

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА  
БІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЇ БІОЛОГІЇ, БІОХІМІЇ ТА ГЕНЕТИКИ

**ГЕНЕТИКА.  
РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ  
НА УСПАДКОВУВАННЯ ОЗНАК,  
ЗЧЕПЛЕНИХ ЗІ СТАТТЮ**

ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
до самостійної роботи для здобувачів вищої освіти  
першого (бакалаврського) рівня навчання  
зі спеціальностей 091 «Біологія»,  
162 «Біотехнології та біоінженерія»,  
204 «Садово-паркове господарство»

ОДЕСА  
ОНУ  
2024

**УДК 575.116(072)**  
**Г34**

**Укладачі:**

**С. В. Білоконь**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри молекулярної біології, біохімії та генетики Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;

**Т. Г. Алексєєва**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри молекулярної біології, біохімії та генетики Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;

**О. Л. Січняк**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри молекулярної біології, біохімії та генетики Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

**Рецензенти:**

**О. Ф. Делі**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри зоології, гідробіології та загальної екології Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;

**Ю. С. Назарчук**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки, фізіології рослин та садово-паркового господарства Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

*Рекомендовано вченою радою  
біологічного факультету ОНУ імені І. І. Мечникова.  
Протокол № 5 від 16.03.2023 р.*

**Г34**      **Генетика.** Розв'язання задач на успадковування ознак, зчеплених зі статтю [Електронний ресурс] : електрон. метод. рекомендації до самост. роботи для здобувачів першого (бакалавр.) рівня навчання зі спец. 091 «Біологія», 162 «Біотехнології та біоінженерія», 204 «Садово-паркове господарство» / уклад.: С. В. Білоконь, Т. Г. Алексєєва, О. Л. Січняк ; за ред. О. Л. Січняка. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2024. – 22 с. – 0,7 МБ.

*Методичні рекомендації розроблені відповідно до вимог навчальної програми з дисципліни «Генетика» для здобувачів першого рівня вищої освіти за спеціальностями 091 «Біологія», 162 «Біотехнології та біоінженерія», 204 «Садово-паркове господарство». Мета видання – допомогти студентам засвоїти алгоритми розв'язання задач на зчеплене зі статтю успадковування та краще розібратися в матеріалі з теми на реальних прикладах зчепленого зі статтю успадковування у ряду добре вивчених біологічних об'єктів.*

**УДК 575.116(072)**

## ВСТУП

Вміння розв'язувати задачі є невід'ємною частиною успішного опанування студентами класичної генетики. Студенти мають засвоїти термінологію та алгоритми розв'язання задач та набути навичок самостійного їх вирішення та правильного оформлення. Дані вказівки присвячені розділу «Стать та зчеплене зі статтю успадковування». Дещо довільна назва видання – **Розв'язання задач на успадковування ознак, пов'язаних зі статтю** – пов'язане з тим, що крім зчеплених зі статтю ознак (тобто X-зчеплених, Z-зчеплених та голандричних) розглядаються також випадки успадковування ознак, залежних від статі, ознак, обмежених статтю, а також випадки успадковування, коли стать визначається рівнем плоїдності жіночої та чоловічої статі ( $2n-n$ ). Ці випадки нерідко залишаються поза увагою.

Крім того, з посібника до посібника кочують помилкові твердження, пов'язані із успадковуванням забарвлення хутра у кішок. Вважаємо за необхідне звернути увагу студентів, що тут має місце явище дозової компенсації, яке властиве ссавцям. Цитогенетичним механізмом цього явища є лайонізація другої X-хромосоми у самиць.

## УСПАДКОВУВАННЯ ОЗНАК, ПОВ'ЯЗАНИХ ЗІ СТАТТЮ

У роздільностатевих видів стать майбутньої особини визначається здебільшого в момент запліднення (*сингамний* тип визначення статі) завдяки певній комбінації в зиготі статевих хромосом, так званих X та Y. Стать, що визначається наявністю однакових статевих хромосом і утворює однаково диференційовані за статтю гамети, називається гомогаметною. Стать, що визначається двома відмінними статевими хромосомами і утворює два типи гамет, – гетерогаметна стать. У багатьох систематичних груп організмів (ссавців, більшості земноводних, певної частини риб, ракоподібних, більшості комах, хробаків, більшості дводомних рослин) спостерігається гомогаметність жіночої статі (XX), а чоловіча стать відповідно є гетерогаметною (XY). У птахів, плазунів, деяких земноводних, частини риб, комах (лускокрилі, волохокрильці), деяких дводомних рослин жіноча стать – гетерогаметна, а чоловіча стать – гомогаметна. У таких випадках X-хромосому позначають літерою Z, а Y-хромосому – літерою W, тоді жіноча стать позначається ZW, а чоловіча – ZZ. Відмінності за статевими хромосомами у представників одного виду можуть бути не тільки якісними, але й кількісними. У самців деяких морських хробаків, клопів, перетинчастокрилих, в яких у хромосомному наборі відсутня Y-хромосома, гомогаметною є жіноча стать (XX), а гетерогаметною – чоловіча (X0). У деяких лускокрилих в ході еволюції втрачена W-хромосома і гетерогаметна жіноча стать позначається як ZO. У організмів із сингамним типом визначення статі ознака, зчеплена зі статтю є менделюючою і підпорядковується закономірностям аналізуючого схрещування. Наприклад:

$$P: \text{♀ } XX \times \text{♂ } XY$$

$$G: \quad X \quad X, Y$$

$$F_1: 1 XX : 1 XY \text{ (50 \% самок і 50 \% самців).}$$

Розвиток ознак статі у дрозофіл (*Drosophila melanogaster* Meigen) з аномальним набором хромосом залежить від балансу генів, які знаходяться в X-хромосомі та аутосомах (балансова теорія

