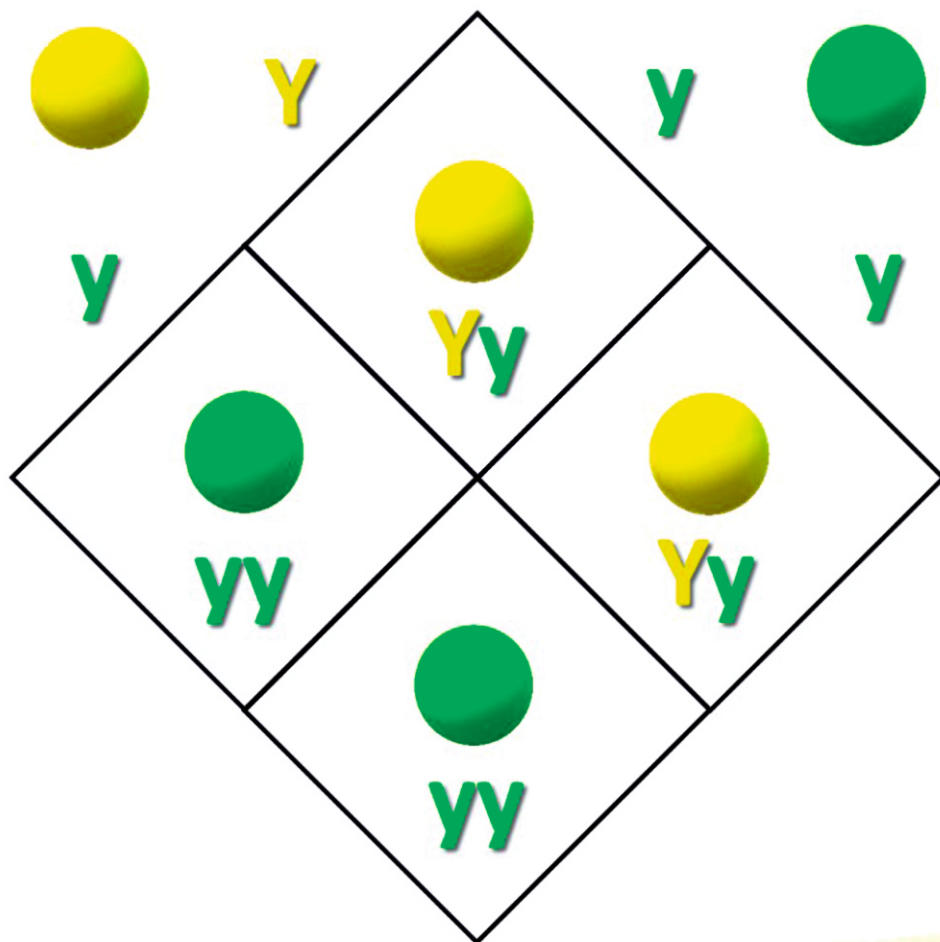


Р.А. Волков, Л.С. Язловицька

ГЕНЕТИКА



Збірник задач

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

Р.А. Волков, Л.С. Язловицька

ГЕНЕТИКА

Збірник задач



Чернівці

Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича

2023

УДК 575(076.3)
В 676

Друкується за ухвалою Вченої ради
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
(Протокол № 15 від 27 грудня 2023 року)

Рецензенти:

Булик Р. Є. – доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри медичної біології та генетики Вищого державного навчального закладу України «Буковинський державний медичний університет»;

Чеботар С.В. – доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НААН України, завідувач кафедри молекулярної біології, біохімії та генетики Одеського національного університету імені І.І. Мечнікова

Волков Р.А., Язловицька Л.С.

В 676 Генетика: збірник задач / Р.А. Волков, Л.С. Язловицька. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. 204 с.

ISBN 978-966-423-825-7

У навчальному посібнику викладені задачі з генетики, які допомагають засвоїти теоретичний матеріал, застосовувати генетичні знання на практиці, проводити генетичні дослідження, розвивають генетичне мислення.

Представлені задачі згруповані по розділах, на початку яких поданий теоретичний матеріал основних розділів генетики, передбачених навчальною програмою курсу. Наведено приклади розв'язування типових задач, інструктивно-методичні матеріали, відповіді до задач, таблиці й схеми, які представлені в додатку.

Для студентів біологічних факультетів університетів, медичних і ветеринарних інститутів, аспірантів, викладачів та осіб, що займаються самоосвітою.

