 50% жовтоплідних. Визначте генотипи батьків і гібридів.

*Відповідь: P: AAii x aaii; F<sub>1</sub>: 50% Aaii : 50% Aaii.*

11. Червоне забарвлення цибулини визначається домінантним алелем **A**, жовте — рецесивним алелем **a**. Однак ген забарвлення проявляється лише за наявності домінантного алеля іншого гена (**I**), рецесивний алель якого (**i**) пригнічує забарвлення, внаслідок чого цибулини утворюються білими. Рослина з червоною цибулиною схрещена з рослиною, яка має жовту цибулину. В потомстві з'явилися особини з червоними, жовтими й білими цибулинами. Визначте генотипи батьків і потомства.

*Відповідь: P: AaIi x aaIi;*

*F<sub>1</sub>: 1 AaII : 2 AaIi : 1 aaII : 2 aaIi : 1 Aaii:  
1 aaii*



12. Забарвлення мишей визначається двома генами. Домінантний алель одного гена (**C**) зумовлює сірий колір, його рецесивний алель (**c**) — чорний. Домінантний алель іншого гена (**I**) сприяє появі забарвлення, його рецесивний алель (**i**) пригнічує забарвлення. При схрещуванні сірих мишей між собою одержано 58 сірих і 19 чорних мишей. Визначте генотипи батьків.

*Відповідь:*        **CcIi x CcIi (CcIi)**

13. Схрещуються два сорти вівса. В одного зерно чорного кольору, що визначається генотипом **A<sub>1</sub>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>A<sub>2</sub>**. У другого — жовтого, що визначається генотипом **a<sub>1</sub>a<sub>1</sub>a<sub>2</sub>a<sub>2</sub>**. Рослини, що мають проміжний генотип, фенотипово відрізняються різними відтінками забарвлення (темно-сіре, сіре, світло-сіре). Визначте розщеплення за фенотипом при схрещуванні: **A<sub>1</sub>a<sub>1</sub>A<sub>2</sub>a<sub>2</sub> x A<sub>1</sub>a<sub>1</sub>A<sub>2</sub>a<sub>2</sub>**.

*Відповідь:* 1/16 чорних : 4/16 темно-сірих : 6/16 сірих : 4/16 світло-сірих:1/16 жовтих.

14. У мексиканського дога ген **a**, який викликає відсутність шерсті, в гомозиготному стані призводить до загибелі потомства. При схрещуванні двох нормальних догів частина потомства загинула. При схрещуванні того ж самця з іншою самкою загибелі потомства не було. Визначте генотипи батьків в обох випадках.

*Відповідь:*        **Aa x Aa; AA x Aa**

15. Лисиці з генотипом **Pp** мають платинове забарвлення, **pp** – сріблясте. Домінантний алель **P** має рецесивну летальну дію, тобто особини з генотипом **PP** нежиттєздатні. Яким буде потомство від схрещування платинової та сріблястої лисиць?

*Відповідь:* 50% платинових: 50% сріблястих.

16. Миші с генотипом **yy** – сірі, **Yy** – жовті, **YY** – гинуть на ембріональній стадії. Проведено два схрещування: а) жовтої миші із сірою; б) жовтої з жовтою. В якому випадку можна очікувати численніше потомство? *Відповідь:* у першому випадку.

17. У норок трапляється коричнева і срібляста шерсть. Схрещування сріблястих особин із коричневими зажди дає розщеплення 50% коричневих : 50% сріблястих. При схрещуванні коричневих норок між собою сріблясті особини ніколи не з'являються. Яким буде потомство від схрещування сріблястих норок між собою?

*Відповідь:* 50% сріблястих : 25% коричневих : 25% гине.

18. При схрещуванні між собою чубатих качок каченята виводяться лише з 3/4 яєць, а 1/4 ембріонів гине. Серед каченят, що вилупилися, 2/3 чубатих й 1/3 нормальних. Яким буде потомство від схрещування чубатих із нормальними?

*Відповідь:* 50% чубатих, 50% нормальних.

## **Генетика популяцій.**

Кожна популяція характеризується генетично структурою, тобто певним співвідношенням частот алелів (генотипів).