визначення статі). Співвідношення кількості X-хромосом та аутосом (X/A) у нормальних самців становить – 0,5, нормальних самок – 1, інтерсексів – 0,67, надсамців (суперсексів) – 0,33, надсамок (суперсексів) – 1,5.

Ознаки, гени яких локалізовані в статевих хромосомах, назвали ознаками, зчепленими зі статтю. Алельні гени, що детермінують дані ознаки, позначають стандартними символами (зокрема великою або малою літерою латинського алфавіту залежно від того, домінують чи рецесивна це ознака) у верхньому індексі поряд з позначенням статевої хромосоми, у якій міститься даний алель. Наприклад, рецесивний алель, що визначає розвиток гемофілії, міститься в X-хромосомі і його позначають  $X^h$ , а домінують алель нормального з'єднання крові позначається  $X^H$ .

Жіноча особина за ознакою, зчепленою зі статтю, може бути гомозиготною ( $X^A X^A$ ,  $X^a X^a$ ) або гетерозиготною ( $X^A X^a$ ). Чоловіча особина може бути лише гемізиготною ( $X^A Y$  або  $X^a Y$ ), оскільки в її генотипі з пари алельних генів присутній лише один алель (гемізиготний стан). Рецесивний алель, зчеплений з X-хромосою, у особин жіночої статі фенотипово проявляється лише в гомозиготному стані, у чоловіків (за умови локалізації в негомологічній ділянці X-хромосоми) – завжди проявиться у фенотипі. У зв'язку з тим, що природні популяції містять мутації, які знижують життєздатність, то особини гетерогаметної статі частіше мають знижену пристосованість.

У ссавців жіночі особини в кожній соматичній клітині мають дві X-хромосоми, одна з яких «вимкнена» (неактивна). X-хромосоми інактивуються на ранній стадії ембріонального розвитку, при цьому в різних клітинах вони вимикаються випадково. Зупинимося на детермінації забарвлення хутра у кішок (*Felis catus* L.). Ген *O* блокує синтез еумеланіну (чорного пігменту), внаслідок чого синтезується лише оранжевий феомеланін. Алель *o* допускає синтез еумеланіна і за рахунок взаємодії з іншими генами у кішок утворюється чорне хутро. У гетерозиготних особин  $X^O X^o$  в одних клітинах проявляється хромосома  $X^O$ , в інших –  $X^o$ , тому такі особини мають чорно-руде,

або черепахове забарвлення. Фенотиповий вигляд тварин за такого успадковування зводиться до наступних варіантів – двокольорове чорно-руде і трикольорове – біло-чорно-руде (рис. 1). Поява білих плям на хутрі обумовлене дією ще одного, не зчепленого з Х-хромосою гена. Його домінуючий алель *S* зменшує здатність меланобластів (попередників пігментують клітин-меланоцитів досягти волосяні фолікули в деяких ділянках шкіри, внаслідок чого в хутрі з'являються білі плями.



**Рис. 1. Двокольорове (черепахове, а) і трикольорове (каліко, б) варіанти забарвлення кішок**

Черепаховий колір шерсті властивий тільки самкам, тому що самці мають одну Х-хромосому. При успадковуванні ген, що визначає певну ознаку і локалізований у Х-хромосомі, передається від батька лише до дочок, а від матері – до синів і дочок порівну (так зване «крис-крос успадковування»). Ми зупинилися так докладно на цьому прикладі, тому що у багатьох задачниках є помилкове трактування цього явища. По-перше, черепаховим вважають лише трикольоровий варіант, а по-друге, намагаються пояснити таке забарвлення у самиць або неповним домінуванням, або кодомінуванням, що не відповідає дійсності. Для порівняння: при неповному домінуванні у суниці прояв фенотипу залежить від дози

гену (рецесивні гомозиготи мають білі ягоди, гетерозиготи – рожеві, а домінантні – червоні); при кодомінуванні в усіх ділянках організму проявляються одночасно обидва гени (у людей з групою крові АВ на поверхні еритроцитів є одночасно два типи антигенів).