УДК 575(076.3)

ISBN 978-966-423-825-7

© Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича, 2023
© Р.А. Волков, Л.С. Язловицька, 2023

ЗМІСТ

Вступ	4
Методика розв'язування задач	5
Задачі на моно- та дигенне успадкування ознак.....	11
Моногібридне схрещування.....	11
Ди- та полігібридне схрещування.....	26
Дигенне успадкування. Взаємодія неалельних генів...	42
Успадкування при зчепленні генів та кросинговері.....	61
Успадкування ознак, зчеплених зі статтю	76
Генетика популяцій.....	87
Мінливість.....	99
Генетика людини.....	108
Додаток.....	129
Генетичний словник.....	153
Відповіді до задач.....	167
Список літератури.....	202

ВСТУП

Генетика – нормативна дисципліна підготовки фахівців біологічного напрямку. На основі вивчення курсу студент повинен знати матеріальні основи спадковості; основні закономірності спадковості та мінливості; особливості успадкування за розташування генів у статевих хромосомах та позахромосомне успадкування; генетику статі; генетичні основи онтогенезу, еволюції, селекції, екології; особливості генетики людини та перспективи практичного використання сучасних досягнень генетики; основи генетичного аналізу. При вивченні генетики студент повинен вміти аргументовано пояснити особливості успадкування залежно від взаємодії між генами, впливу чинників довкілля; складати логічні схеми експерименту для генетичного аналізу успадкування ознак; розв'язувати задачі з генетики.

У навчальному посібнику викладено задачі з генетики, які допомагають засвоїти теоретичний матеріал, застосовувати генетичні знання на практиці, проводити генетичні дослідження, розвивають генетичне мислення. Подані задачі згруповані за розділами, на початку яких розглянуті теоретичні засади основних розділів генетики, які передбачені навчальною програмою курсу. Наведено приклади розв'язування типових задач, інструктивно-методичні матеріали, таблиці та схеми.

Посібник містить додаток, в якому наведено характер успадкування основних ознак у рослин, тварин і людини; короткий опис моногенних хвороб людини й тип їх успадкування, а також основні генетичні терміни.

Представлений матеріал розрахований для самостійної роботи студентів біологічних факультетів університетів, медичних і ветеринарних інститутів, аспірантів і наукових співробітників, які спеціалізуються з напрямків генетика, молекулярна генетика, біотехнологія, біохімія тощо; а також учнів середніх навчальних закладів із поглибленим вивченням біології.

Методика розв'язування задач

Методологічна основа генетики – генетичний аналіз, який використовують для розв'язування задач. Логіка генетичного аналізу зводиться до пропозиції гіпотез (*нульова гіпотеза*) на основі відомих «модельних» розщеплень та їх статистичної перевірки. Теорія генетичного аналізу пов'язана з побудовою логічних, математичних, експериментальних моделей, які допомагають зрозуміти суть генетичних процесів і явищ. Важлива частина генетичного аналізу – вивчення успадкування окремих ознак, а саме: типу успадкування (ядерне чи позаядерне); загальної кількості генів, які контролюють дану ознаку; типу взаємодії цих генів, хромосомну локалізацію генів; генотипи особин, котрі вивчаються; механізм дії генів тощо.

В генетиці є задачі за такими розділами:

1. Моногенне успадкування ознак: моно- та полігібридне схрещування.
2. Дигенне успадкування ознак: взаємодія між неалельними генами.
3. Зчеплене успадкування і кросинговер. Тетрадний аналіз.
4. Успадкування ознак, зчеплених зі статтю.
5. Позаядерне успадкування.
6. Мінливість: успадкування ознак при різних типах мутацій.
7. Популяційна генетика.
8. Молекулярна генетика.
9. Генетика людини: складання та аналіз родоводів.

В основі розв'язування задач лежить генетичний аналіз представлених даних. Залежно від характеру успадкування алгоритм розв'язування змінюється.

Розв'язок будь-якої генетичної задачі починається з визначення аналізованих ознак.

До розв'язання задач на моногенне та дигенне успадкування існують однакові методичні підходи. Всі задачі такого типу успадкування умовно можна поділити на два види:

1. Задачі, в яких необхідно визначити характер успадкування ознаки на основі аналізу розщеплення, а саме:

- ✓ з'ясувати число генів, які контролюють ознаку (моно- чи дигенне успадкування);
- ✓ тип взаємодії генів (для алельних – *домінування, проміжне успадкування, кодомінування, множинний алелізм*; для неалельних – *епістаз, комплементарність, полімерія*);
- ✓ тип успадкування (незалежне, зчеплене, зчеплене зі статтю).