Розглянемо умовну популяцію, в якій співвідношення генотипів таке:

4 AA : 4 Aa : 2 aa

0,4 AA : 0,4 Aa : 0,2 aa

Частоти алелів:

$$A = 0,8 + 0,4 = 1,2$$

$$a = 0,4 + 0,4 = 0,8$$

**Ці алелі порівну розподіляються між чоловічими і жіночими гаметами. Якщо прийняти загальну кількість жіночих або чоловічих гамет за одиницю, то співвідношення гамет буде 0,6A : 0,4a . Тоді розщеплення в F<sub>1</sub>:**

♀	0,6 A	0,4 a
A	0,36 AA	0,24 Aa
a	0,24 Aa	0,16 aa

**Співвідношення генотипів у F<sub>1</sub>:            0,36 AA :  
0,48 Aa : 0,16 aa**

**Співвідношення алелів у F<sub>1</sub>:**

$$(0,72 + 0,48) A + (0,48 + 0,32) a = 1,2 A + 0,8 a$$

**Між жіночими та чоловічими гаметами ці алелі розподіляються з такою частотою:**

**жіночі - 0,6 A : 0,4 a**

**чоловічі - 0,6 A : 0,4 a**

**Тобто співвідношення гамет, які утворюють гібриди першого покоління, таке саме, як і в батьківських особин, а значить, співвідношення генотипів у другому поколінні буде таким, як у першому поколінні тощо.**

**Дану закономірність незалежно один від одного встановили Годфрі Харді та Вільгельм Вайнберг.**

**Закон Харді - Вайнберга: за певних умов співвідношення алелів у популяції залишатиметься сталим із покоління в покоління.**

**Частота алеля  $A$  позначається через  $p$ , частота алеля  $a$  - через  $q$ ;**

$p+q = 1$ ; **формула Харді - Вайнберга :**  $p^2AA + 2pqAa + q^2aa = 1$

## Приклади задач.

**Задача 1.** Визначте частоти домінантного та рецесивного алелів у групі особин, що складається з 60 гомозигот  **$BB$**  та 40 гомозигот  **$bb$** .

*Розв'язання.* Для того, щоб виразити частоти алелю  **$B$**  ( $p$ ) та  **$b$**  ( $q$ ) в частках одиниці, розділимо кількість алелів  **$B$**  або  **$b$**  на загальну кількість алелів ( **$B + b$** ):  $p = 120/200 = 0,6$   $q = 80/200 = 0,4$

**Задача 2.** В популяції кароокі індивідууми становлять 51 %, блакитноокі – 49%. Визначте процент домінантних гомозигот.

*Розв'язання.* Частота рецесивних гомозигот – 49%, або 0,49. Частота рецесивного алеля  $q = \sqrt{0,49} = 0,7$ . Частота домінантного алеля:  $p = 1 - q = 1 - 0,7 = 0,3$ . Частота домінантних гомозигот:  $p^2 = 0,3^2 = 0,09$ , тобто 9%.

**Задача 3.** Альбінізм у жита – рецесивна ознака. Серед 84000 рослин виявлено 210 альбіносів. Визначте відсоток гетерозиготних рослин.

*Розв'язання.* Частота рецесивних гомозигот:  $210/84000 = 1/400 = 0,0025$ . Частота рецесивного алеля:  $\sqrt{q^2} = \sqrt{0,0025} = 0,05$ . Частота домінантного алеля:  $p = 1 - q = 1 - 0,05 = 0,95$ . Відсоток гетерозиготних рослин:

$$2pq = 2 \times (0,95 \times 0,05) = 0,095, \text{ тобто } 9,5\%$$

### **Задачі для самостійного розв'язання.**

1. У популяції людини 16% індивідумів рецесивні, 84% – рецесивні. Визначте процент гетерозиготних чоловіків.

*Відповідь:* 24%

2. В Європі на 20 000 мешканців припадає один альбінос. Визначте процент гетерозиготних носії алелю альбінізму.

*Відповідь:* 1,4%

3. Анірідія (відсутність райдужної оболонки ока) успадковується як домінантна ознака й трапляється з частотою 1/10000. Визначте частоту гомозигот за рецесивним алелем.

*Відповідь:* 99,99%

4. Природжений вивих стегна визначається домінантним аутосомним алелем, який проявляється лише у 25% випадків. Захворювання трапляється з частотою 6 : 10 000. Визначте процент гомозиготних рецесивних індивідумів.

*Відповідь:* 99,76%.

5. В популяції собак виявлено 245 коротконогих тварин і 24 з нормальними ногами. Короткі ноги у собак – домінантна ознака (**A**), нормальна довжина ніг – рецесивна (**a**). Визначте частоти алелів **A** і **a** та генотипів **AA**, **Aa**, **aa** в цій популяції.