З X-хромосоною у людини (*Homo sapiens* L.) зчеплена значна кількість важких спадкових хвороб: гемофілія (знижена згортальна здатність крові), дальтонізм (порушення кольорового світосприймання), відсутність потових залоз, аномалія метаболізму пуринів, деякі захворювання шкіри (фолікулярний гіперкератоз), деякі форми агаммаглобулінемії (відсутність або знижений рівень імуноглобулінів у сироватці крові), темна емаль зубів, відсутність малих кутніх зубів, пігментний дерматоз («мармурова» пігментація шкіри), форми затримки розумового розвитку тощо. Такі захворювання успадковуються за принципом «навхрест»: синами – від матері, дочками – від батька. Переважна більшість спадкових захворювань детермінована рецесивними генами (тобто є рецесивними ознаками), при цьому в особи з генотипом  $X^aY$  і  $X^aX^a$  прогресує спадкова хвороба, а особи з генотипом  $X^AX^a$  є гетерозиготними носіями цих захворювань. Крім того, деякі гени, що детермінують розвиток спадкових хвороб, у гомозиготному стані спричинюють летальний ефект, тому індивіди з генотипом  $X^aX^a$  гинуть в ембріональному стані.

Ознаки, зчеплені з Y-хромосоною, зустрічаються винятково в особин чоловічої статі, бо Y-хромосому від батька успадковують лише сини (за умови гетерогаметності чоловічої статі). Тому цей тип успадковування називається голандричним, а ознаки, зчеплені з Y-хромосоною, – голандричними. У людини за цим типом успадковуються деякі відхилення від норми, зокрема шкірні перетинки між пальцями, густе оволосіння вушних раковин, утворення рогових лусок на шкірі (іхтіоз) тощо.

Внаслідок недосконалої дивергенції статевих хромосом в X та Y хромосомах залишаються гомологічні області, так що вони навіть здатні до кон'югації. В таких областях локалізовані алельні гени, з типовими принципами взаємодії, однак успадковування ускладнене

особливостями розподілу X та Y хромосом. Це варіант успадковування, частково зчепленого зі статтю.

У деяких комах, наприклад бджіл, самки диплоїдні, а самці – гаплоїдні, оскільки розвиваються без запліднення, партеногенетично. Таким чином, у диплоїдних самок є два гени, що детермінують ознаку, а у гаплоїдних самців – один ген.

У гермафродитних квіткових рослин (рослин, які мають і жіночі, і чоловічі генеративні органи) інколи не утворюється насіння. Цим створюються умови для перехресного запліднення і підтримання гетерозиготності. Це явище називається самонесумісністю і контролюється геном  $S$  і численними його алелями  $S_1, S_2, S_3, S_4$  і т. ін. Пилкове зерно запліднює яйцеклітину лише тоді, коли зливаються контрастні алельні гени.

Виділяють також ознаки, залежні від статі, та ознаки, обмежені статтю. В першому випадку домінантність-рецесивність ознаки залежить від статі. Так, плішивість є домінантною ознакою у чоловіків та рецесивною – у жінок. У баранів наявність рогів є домінантною ознакою, а у овець – рецесивною. Отже, в наведених прикладах однакові за генотипом самці та самиці відрізняються за фенотипом.

У випадку ознак, обмежених статтю, мова йде про ознаки, гени яких є як у самок, так і у самців. Однак фізіологічні особливості організму дозволяють їм проявитися лише у особин однієї статі. Наприклад, ознаки удійності та жирномолочності у корів, яйценосність у курей проявляються лише у самиць, хоча гени, що детермінують зазначені ознаки, присутні і у самців. Це враховується в селекційній роботі, коли оцінку самців по досліджуваній ознаці провадять по їх дочкам або сестрам.

При розв'язанні задач, в яких мова йде про успадковування ознак, зчеплених зі статтю, доцільно аналізувати окремо потомство чоловічої і жіночої статі.

## Приклади розв'язання задач

**Задача 1.** Дві червоноокі особини дрозюфіли з сірим тілом при схрещуванні між собою дали наступне потомство: самки: 146 червонооких з сірим тілом, 52 червонооких з чорним тілом; самці: 83 червонооких з сірим тілом, 86 білооких з сірим тілом, 24 червонооких з чорним тілом, 22 білооких з чорним тілом. Яка генетична обумовленість цих ознак? Визначити генотипи батьків і нащадків.

*Розв'язання:*

Проаналізуємо успадковування кожної ознаки окремо.

*Забарвлення очей:* Оскільки в  $F_1$  розщеплення спостерігається лише у самців, припустимо успадковування, зчеплене зі статтю. Розщеплення у самців: червонооких –  $83 + 24 = 107$ , білооких –  $86 + 22 = 108$ . Отже, розщеплення відбувається у співвідношенні приблизно 1:1.

Таке розщеплення свідчить про моногенне успадковування ознаки та про гетерозиготність материнської особини. Оскільки ознака зчеплена зі статтю, домінування можна встановити за гетерозиготними самками  $F_1$ . Оскільки у першому гібридному потомстві усі самки червоноокі, робимо висновок, що домінує червоне забарвлення очей над білим. Вводимо позначення алелів:  $X^{w+}$  – червоне забарвлення очей,  $X^w$  – білий колір очей; генотип батьківських форм: самки –  $X^{w+}X^w$ , самця –  $X^{w+}Y$ .