Приклад: Від схрещування рослин пшениці з червоним колоском з рослинами з білим колоском в першому поколінні всі рослини мали червоний колосок, а в другому одержано 139 рослин з червоним і 53 рослини з білим колоском. Як успадковується ознака? Встановіть генотипи вихідних рослин. Яка частина рослин в F_2 з червоним колоском повинна бути гомозиготною за цією ознакою?

2. Задачі, в яких необхідно на основі відомих даних про успадкування, визначити генотипи і фенотипи, розрахувати появу у нащадків того чи іншого генотипового та фенотипового класу.

Приклад: У вівса імунність до головні домінує над вразливістю до цієї хвороби. Яке потомство буде отримане від схрещування гомозиготних імунних і вразливих головнею рослин? Що буде отримано від схрещування між собою таких гібридів? Який результат дасть зворотне схрещування рослин F_1 з батьківською імунною формою?

Розв'язування задачі необхідно починати з короткого запису умови задачі.

Під час розв'язання задач 1-го типу умова записується у вигляді словесного скороченого позначення ознак (чорний – чорн., білий – біл., тощо), 2-го - за допомогою фенотипових радикалів (А-, В-, А-В- тощо).

Необхідна умова при розв'язанні задач із кількома ознаками – проведення аналізу успадкування кожної ознаки окремо і тільки після цього – аналізу успадкування всіх ознак одночасно, з'ясовуючи зчеплені вони чи комбінуються незалежно.

При розв'язку задачі необхідно: знати генетичну теорію і генетичну символіку; вміти правильно виписувати гамети; пам'ятати елементарні формули розщеплення та причини відхилення від них; знати формули, за якими знаходять число типів гамет, фено- та генотипів у розщепленні та число їх можливих поєднань.

Рішення задач 1-го типу включає:

1. Короткий запис умови.
2. Аргументовану пропозицію нульової гіпотези (H_0).
3. Визначення розщеплення у досліді на основі H_0 -гіпотези.
4. Перевірку відповідності результатів дослідів теоретично очікуваним на основі H_0 гіпотези.
5. Аргументоване введення генів і визначення на їх основі фенотипів та генотипів.
6. Відповідь на всі поставлені в задачі запитання.

Рішення задач 2-го типу включає:

1. Короткий запис умови.
2. Аргументоване пояснення запропонованих генотипів.
3. Запис схеми схрещування у вигляді генотипів з наступним аналізом гено- і фенотипів нащадків.
4. Відповідь на всі поставлені в задачі питання.

При розв'язуванні задач необхідно врахувати, що

- ✓ за одноманітності гібридів першого покоління вихідні батьківські форми гомозиготні;
- ✓ розщеплення в F_1 свідчить про гетерозиготність обох чи одного з батьків;
- ✓ кількість фенотипових класів і співвідношення між ними у нащадків свідчить про тип взаємодії між алельними та неалельними генами;
- ✓ гени можуть здійснювати плеiotропну дію, тобто знижувати життєздатність чи в гомозиготному стані бути несумісними з життям (летальними).

При розв'язку задач (для запису схем схрещувань фенотипів і генотипів особин) використовують спеціальні генетичні символи:

P (або PP) – батьківські форми, які використовують для схрещування (від лат. *parenta* – батьки). Під час написання схем схрещування на першому місці прийнято ставити материнську форму.

x – знак множення, який означає схрещування;

♀ – жіноча стать (дзеркальце богині Венери);

♂ – чоловіча стать (щит і спис бога Марса).

F₁, F₂ – гібридні покоління (від лат. *filli* – діти), де цифровий індекс показує порядковий номер гібридного покоління.

F_a, F_b – гібридні покоління, де буквенний індекс – покоління аналізуючого та зворотного схрещування відповідно.

Гени позначають буквами латинського алфавіту:

A – домінантний алель гена;

a – рецесивний алель гена;

AA – домінантна гомозигота;

aa – рецесивна гомозигота;

Aa – гетерозигота за однією ознакою.

Крім того, у генетиці використовують спеціальну генетичну номенклатуру. Наприклад, для дрозофіли, кукурудзи, аскоміцетів тощо. В основу її покладено назву, яка відображає мутантну ознаку й символ. **Номенклатурний символ** – це скорочена назва даної мутації. Символ і назву рецесивної мутації пишуть із малої, а домінантної – з великої букви. Наприклад, у дрозофіли рецесивна мутація **vestigial** (зародкові крила) – **vg**, у кукурудзи домінантна мутація **Virescent seedling** (проростки світло-жовті) – **V₄**. Фенотип і генотип диких форм вважають нормальними, їх позначають або знаком +, або символом мутації з індексом +: **vg⁺, w⁺**.