*Відповідь:* **A** – 0,7; **a** – 0,3; **AA** – 0,49; **Aa** – 0,42; **aa** – 0,09

6. До складу популяції входять 9% гомозигот **AA**, 49% гомозигот **aa** і 42% гетерозигот **Aa**. Визначте частоту алелів **A** і **a** в популяції.

*Відповідь:* **A** – 0,3; **a** – 0,7

7. Визначте частоти генотипів **AA**, **Aa** та **aa**, якщо гомозиготні рецесивні особини становлять 1%.

*Відповідь:* **AA** – 0,81; **Aa** – 0,18; **aa** – 0,01

8. Розрахуйте частоту домінантних і рецесивних алелів у групі, що складається зі 160 особин із генотипом **RR** і 40 особин із генотипом **rr**.

*Відповідь:* **R** – 0,8; **r** – 0,2.

9. Розрахуйте частоту домінантних і рецесивних алелів у популяції з частотами генотипів **AA** – 64%, **Aa** – 32%, **aa** – 4%.

*Відповідь:* **A** – 0,8; **a** – 0,2

10. Три групи особин мають такі частоти генотипів:

- а) 60% **AA**; 40% **aa**;
- б) 40% **AA**; 40% **Aa**; 20% **aa**
- в) 30% **AA**; 60% **Aa**; 10% **aa**

Визначте, які частоти генотипів **AA**, **Aa**, **aa** встановлюються в першому поколінні у кожній з цих груп.

*Відповідь:* в усіх трьох групах: 36% **AA**, 48% **Aa**, 16% **aa**.

### **Обмін речовин.**

*Метаболізм* (обмін речовин) – сукупність біохімічних перетворень у клітинах.

Метаболізм складається з двох протилежних процесів:

1. *Катаболізм* (дисиміляція, енергетичний обмін) – сукупність процесів розщеплення біологічних молекул.

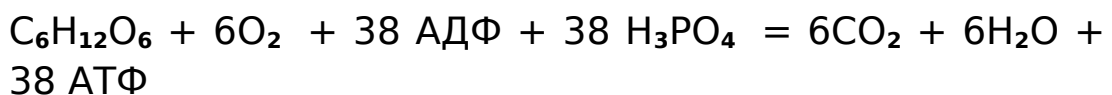
2. *Анаболізм* (асиміляція, пластичний обмін) – сукупність процесів синтезу біологічних молекул.

Існують два шляхи енергетичного обміну: дихання і бродіння.

*Дихання* – сукупність процесів розщеплення молекул органічних речовин за участю кисню.

Розглянемо перебіг біохімічного дихання на прикладі розщеплення молекули глюкози.

Загальне рівняння дихання:

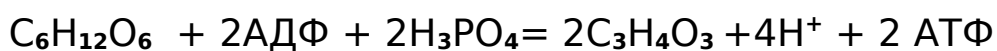


Кількість енергії, акумульованої в АТФ – 40 кДж/моль. При розщепленні одної молекули глюкози в АТФ акумулюється  $38 \times 40 = 1520$  кДж.

Етапи дихання: гліколіз, цикл Кребса, електронтранспортний ланцюг.

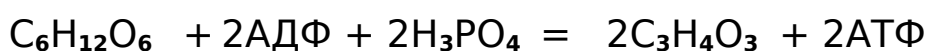
*Гліколіз* – розщеплення молекули глюкози на дві молекули пірвіноградної кислоти.

Загальне рівняння гліколізу:

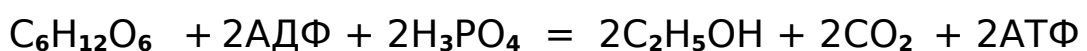


*Бродіння* – безкисневе розщеплення молекул органічних речовин.

Молочнокисле бродіння (на прикладі глюкози):



Спиртове бродіння (на прикладі глюкози):



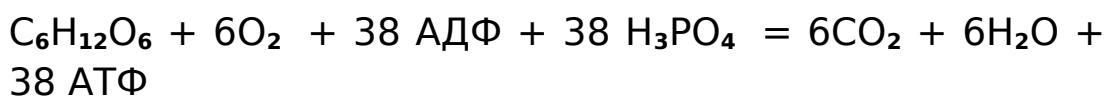
## *Приклади задач.*

**Задача 1.** Фрагмент ДНК складається з 462 нуклеотидів. В процесі трансляції для утворення одного пептидного зв'язку витрачається одна молекула АТФ. Визначте, скільки молекул глюкози має пройти повне розщеплення для забезпечення синтезу поліпептидного ланцюгу, закодованому в даному фрагменті ДНК.