*Колір тіла:* В  $F_1$  розщеплення у самок і самців за цією ознакою приблизно однакове: самки 154 з сірим тілом: 48 з чорним тілом; самці: 169 ( $83 + 86$ ) з сірим тілом : 46 ( $24 + 22$ ) з чорним тілом. Всього за всіма особинами : з сірим тілом – 315 ( $146 + 169$ ), з чорним тілом – 98( $52 + 46$ ). Разом: 413 ( $315 + 98$ ). Розщеплення свідчить про гетерозиготність вихідних мух і про те, що ця ознака не зчеплена зі статтю. Оскільки спостерігається розщеплення на два класи з переважанням ознаки сіре тіло, припускаємо моногенне успадковування. Визначаємо величину одного сполучення гамет

у розщепленні:  $413 : 4 = 103,25 \sim 103$ . Визначаємо розщеплення в досліді:  $315 : 103 = 3,06$ ;  $98 : 103 = 0,95$ , тобто приблизно 3:1. Перевіряємо гіпотезу про моногенне успадкування з розщепленням 3:1 за методом  $\chi^2$  ( $\chi^2 = 0,76 < \chi^2_{0,05} = 3,841$ ). Розходження фактичного розщеплення за цими ознаками та теоретично очікуваного є недостовірним. Вводимо позначення алелів:  $e^+$  – ген, що визначає сіре тіло,  $e$  – ген, що визначає чорне тіло; генотипи і самки, і самця за цією ознакою:  $e^+e$ .

*Тепер аналізуємо розщеплення за двома ознаками.* За висунутою нами нульовою гіпотезою ( $H_0$ ) ознаки успадковуються незалежно, тобто одна з них зчеплена зі статтю, інша успадковується за аутосомним типом. Очікуване розщеплення: за самцями: (1 червонооких : 1 білооких)  $\times$  (3 сіре тіло : 1 чорне тіло) = 3 червонооких з сірим тілом : 3 білооких з сірим тілом : 1 червонооких з чорним тілом : 1 білооких з чорним тілом; у самок розщеплення відбувається тільки за аутосомним геном, що контролює колір тіла, у співвідношенні 3 сірих : 1 чорних. Перевіряємо розщеплення у самців за  $\chi^2$ : ( $\chi^2 = 1,59$ ;  $\chi^2_{0,05} = 3,841$ ). Отже,  $\chi^2$  не відкидає гіпотези. Відповідь: забарвлення очей контролюється одним геном, локалізованим в X-хромосомі, червоне забарвлення домінує над білим. Колір тіла контролюється одним геном, локалізованим в аутосомі, сірий колір домінує над чорним. Ознаки успадковуються незалежно. Генотипи батьківських форм: самка –  $X^{w+}X^w e^+e$ , самець –  $X^{w+}Y e^+e$ .

**Задача 2.** При схрещуванні курей із сріблястим кольором пір'я з півниками із золотистим кольором пір'я в  $F_1$  усі півники мали сріблястий колір пір'я, а усі кури – золотистий. Як успадковується ознака. Які результати ви очікуєте у  $F_2$ ? Яких нащадків можна отримати в  $F_1$  та  $F_2$  від схрещування тих же порід, але курей із золотистим кольором пір'я з півниками із сріблястим кольором пір'я?

*Розв'язання.* Ми маємо справу з системою реципрокних схрещувань. У прямому схрещуванні (сріблясті кури  $\times$  золотисті

півники) успадковування відбулося хрест-навхрест. Отже, ознака зчеплена зі статтю. Не забуваємо, що у птахів гетерогаметною є жіноча стать. Запишемо схему схрещування:

	Пряме	Зворотне
P	$\text{♀ } Z^A W \times \text{♂ } Z^a Z^a$	$\text{♀ } Z^a W \times \text{♂ } Z^A Z^A$
F <sub>1</sub>	$\text{♀ } Z^A W$ (золотисті); $\text{♂ } Z^A Z^a$ (сріблясті)	$\text{♀ } Z^A W$ (сріблясті); $\text{♂ } Z^A Z^a$ (сріблясті)
G	$\text{♀ } Z^a, W; \text{♂ } Z^A, Z^a$	$\text{♀ } Z^A, W; \text{♂ } Z^A, Z^a$
F <sub>2</sub>	$\text{♀ } Z^A W$ (сріблясті), $Z^a W$ (золотисті); $\text{♂ } Z^A Z^a$ (сріблясті), $Z^a Z^a$ (золотисті)	$\text{♀ } Z^A W$ (сріблясті), $Z^a W$ (золотисті); $\text{♂ } Z^A Z^A$ (сріблясті), $Z^A Z^a$ (сріблясті)

Таким чином, ми встановили, що ознака кольору пір'я зчеплена зі статтю (в даному випадку Z-зчеплена). Алель, який визначає сріблястий колір пір'я, домінує над алелем, який визначає золотистий колір пір'я.

**Задача 3.** При схрещуванні червоної самки акваріумної рибки орізи японської з білим самцем у F<sub>1</sub> усі рибки були червоними, а у F<sub>2</sub> спостерігали 293 червоних рибки обох статей та 107 білих самців. У зворотному схрещуванні в F<sub>1</sub> з'явилося 162 червоних самки та 171 білий самець. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних риб. Яке розщеплення очікується серед 400 риб F<sub>2</sub> від зворотного схрещування?