Оцінка достовірності даних

Для перевірки відповідності нульової гіпотези необхідно оцінити величину відхилення даних, представлених у задачі, від теоретично розрахованого. Для цього використовується метод χ^2 (хі-квадрат) Пірсона–Фішера:

$$\chi^2 = \sum \frac{(p-q)^2}{q},$$

де p – число, отримане в досліді та представлене в умові задачі,

q – число, яке теоретично очікується,

$\sum$ – знак суми.

Значення χ^2 , наведене в таблиці Фішера, указує ті межі, до яких отримані значення χ^2 залишаються з певною вірогідністю в рамках випадкових відхилень, тобто свідчать про відповідність дослідних і теоретично очікуваних даних (визначають імовірність того, наскільки дане відхилення закономірне чи випадкове) (табл. 1).

Таблиця 1

Значення χ^2 за різних ступенів свободи (за Фішером, зі скороченням)

Число ступенів свободи	Імовірність (p)						
(n – 1)	0,99	0,95	0,80	0,50	0,20	0,05	0,01
1	0,000157	0,0393	0,0642	0,455	1,642	3,841	6,635
2	0,101	0,103	0,446	1,386	3,219	5,991	9,210
3	0,115	0,352	1,005	2,366	4,642	7,815	11,341
4	0,297	0,711	1,649	3,357	5,989	9,488	13,277
5	0,554	1,145	2,343	4,351	7,289	11,070	15,086
6	0,872	1,635	3,070	5,348	8,588	12,592	16,812
7	1,239	2,167	3,822	6,346	9,803	14,067	18,475

У таблиці значення ймовірності подані в частках одиниці. Значення χ^2 наведене для семи ступенів свободи. При цьому число ступенів свободи під час аналізу класів розщеплення завжди на одиницю менше, ніж кількість класів. Під *ступенем свободи* розуміють кількість класів, яким можна надавати довільні значення. Якщо кількість класів позначити n , то число ступенів свободи

дорівнюватиме $n-1$. Отже, щоб встановити відповідну ймовірність за таблицею Фішера, необхідно обчислити величину χ^2 і визначити ступінь свободи. Прийнято вважати, що при ймовірності **вище 0,05 відхилення незначні**, при ймовірності **в межах 0,05–0,01 – результати сумнівні**, при ймовірності **нижче 0,01 відхилення в досліді не випадкове**, воно не може бути пояснене причинами статистичного характеру й нульову гіпотезу потрібно відкинути.

Приклад: у ході проведеного експерименту одержано 275 мух, серед яких 199 – з червоними очима і 76 – з коричневими. За нульовою гіпотезою успадкування моногенне. Згідно з II законом Менделя, розщеплення за фенотипом у даному разі відповідає 3:1. Отже, очікувана частка мух із червоними очима складає $\frac{3}{4}$, з коричневими – $\frac{1}{4}$. Позначення: p – практично одержаний результат, q – теоретично очікуваний. Значення q розраховується, використовуючи суму нащадків, отриману у досліді, та очікувану частку розщеплення по фенотипових класах. Так, очікувана частка коричневих мух складає $275 \times \frac{1}{4} = 69$ особин, а червонооких $275 - 69 = 206$ особин. Заносим результати до таблиці.

№ п/п	Фенотипові класи	Очікувана частка	p	Q	$p - q$	$(p - q)^2$	$(p - q)^2/q$
1.	Червонооки	$\frac{3}{4}$	199	206	7	49	0,24
2.	Коричневооки	$\frac{1}{4}$	76	69	7	49	0,71
	Σ		275	275	0	0	0.95

Інші підрахунки проводимо, використовуючи вищезазначену формулу. Отже, $\chi^2 = 0,95$ (за даними таблиці). Визначаємо число ступенів свободи для даного прикладу. Оскільки в досліді два фенотипових класи ($n = 2$), число ступенів свободи: $n - 1 = 2 - 1 = 1$. Шукаємо значення p за $n = 1$: $0,2 < p < 0,5$.

При $p > 0,05$ одержане відхилення – випадкове. Отже, в експерименті підтверджується II закон Менделя.

При розв'язанні задач студент повинен провести обробку за методом χ^2 повністю.

У прикладах розв'язку задач не наводиться обробка даних за методом χ^2 , дається лише кінцевий результат на основі його визначення.

Задачі на моно- та дигенне успадкування ознак

Моногібридне схрещування

Теоретична частина

Моногібридне схрещування – це схрещування особин з альтернативним проявом ознаки, зумовленої дією алельної пари генів. На основі моногібридного схрещування Мендель сформулював перші два закони успадкування ознак. **Перший закон Менделя** – закон домінування, або *одноманітності* ознак у гібридів першого покоління.