*Розв'язання.* Молекула ДНК складається з двох ланцюгів. Оскільки інформація про певний поліпептид закодована тільки в одному ланцюзі, то кількість інформативних нуклеотидів:  $462 : 2 = 231$ .

Кількість триплетів (кодонів)  $231 : 3 = 77$ . Таким чином, відповідний поліпептид складається з 77 амінокислот. Для синтезу ланцюгу з 77 амінокислот необхідно 76 пептидних зв'язків.

Рівняння повного розщеплення молекули глюкози:



Отже, для утворення 76 пептидних зв'язків потрібно повне розщеплення  $76 : 38 = 2$ -х молекул глюкози.

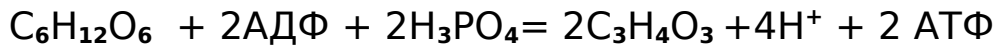
*Відповідь:* 2 молекули глюкози.

**Задача 2.** У процесі дисиміляції розщепилися 7 молів глюкози, з яких тільки 2 молі зазнали повного (кисневого) розщеплення. Визначте, скільки при цьому утворилося молів пірвиноградної кислоти, вуглекислого газу, АТФ.

*Розв'язання.* 2 молі глюкози зазнали кисневого розщеплення, 5 молів – безкисневого.

Рівняння безкисневого розщеплення:

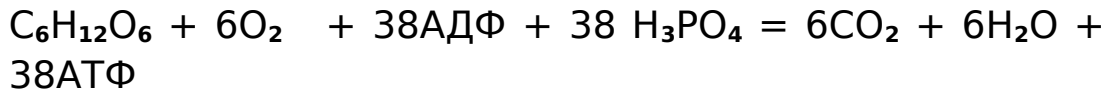




При безкисневому розщепленні 5-ти молів глюкози утворюються:

10 молів піровиноградної кислоти  $C_3H_4O_3$  і 10 молів АТФ.

Рівняння кисневого розщеплення:



При кисневому розщепленні 2-х молів глюкози утворюються:

12 молів  $CO_2$  і 76 молів АТФ.

Загальна кількість АТФ:  $76 + 10 = 86$  молів.

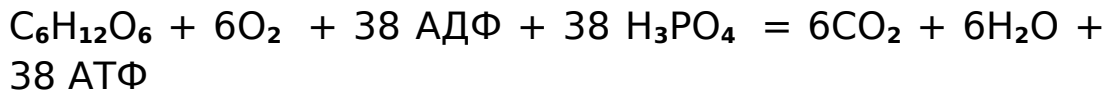
*Відповідь:* піровиноградна кислота - 10 молів; вуглекислий газ - 12 молів, АТФ - 86 молів.

**Задача 3.** Фрагмент ДНК складається з 462 нуклеотидів. У процесі трансляції для утворення одного пептидного зв'язку витрачається одна молекула АТФ. Визначте, скільки молекул глюкози повинно пройти повне розщеплення для забезпечення синтезу поліпептидного ланцюгу, закодованому в даному фрагменті ДНК.

*Розв'язання.* Молекула ДНК складається з двох ланцюгів. Оскільки інформація про певний поліпептид закодована тільки в одному ланцюзі, то кількість інформативних нуклеотидів:  $462 : 2 = 231$ .

Кількість триплетів (кодонів)  $231 : 3 = 77$ . Таким чином, відповідний поліпептид складається з 77 амінокислот. Для синтезу ланцюгу з 77 амінокислот необхідно 76 пептидних зв'язків.

Рівняння повного розщеплення молекули глюкози:



Отже, для утворення 76 пептидних зв'язків потрібно повне розщеплення  $76 : 38 = 2$  молекул глюкози.

*Відповідь:* 2 молекули.

**Задача 4.** В процесі енергетичного обміну утворилося 210 молекул АТФ. Повного розщеплення зазнали 5 молекул глюкози, а решта - пройшли лише безкисневий етап обміну (гліколіз). Скільки загалом молекул глюкози розщепилося?