*Розв'язання.* Відмінність результатів реципрокних схрещувань дає підставу підозрювати, що досліджена ознака зчеплена зі статтю. Як зазначалося вище, у певної частини риб спостерігається гомогаметність жіночої статі (XX), а чоловіча стать відповідно є гетерогаметною (XY). В той же час, у деяких групах риб жіноча стать – гетерогаметна (ZW), а чоловіча стать – гомогаметна (ZZ).

Розглянемо варіант, у якому у досліджуваних риб гомогаметна жіноча стать:

P	♀ $X^A X^A$ (черв.) × ♂ $X^a Y$ (біл.)	♀ $X^a X^a$ (біл.) × ♂ $X^A Y$ (черв.)
F <sub>1</sub>	♀ $X^A X^a$ – червоні; ♂ $X^A Y$ – червоні	♀ $X^A X^a$ – червоні; ♂ $X^a Y$ – білі
G	♀ $X^A, X^a$ ; ♂ $X^A, Y$	♀ $X^A, X^a$ ; ♂ $X^a, Y$
F <sub>2</sub>	♀ $X^A X^a$ – червоні ♂ $X^A Y$ – червоні, ♂ $X^a Y$ – білі	♀ $X^A X^a, X^a X^a$ ; ♂ $X^A Y, X^a Y$

Розглянемо варіант, коли гетерогаметною є жіноча стать:

	Пряме	Зворотне
P	♀ $Z^A W$ (черв.) × ♂ $Z^a Z^a$ (біл.)	♀ $Z^a W$ (біл.) × ♂ $Z^A Z^A$ (черв.)
F <sub>1</sub>	♀ $Z^a W$ (білі); ♂ $Z^A Z^a$ (червоні)	♀ $Z^A W$ (червоні); ♂ $Z^A Z^a$ (червоні)
G	♀ $Z^a, W$ ; ♂ $Z^A, Z^a$	♀ $Z^A, W$ ; ♂ $Z^A, Z^a$
F <sub>2</sub>	♀ $Z^A W$ (червоні), $Z^a W$ (білі); ♂ $Z^A Z^a$ (червоні), $Z^a Z^a$ (білі)	♀ $Z^A W$ (червоні), $Z^a W$ (білі); ♂ $Z^A Z^A$ (червоні), $Z^A Z^a$ (білі)

Як бачимо, варіант з гомогаметною жіночою статтю повністю задовольняє умовам задачі. У F<sub>1</sub> від прямого схрещування усі рибки мають червоне забарвлення, а в F<sub>2</sub> усі самки червоні, а серед самців відбувається розщеплення 1 червоні : 1 білі. У зворотному схрещуванні в F<sub>1</sub> відбувається успадковування крис-крос: усі самки червоні, а самці – білі. Серед 400 рибок F<sub>2</sub> від зворотного схрещування, очікується 100 червоних самок, 100 білих самок, 100 червоних самців і 100 білих самців за умови що усі рибки F<sub>2</sub> мають достатній рівень живлення (є повідомлення, що при 5-денному голодуванні через нестачу ліпідів, здатних перешкодити утворенню насінників, самиці здатні фенотипово перетворюватися у самців).

Варіант з гетерогаметною жіночою статтю протирічить умовам задачі.

**Задача 4.** При схрещуванні кішок з різним забарвленням шерсті було одержано розщеплення:

P	♀ чорні × ♂ руді	♀ руді × ♂ чорні
F <sub>1</sub>	♀ черепахові, ♂ чорні	♀ черепахові, ♂ руді
F <sub>2</sub>	♀ черепахові і чорні, ♂ чорні і руді	♀ черепахові і руді, ♂ чорні і руді

Визначити генотипи форм, що схрещуються, і локалізацію генів.

*Розв'язання:* Наявність відмінностей у результатах реципрокних схрещувань в F<sub>1</sub> свідчить, що гени можуть бути локалізовані в статевих хромосомах. Оскільки в F<sub>1</sub> та в F<sub>2</sub> з'явилися самки черепахового забарвлення, робимо висновок, що вони є гетерозиготами:

$$P_{\text{(пряме)}} : X^O X^o \times X^O Y$$

чорні      руді

$$F_1 : X^O X^o \times X^O Y$$

черепахові чорні

$$F_2 : X^O X^o; \quad X^O X^O; \quad X^O Y; \quad X^o Y$$

чорні      черепахові      руді      чорні

Якщо наше припущення є вірним, то в іншому напрямі реципрокних схрещувань можна записати очікувані результати і порівняти їх з одержаними в досліді:

$$P_{\text{(зворотне)}} : X^O X^O \times X^o Y$$

руді      чорні

$$F_1 : X^O X^o \times X^O Y$$

черепахові руді

$$F_2 : X^O X^o : X^O X^O : X^O Y : X^o Y$$

черепахові руді      чорні      руді

Отже, ген, що відповідає за руде забарвлення шерсті локалізований в X-хромосомі.

*Відповідь:* генотипи батьківських форм : 1) ♀ X<sup>O</sup>X<sup>o</sup>, ♂ X<sup>O</sup>Y;  
2) ♀ X<sup>O</sup>X<sup>O</sup>, ♂ X<sup>o</sup>Y.