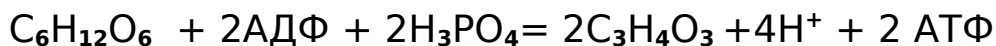
Рівняння повного розщеплення глюкози:



При повному розщепленні 5 молекул глюкози утворилось:  $38 \times 5 = 190$  АТФ

Кількість молекул АТФ, що утворилися на безкисневому етапі:  $210 - 190 = 20$  молекул

Рівняння безкисневого етапу розщеплення:



Кількість молекул глюкози, що розщепилися на безкисневому етапі:

$$20 : 2 = 10 \text{ молекул}$$

Загальна кількість глюкози:  $10 + 5 = 15$  молекул

*Відповідь:* 15 молекул глюкози.

### ***Задачі для самостійного розв'язання.***

1. У процесі дисиміляції відбулося розщеплення 6 моль глюкози, з яких кисневому розщепленню піддалася тільки половина. Визначте, скільки ут-

ворилося: грамів піровиноградної кислоти, грамів вуглекислого газу, молів АТФ ?

*Відповідь:* 540 г піровиноградної кислоти, 792 г вуглекислого газу, 120 молів АТФ.

2. У процесі дисиміляції утворились 220 г вуглекислого газу і 450 г піровиноградної кислоти. Визначте, скільки утворилося грамів глюкози і молів АТФ.

*Відповідь:* 600 грамів глюкози і 36,7 молів АТФ.

3. Внаслідок дисиміляції утворились 24 молі вуглекислого газу і 12 молів піровиноградної кислоти. Скільки молів АТФ синтезувалось і скільки молів глюкози було розщеплено при цьому?

*Відповідь:* 10 молів глюкози і 164 моля АТФ.

4. У процесі дисиміляції пройшло розщеплення 7 молів глюкози, з яких повного (кисневого) розщеплення зазнали тільки 2 молі.

Визначте: а) скільки утворилося молів піровиноградної кислоти, вуглекислого газу і АТФ; б) скільки молів  $O_2$  витрачено на окислення піровиноградної кислоти.

*Відповіді:* а) 10 молів піровиноградної кислоти, 12 молів вуглекислого газу, 86 молів АТФ; б) 12 молів  $O_2$ .

5. У процесі дисиміляції пройшло розщеплення 17 молів глюкози, з яких кисневому розщепленню піддалися 3 молі. Визначте: а) скільки утворилося молів піровиноградної кислоти, вуглекислого газу і АТФ; б) скільки енергії акумульовано в цих молекулах

АТФ; г) скільки молів кисню витрачено на окислення пірвіноградної кислоти.

*Відповіді:* а) 28 молів пірвіноградної кислоти, 18 молів вуглекислого газу, 142 молі АТФ; б) 5680 кДж енергії; в) 18 молів  $O_2$ .

6. Внаслідок дисиміляції утворилося 5 молів пірвіноградної кислоти і 27 молів вуглекислого газу.

Визначте: а) скільки молів глюкози витрачено загалом; б) скільки з них піддалося неповному, а скільки повному розщепленню; в) молів АТФ синтезовано і скільки енергії акумульовано; г) скільки молів  $O_2$  витрачено на окислення пірвіноградної кислоти.

*Відповіді:* а) 7 молів глюкози; б) 2,5 моля глюкози – неповне розщеплення і 4,5 моля глюкози – повне розщеплення; в) 176 молів АТФ, 7040 кДж енергії; г) 27 молів  $O_2$

7. Внаслідок дисиміляції утворилося 240 молів  $CO_2$  і 80 молів  $C_3H_4O_3$ . Скільки молів глюкози піддалося розщепленню і скільки утворилося молів АТФ?

*Відповідь:* 80 молів глюкози, 1600 молів АТФ.

8. Внаслідок дисиміляції утворилося 12 молів пірвіноградної кислоти і 42 молі. Визначте: а) скільки молів глюкози розщеплено; б) скільки молів АТФ синтезовано; в) скільки молів кисню витрачено на окислення пірвіноградної кислоти.

*Відповіді:* а) 13 молів глюкози; б) 278 молів АТФ; в) 42 моля  $O_2$

9. У процесі дисиміляції відбулося розщеплення 10 молів глюкози, з яких кисневому розщепленню піддалася тільки половина. Визначте, скільки грамів піровиноградної кислоти і вуглекислого газу утворилося внаслідок реакції. Скільки синтезувалося молів АТФ і яка кількість енергії акумульована в ній?

*Відповідь:* 880 грамів піровиноградної кислоти, 1320 грамів вуглекислого газу, 200 молів АТФ, 8000 кДж .

10. У процесі дисиміляції відбулося розщеплення 4 молей глюкози, з яких окисленню піддалися тільки 3 моля. Визначте: а) скільки утворилося молей молочної кислоти? б) скільки молей АТФ синтезовано? в) яка кількість енергії акумульована в АТФ? г) скільки молей  $C O_2$  утворилося? д) скільки витрачено молей  $O_2$ ?

*Відповіді:* а) 2 моля молочної кислоти ; б) 116 молей АТФ; в) 4640 кДж; г) 18 молей  $C O_2$  ; д) 18 молей  $O_2$

### **Основи екології.**

В різноманітних біогеоценозах взаємозв'язки між організмами виникають на основі потреб живлення і шляхів отримання енергії.

Перенесення енергії від її продуцентів через ряд споживачів називається *ланцюгом живлення (трофічним ланцюгом)*. Кожна з ланок ланцюга живлення може використати приблизно 10 % енергії для побудови маси свого тіла. Внаслідок втрати енергії кількість органічної речовини в кожній наступній ланці зменшується. Саме тому

певний ланцюг живлення містить, як правило, не більше 4—5 ланок.

*Екологічна піраміда* (або трофічна піраміда) — графічне подання зміни кількості біомаси або біологічної продуктивності на кожному трофічному рівні екосистеми.

Вважають, що від одного трофічного рівня до наступного кількість доступної енергії зменшується на порядок. На підставі цього було сформульовано *правило Ліндемана* або *правило 10*. Відповідно до цього правила кількість рослинної речовини, яка становить основу ланцюга живлення, приблизно в 10 разів більше, ніж маса рослиноїдних тварин, і кожний наступний харчовий рівень також має масу в 10 разів меншу. Хоча це правило широко використовується в навчальних задачах з екології, не слід забувати, що отримані розрахунки є досить умовними.

Розрізняють три типи екологічних пірамід:

1. *Піраміда чисел* — відображає чисельність окремих організмів на кожному трофічному рівні.

2. *Піраміда біомаси* — відображає кількість органічної речовини, синтезованої на кожному з трофічних рівнів. При розв'язанні задач враховують тільки суху масу, тобто від загальної маси організмів віднімають масову частку води.

3. *Піраміда енергії* — відображає величину потоку енергії через кожний трофічний рівень.

Для розв'язання деяких екологічних задач необхідно застосовувати правило «біологічного збільшення» (англ. – *biomagnification*). «Біологічне збільшення» – це зростання концентрації певної речовини (наприклад, отрутохімікату) в тканинах організмів на кожному наступному рівні трофічного ланцюгу. Внаслідок цього організми, що знаходяться в кінці ланцюгу, зазнають найбільшої шкоди від отрути або забруднювача.

### ***Приклади задач.***

Задача 1. Складіть ланцюг живлення з трьох ланок і визначте, скільки гектарів луки потрібно, щоб забезпечити життєдіяльність людини масою 58 кг (з них 66 % становить вода). Суха біомаса трави з 1 м<sup>2</sup> луки становить 200 г за рік.

*Розв'язання.*

1) Суха маса тіла людини:

$$58 \text{ кг} — 100\%; \quad x \text{ кг} — 34\%; \quad x = 19,72 \text{ кг.}$$

2) Ланцюг живлення: трава — корова — людина.

3) Маса трави: 19,72 кг (людина) — 197,2 кг (корова) — 1972 кг (трава).

4) Суха біомаса трави з 1 м<sup>2</sup> луки становить 200 г за рік, відповідно:

$$1 \text{ м}^2 — 0,2 \text{ кг}; \quad x \text{ м}^2 — 1972 \text{ кг}; \quad x = 9860 \text{ м}^2, \text{ тобто } 0,986 \text{ га.}$$

*Відповідь:* 0,986 га

Задача 2. Визначте площу ( $\text{м}^2$ ) біогеоценозу, в якому може прогодуватися вовк масою 55 кг (масова частка води — 70%). Розгляньте трофічний ланцюг: трава — парнокопитні — вовк.

*Розв'язання .*

1) Частка води складає:  $70\% = 38,5$  кг.

Суха маса вовка:  $55 \text{ кг} - 38,5 \text{ кг} = 16,5 \text{ кг}$ .

2) Маса парнокопитних:  $16,5 \text{ кг} \times 10 = 165 \text{ кг}$ .

3) Маса трави:  $165 \text{ кг} \times 10 = 1650 \text{ кг}$ .