**Задача 5.** Чоловік-дальтонік одружився з жінкою-носієм кольорової сліпоти. Чи можна очікувати у цьому шлюбі здорового сина? Дочки із колірною сліпотою? Яка ймовірність однієї та іншої події?

*Розв'язання:* пригадаємо, що колірну сліпоту викликає рецесивний ген, який прийнято позначати латинською літерою  $d$  і який знаходиться у X-хромосомі. Відповідно, домінантний алель, що визначає нормальний кольоровий зір людини –  $D$ . Отже, у жінок може бути три різні комбінації генів:  $X^D X^D$  – здорові,  $X^D X^d$  – носії та  $X^d X^d$  – хворі на дальтонізм. У чоловіків можливі два варіанти:  $X^D Y$  – здорові та  $X^d Y$  – хворі.

Записуємо генотипи батьків. Вони нам відомі за умови завдання:

♀  $X^D X^d$  ♂  $X^d Y$

Записуємо гамети, які утворюватимуть батьківські форми (гетерозиготна за даною ознакою жінка даватиме два типи гамет, чоловічі гамети також будуть двох типів):

$X^D, X^d; X^d, Y$

Визначаємо генотипи дітей:

♀  $X^D X^d, X^d X^d$ ; ♂  $X^D Y, X^d Y$

Таким чином, ймовірність народження від такого шлюбу дівчат-носіїв ознаки складає 25 %, ймовірність народження дівчат-дальтоніків – 25 %, ймовірність народження здорових синів – 25 % та ймовірність народження синів-дальтоніків – 25 %.

**Задача 6.** У шлюбі батьків з нормальним зором народилися дві доньки з нормальним зором та син-дальтонік. Визначте генотипи батьків.

*Розв'язання:* оскільки за умовами задачі батьки мають нормальний зір, ми можемо однозначно визначити генотип батька –  $X^D Y$ . Щодо матері можливі два варіанти генотипу – або домінантна гомозигота ( $X^D X^D$ ), тобто здорова, або гетерозигота ( $X^D X^d$ ), тобто

носій. Але нам відомо, що у цієї пари народився син-дальтонік. Який міг отримати ген  $d$  лише від матері, отже вона є носієм гена дальтонізму, гетерозиготою ( $X^D X^d$ ). Дочки від цього шлюбу можуть бути або здоровими – домінантними гомозиготами ( $X^D X^D$ ), або носіями ознаки – гетерозиготами ( $X^D X^d$ ).

**Задача 7.** У людини гемофілія детермінована зчепленим зі статтю рецесивним геном  $h$ . Мати та батько здорові. Їхня єдина дитина страждає на гемофілію. Хто із батьків передав дитині ген гемофілії?

*Розв'язання:* домінантний алель  $H$  визначає нормальне згортання крові, а рецесивний  $h$  нездатний забезпечити нормальне згортання крові, тобто викликає захворювання.

Оскільки за умовою батьки дитини здорові, генотип батька –  $X^H Y$ . А мати є гетерозиготою –  $X^H X^h$ . Таким чином, усі дівчата цієї родини будуть або здоровими – домінантними гомозиготами, або носіями-гетерозиготами. Хворим може бути лише хлопчик, який одержав ген  $h$  від своєї матері –  $X^h Y$ .

**Задача 8.** Відстань між генами гемофілії та дальтонізму – 9,8 сантиморган. Здорова дівчина, мати якої – дальтонік, а батько-гемофілік, виходить заміж за здорового чоловіка. Визначте, яка ймовірність (у відсотках) появи в цій сім'ї синів, які страждають на два захворювання одночасно.

*Розв'язання:* визначаємо генотипи батьків. Одну X-хромосому дівчина отримала від матері, іншу – від батька. Разом із хромосомою матері вона отримала ген дальтонізму, а з хромосомою батька – ген гемофілії. А оскільки дівчина здорова, то другі алелі цих генів будуть домінантними. Щодо юнака, то тут усе однозначно – він здоровий.

Записуємо гамети, що утворюють батьки. Гени дальтонізму та гемофілії розташовані в одній хромосомі. Тому дигетерозиготна мати

утворюватиме два типи некросоверних гамет –  $X^{Hd}$  і  $X^{hD}$ . За умовою задачі гени гемофілії та дальтонізму розташовані на відстані 9,8 сантиморган, отже між ними відбувається кросинговер із частотою 9,8 %. Таким чином, з'являються кросоверні гамети  $X^{HD}$  та  $X^{hd}$ . Їхня загальна кількість – 9,8 %, тобто по 4,9 % кожного типу. Батько утворює лише два типи гамет з вірогідністю по 50 % –  $X^{HD}$  та  $Y$ .

В задачі запитується, яка ймовірність появи в цій сім'ї синів, які страждають на два захворювання одночасно. Оскільки гамет з обома рецесивними генами – 4,9 %, значить і ймовірність народження синів із двома захворюваннями – 4,9 % від частки усіх синів.

**Задача 9.** Рecessивний ген, що контролює розвиток аномальної квітки у куколиці (*Melandrium* sp.) частково зчеплений зі статтю, тобто його алелі знаходяться як в X, так і в Y-хромосомі. Якого розщеплення за фенотипом слід очікувати в реципрокних схрещуваннях від схрещування рослин з нормальними і аномальними квітками?