4)  $1 \text{ м}^2$  — 0,2 кг трави.  $1650 \text{ кг трави} — 8250 \text{ м}^2$

*Відповідь:*  $8250 \text{ м}^2$

Задача 3. Визначте, яка площа (в гектарах) біогеоценозу може прогодувати одну особину останньої ланки ланцюгу живлення: планктон — риба — тюлень. Маса тюленя—300 кг, з них 40% становить вода. Суха маса планктону з  $1 \text{ м}^2$  становить 600 г за рік.

*Розв'язання.*

1). Суха маса тюленя:  $300 \text{ кг} — 100\%$

$\quad \quad \quad \times \text{ кг} — 60\% \quad \quad \times$

$= 180 \text{ кг}$

2). На підставі правила екологічної піраміди визначаємо відповідну масу планктону:

$180 \text{ кг (тюлень)} — 1800 \text{ кг (риба)} —$

$18000 \text{ кг (планктон)}$



3). Визначаємо площу даного біоценозу:

$$1 \text{ м}^2 \text{—} 0,6 \text{ кг}; \quad x \text{ м}^2 \text{—} 1800 \text{ кг}; \quad x = 3000 \text{ м}^2 = 3 \text{ га}$$

*Відповідь:* 3 гектари.

Задача 4. В зоопарку білого ведмедя годували рибою, яка живилась водоростями з вмістом 0,2 мг отрутохімікатів на тону. Чи може це зашкодити здоров'ю ведмедя, маса якого 600 кг (з них - 63 % води)? Допустима концентрація отрутохімікатів для ведмедя — 0,1 мг/кг.

*Розв'язання.*

Суха маса ведмедя - 378 кг. Відповідно до правила екологічної піраміди, на кожному трофічному рівні біомаса складає 10% від попереднього. Концентрація отрутохімікатів у рибі складає 2 мг на тону, а у ведмедя 20 мг на 378 кг = 0.052 мг/кг. Це менше допустимої концентрації, отже шкоди для здоров'я ведмедя не буде.

### ***Задачі для самостійного розв'язання.***

1. На підставі правила екологічної піраміди визначте, яка маса планктону може забезпечити існування дельфіна масою 3400 кг (масова

частка води - 60%). Розгляньте такий ланцюг живлення: планктон — риба — дельфін.

*Відповідь:* 136 000 кг.

2. Біомаса сухого сіна з 1 м<sup>2</sup> луки становить 200 г, а вико-вівсяного поля — 500 г. Використавши правило екологічної піраміди, визначте, скільки гектарів луки потрібно, щоб нагодувати протягом року одного школяра масою 52 кг (із них 63 % становить вода) при ланцюзі живлення трава — корова — людина і скільки для цього потрібно гектарів вико-вівсяного поля.

*Відповідь:* 0,96 га луки; 0,4 га вико-вівсяного поля.

3. Визначте, яка площа (га) відповідного біоценозу може прогодувати одну особину останньої ділянки в ланцюзі живлення:

а) планктон — синій кит (маса 100 т); б) планктон — риба — тюлень (300 кг); в) планктон — нехижі риби — щука (10 кг); г) планктон — риби — тюлень — білий ведмідь (500 кг); д) планктон — риби — рибоїдні птахи — орлан-білохвіст (5 кг); е) рослини — заєць — лисиця — вовк (50 кг); є) рослини — безхребетні водні тварині — короп (3 кг). 60% маси становить вода.

*Відповіді:* а) 27; б) 2 в) 0,07 г) 33 д) 0,33 е) 10  
є) 0,01

4. Яка площа планктону (га) може прогодувати білого пелікана (10 кг, 60 % становить вода) в ланцюгу живлення: планктон — риби — пелікан?

*Відповідь: 0,07 га.*

5. Яка площа планктону (га) може прогодувати одну особину останньої ділянки у ланцюзі живлення: водорості — риба — білий пелікан (12 кг, 60% становить вода)?

*Відповідь: 0,01га*

6. Розрахуйте (в га) площу ділянки степу, необхідного для життєдіяльності орла масою 5 кг, якщо продуктивність 1 м<sup>2</sup> території становить 200 г рослинної маси, а вміст води в ній - 65%. Схема трофічного ланцюгу: рослини — ховрах — вуж — орел

*Відповідь: 0,875 га*

7. Розрахуйте, скільки знадобиться фітопланктону (кг), щоб виросла щука масою 10 кг. Харчовий ланцюг: фітопланктон - зоопланктон - дрібна риба - окунь - щука.