*Розв'язання:* Введемо позначення:  $A$  – норма,  $a$  – аномалія.

Запишемо схему схрещування:

P	♀ $X^A X^A$ × ♂ $X^a Y^a$	♀ $X^a X^a$ × ♂ $X^A Y^A$
F <sub>1</sub>	♀ $X^A X^a$ ; ♂ $X^A Y^a$	♀ $X^A X^a$ ; ♂ $X^a Y^A$
F <sub>2</sub>	♀ $X^A X^a$ ; ♂ $X^A Y^a$ ; $X^a Y^a$	♀ $X^A X^a$ ; $X^a X^a$ ; ♂ $X^A Y^A$ ; $X^a Y^A$

Розщеплення за фенотипом у F<sub>1</sub> в обох реципрокних схрещуваннях відсутнє, всі рослини – гетерозиготи з нормальними квітками. В F<sub>2</sub> відбувається розщеплення як за генотипом, так і за фенотипом: в прямому схрещуванні аномальні квітки утворюються тільки у чоловічих рослин ( $X^a Y^a$ ), а у зворотному – тільки у жіночих ( $X^a X^a$ ). Таким чином, як в прямому, так і в зворотному схрещуванні розщеплення йде в співвідношенні 3/4 рослин з нормальними і 1/4 – з аномальними квітками, проте в прямому схрещуванні аномальні квітки будуть лише у чоловічих рослин, а у зворотному – у жіночих.

**Задача 10.** Ген-інгібітор плямистості листя ( $A$ ) у куколиці (*Melandrium* sp.) успадковується з  $Y$ -хромосомою. Визначте розщеплення в  $F_1$  від схрещування рослин з плямистими і неплямистими листями.

*Розв'язання:* Ген  $A$  розташований в  $Y$ -хромосомі, в  $X$ -хромосомі відсутній, отже, зазначений ген визначає голандричну ознаку, генотип жіночої рослини –  $XX$ , чоловічої –  $XY^A$ . Схема схрещування:

$$P: XX \times \text{♂}XY^A$$

$$F_1: \text{♀}XX : \text{♂}XY^A$$

Таким чином, в  $F_1$  усі жіночі рослини мають плямисті листя, а чоловічі – неплямисті.

**Задача 11.** Перетинчастопалість передається через  $Y$ -хромосому. Визначити можливі фенотипи дітей від шлюбу перетинчастопалого чоловіка та нормальної жінки.

*Розв'язання.* Генотип чоловіка –  $XY^A$ , оскільки він несе ген перетинчастопалості (ген можна позначати і великою, і малою літерою, оскільки поняття домінантності чи рецесивності у даному випадку немає сенсу, мова йде про гемізиготи). Генотип жінки –  $XX$ , оскільки у неї відсутня  $Y$ -хромосома, яка містить ген перетинчастопалості.

$$P \text{♀}XX \text{ (нормальна)} \times \text{♂}XY^A \text{ (перетинчастопалий)}$$

$$G \quad \_X \qquad \qquad \qquad X : Y^A$$

$$F_1 \text{♀}XX \text{ (нормальна)} : \text{♂}XY^A \text{ (перетинчастопалий)}$$

Отже, всі дівчатка будуть здорові, а хлопчики будуть перетинчастопалими.

**Задача 12.** Ген, який контролює наявність і відсутність рогів у дорсетської і суффолдської порід вівець, характеризується зміною домінування: гетерозиготні барани рогаті, а ярки – безрогі (комолі,



самки й чорного кота? Схрестили чорну самку з рудим котом. Чи будуть у потомстві особини з рудим кольором хутра?

3. Кожен з двох незчеплених генів – *vermillion* (*v*) и *cardinal* (*cd*) в гомозиготному стані визначають у дрозофіли яскраво-червоний колір очей. Ген *v* розташований у X-хромосомі, а ген *cd* – в аутосомі. Яке розщеплення виявиться у F<sub>1</sub> та F<sub>2</sub> при реципрокних схрещуваннях мух *vv* та *cdcd*.

4. Відомо, що нестача утворення статевих гормонів у чоловіків обумовлена рецесивним алелем гена, локалізованого в Y-хромосомі, який детермінує синтез НУ-антигена. Як буде успадковуватися зазначена вада в ряді поколінь?

5. Коулман із співробітниками дослідили, як спостерігається у бронзових індичок рідкісна аномалія – своєрідне тремтіння тіла. Ознака є спадковою і одержала назву «вібрування». Життєздатність цих птахів була нормальною. При схрещуванні між собою аномальних птахів народжувалися лише аномальні нащадки. Але ж, коли аномальних індиків схрещували з нормальними індичками, то в F<sub>1</sub> усі індички вібрували, а індики були нормальними. Як пояснити це явище?

6. Серед нащадків нормальних корови та бугаю було троє телят чоловічої статі без шерсті та одна нормальна телиця. Ще один безшерстий бичок народився від зворотного схрещування цієї нормальної телиці з її нормальним батьком, від якого з іншими неродинними коровами було одержано 180 нормальних телят. Чи можна на основі цих даних визначити, як успадковується ознака відсутності шерсті? Напишіть можливі генотипи всіх особин, представлених у задачі.