*Відповідь: 100 000 кг*

8. Розрахуйте, яку біомасу рослин збереже від знищення гусінню пара синиць, вигодовуючи 4 пташенят масою по 5г. Яку частку загальної біомаси рослин це складатиме (в %), якщо площа збору гусені — 400 м<sup>2</sup>, а продуктивність рослин — 200г/м<sup>2</sup>.

*Відповідь:* 2 кг рослин або 2,5%

9. Визначте площу вико-вівсяного поля, необхідну, для підтримання життєдіяльності двох лисиць масою по 20 кг (вміст води становить 70%), якщо його продуктивність складає 500 г/м<sup>2</sup>. Скільки мишей з'їдять лисиці, якщо маса однієї миші в середньому дорівнює 70г (вміст води - 60%).

*Відповідь:* 1400 м<sup>2</sup>, 10000 мишей.

10. Розрахуйте, скільки знадобиться фітопланктону (кг), щоб виріс ведмідь масою 300 кг (харчовий ланцюг: фітопланктон - зоопланктон - дрібна риба - лосось - ведмідь), враховуючи що на кожному трофічному рівні завжди поїдаються тільки представники попереднього рівня.

*Відповідь:* 3000000 кг фітопланктону.

11. Розрахуйте який процент врожаю пшениці збережуть від поїдання польовими мишами дві сови масою по 2 кг на площі 10 га, якщо продуктивність 1 м<sup>2</sup> поля складає 1,2 кг пшениці. Скільки мишей з'їдять при цьому сови, якщо середня маса однієї миші - 80 г? *Відповідь:*

400 кг пшениці або 3,3% врожаю; 500 мишей.

12. Розрахуйте, скільки вовків може прогодуватися протягом року на площі 20 га (продуктивність 1 м<sup>2</sup> складає 300 г), якщо маса

одного вовка дорівнює в середньому 60 кг, з яких 60% — частка води. Скільки зайців буде з'їдено, якщо середня маса зайця — 1,5 кг?  
**Відповідь:** 17 вовків, 4000 зайців.

13. Визначте площу ( $\text{м}^2$ ) відповідного біогеоценозу, на якій може прогодуватися лев масою 150 кг. Ланцюг живлення: трав'янисті рослини — парнокопитні — лев. Біомаса рослинності савани становить  $750 \text{ г/м}^2$ .

**Відповідь:** 20 000  $\text{м}^2$

**Первинна біологічна продуктивність деяких біогеоценозів**

Організми	Біогеоценоз	Суха маса (в г на $1 \text{ м}^2$ )
Донна рослинність	Прісноводне водоймище або море	1000
Наземна рослинність	Лука або степ	200
Наземна рослинність	Пустеля	40
Зернові культури	Поле	500 - 800
Цукрова тростина	Плантація	3000 - 5000
Опале листя	Діброва	400
Дерева	Листяні ліси	2500 - 3000
Дерева	Хвойні ліси	1500 - 1600
Дерева	Тропічні ліси	5500 - 6500

### Маса консументів у деяких біогеоценозах

Організми	Біогеоценоз	Суха маса (в г на 1 м <sup>2</sup> )
Планктон	Прісноводне водоймище або море	600
Риби	Прісноводне водоймище або море	15
Ґрунтова фауна	Діброва	100
Травоїдні ссавці	Діброва	1

### ЛІТЕРАТУРА

1. Адріанов В.Л. Біологія: розв'язування задач з генетики. Київ, 1996.
2. Барна І.В., Барна М.М., Барна Л.С. Біологія. Задачі та розв'язки. Тернопіль, 2008.
3. Голда Д.М., Решетняк Т.А. Збірник задач з біології. Київ, 2006.
4. Соколовская Б.Х. 120 задач по генетике. Москва, 1991.

5. Хелевин Н.В., Лобанов А.М., Колесова О.Ф.  
Задачник по общей и медицинской генетике.  
Москва, 1984.
6. Збірник задач і вправ з біології / Під ред. А.Д.  
Тимченка. Київ, 1992.
7. Кириленко А.А. Биология: сборник задач по  
генетике. Базовый и повышенный уровни ЕГЭ.  
Москва, 2009.
8. Песецкая Л.Н., Гончаренко Г.Г., Острейко Н.Н.  
Сборник задач по генетике. Гомель, 2002.
9. Алтухов Ю.П. и др. Сборник задач по общей  
генетике. Москва, 2005.
10. Бутвиловский В.Э., Заяц Р.Г., Рачковская И.В.  
Сборник задач по общей и медицинской генетике.  
Минск, 2002.