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

**8.** Відомо, що у деяких порід курей смугасте забарвлення пір'я успадковується як Z-зчеплена домінантна ознака, а біле забарвлення – рецесивна ознака. У господарстві одержано 215 смугастих курок, 209 смугастих півнів, 217 білих курок і 226 білих півнів. Визначте генотипи і фенотипи вихідних батьківських форм.

**9.** У їздця *Moroniella* самки розвиваються з запліднених яєць ( $2n$ ), а самці – з незапліднених ( $2n$ ) з наступною диплоїдизацією соматичних клітин. Гетерозиготна самка ( $Aa$ ), схрещується з самцем, який має рецесивний алель зазначеного гена. Яке розщеплення ви очікуєте отримати у нащадків  $F_2$  та  $F_3$  цього схрещування, якщо відомо: алель  $A$  неповно домінує над алелем  $a$ .

**10.** Батько дівчини страждає на гемофілію, а мати має нормальне згортання крові і походить з родини, благополучної відносно цього захворювання. Дівчина виходить заміж за здорового юнака. Що можна сказати про їхніх дочок та синів?

**11.** Які діти можуть народитися від шлюбу гемофіліка з жінкою, яка страждає на дальтонізм, а в іншому має благополучний генотип?

**12.** У людини класична гемофілія успадковується як зчеплена з X-хромосоною рецесивна ознака. Альбінізм у людини зумовлений аутосомним рецесивним геном. У однієї подружньої пари, нормальної за цими двома ознаками, народився син із обома аномаліями. Визначте генотип батьків та дитини.

**13.** При схрещуванні сірих самок акваріумних рибок гупі із строкато забарвленим самцем у першому поколінні отримані сірі самки та строкаті самці у співвідношенні 1:1. Таке саме співвідношення спостерігалось у всіх наступних поколіннях. Як пояснити отримані результати?

**14.** Облисіння, що починається з чола, є ознакою, домінантною у чоловіків і рецесивною у жінок (тому лисі чоловіки зустрічаються частіше). Ознака кодується аутосомним геном. Гетерозиготний

плішивий чоловік одружився з жінкою з нормальним волоссям, мати якої була лисою. Визначити можливі генотипи потомства.

**15.** У чоловіків аутосомний ген плішивості  $S$  проявляється як домінантний, а у жінок – як рецесивний. Жінка, яка має лисого брата, виходить заміж за лисого чоловіка. Батько жінки також був лисий. У них народився нормальний син і дочка, що рано облісіла, яка вийшла заміж за нормального чоловіка. Яка ймовірність народження сина, схильного до раннього облісіння, у цієї пари?

**Більше задач для самостійного розв’язання можна знайти:**

1. Адріанов В. Л. Збірник задач з генетики: [збірник/ за заг. ред. д. п. н., професора В. В. Вербицького]. Київ, «НЕНЦ», 2017. 95 с.
2. Афанасьєва К. С., Рушковський С. Р., Безруков В. Ф., Демидов С. В. Лабораторний практикум з генетики. Посібник для студентів біологічного факультету. Київ: “Фітосоціоцентр”, 2010. 77 с.
3. Генетика з основами селекції: Лабораторний практикум / укладачі О. Т. Лагутенко, Н. П. Чепурна. К.: Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2017. 160 с.
4. Лановенко О. Г. Збірник задач з генетики: Посібник для вчителів середніх загальноосвітніх навчальних закладів. Херсон: ХДУ, 2011. 174 с.
5. Федоренко В. О., Черник Я. І., Максимів Д. В., Боднар Л. С. Задачі та вправи з генетики: Навч. посібник. Львів: Оріяна-Нова, 2008. 598 с.
6. Шевчук Т. О. Генетика статі людини, тварин та рослин: Навч. посіб. для студ. вищ. пед. навч. закл. / Т. О. Шевчук, Е. О. Жигульова. Кам'янець-Подільський: Медобори, 2003. 98 с.

*Навчальне видання*

**ГЕНЕТИКА.  
РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ  
НА УСПАДКОВУВАННЯ ОЗНАК,  
ЗЧЕПЛЕНИХ ЗІ СТАТТЮ**

**ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
до самостійної роботи для здобувачів вищої освіти  
першого (бакалаврського) рівня навчання  
зі спеціальностей 091 «Біологія»,  
162 «Біотехнології та біоінженерія»,  
204 «Садово-паркове господарство»

**Електронне практичне видання**

***Укладачі:***

**Білоконь Світлана Василівна  
Алексєєва Тетяна Григорівна  
Січняк Олександр Львович**

*В авторській редакції*

Затвердж. авт. 16.03.2023. Шрифт Times New Roman.  
Системні вимоги: операційна система сумісна з програмним забезпеченням  
для читання файлів формату PDF.  
Обсяг 0,7 МБ. Зам. № 2747.

Видавець і виготовлювач  
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.  
65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12, Україна  
Тел.: (048) 723 28 39, e-mail: druk@onu.edu.ua