Під час схрещування чистих ліній перше покоління (F₁) одноманітне за генотипом і фенотипом.

P: ♀ AA x ♂ aa
G: A a
F₁: Aa

Особини першого покоління за фенотипом були подібні лише на одну з батьківських форм. Іншого фенотипу немає. Ознака, яка проявлялась у F₁, названа Г.Менделем **домінантною**, інша – **рецесивною**.

Другий закон Менделя – закон розщеплення ознак.

Під час схрещування гібридів першого покоління між собою у другому поколінні (F₂) спостерігається розщеплення з появою особин рецесивного фенотипу, частка яких складає 1/4 від загальної кількості особин у поколінні.

P: ♀ Aa x ♂ Aa
G: A, a A, a
F₂: AA, 2Aa, aa

За моногібридного схрещування виявляється закономірність щодо кількісного співвідношення різних класів фенотипів і генотипів у F_2 . Розщеплення в даному разі за генотипом складає: $1AA+2Aa+1aa$ (1:2:1), а за фенотипом 3:1. Зазначена закономірність може порушуватися через випадкове утворення чи поєднання гамет, різну життєздатність гамет і гібридів, взаємодію між алельними генами (неповне домінування, кодомінування тощо), їх хромосомну локалізацію (аутосоми чи статеві хромосоми) та ін.

За моногібридного схрещування ознаку визначає пара алельних генів.

Алельними називають гени, які розташовані в **однакових** локусах **гомологічних** хромосом, які детермінують альтернативний прояв **однієї ознаки**. Розрізняють наступні типи взаємодії між алельними генами: повне домінування, неповне домінування, кодомінування та міжалельна комплементация. **Неповне домінування** – це тип взаємодії між алельними генами, за якого одна алель гена неповністю домінує над іншим. За таких умов у гібридів (F_1) спостерігається проміжний у порівнянні з батьківськими формами фенотип. **Кодомінування** – це тип взаємодії між алельними генами, за якого у гетерозиготного організму виявляються ознаки обох алельних генів. Прикладом кодомінування є успадкування АВ групи крові у людини. Особини з даною групою мають генотип – $I^A I^B$, тобто в генотипі одночасно наявні обидва домінантні гени: I^A та I^B . Групи крові у людини – це приклад не тільки явища кодомінування, але й поліалельності: ген, який визначає ознаку перебуває у триалельному стані: i^0 , I^A та I^B ($I^A > i^0$; $I^B > i^0$). Гени та генотипи групи крові людини наведені у додатку.

При **множинному алелізмі** ген, котрий контролює ознаку, перебуває в поліалельному стані. Множинний алелізм характерний для популяційного рівня. За множинного алелізму має місце міжалельна комплементация, характерна для компаундів. Генотип останніх є гетерозиготним за двома мутантними алелями одного і того ж локусу має свій фенотиповий прояв і ступінь домінантності. Приклад поліалельної взаємодії генів – успадкування забарвлення хутра у кролів. Ряд домінантності поліалельних генів у популяції

має такий вигляд: $C > c^{ch} > c^h > c^a$ (дикий тип > шиншила > гімалайський > альбінос).

Деякі ознаки, які успадковуються за моногенним типом у рослин, тварин і людини, наведені у додатку.

На початку ХХ сторіччя Р. Пеннет запропонував зручну форму (решітку) для зображення випадкового поєднання різних класів гамет у момент запліднення. Для моногібридного схрещування решітка Пеннета виглядає так:

Гамети гетерозиготних батьків	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa
Сума генотипів	AA + 2Aa + aa	

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ

Приклад № 1. При схрещуванні між собою чорних мишей завжди отримують чорних нащадків. При схрещуванні між собою жовтих мишей завжди відбувається розщеплення – $\frac{1}{3}$ нащадків виявляються чорними і $\frac{2}{3}$ жовтими. Як успадковується забарвлення? Чому відбувається розщеплення при схрещуванні жовтих мишей? Як перевірити правильність вашого припущення?

Короткий запис умови задачі

Об'єкт: миші.

Ознака: успадкування забарвлення шерсті.

1. Р чорн. х чорн.

F₁ чорн.

2. Р жовт. х жовт.

F₁ $\frac{2}{3}$ жовт. : $\frac{1}{3}$ чорн.

Як успадковується забарвлення?

Чому відбувається розщеплення при схрещуванні жовтих мишей? Як перевірити ваше припущення?

Р о з в ' я з о к

1. Одноманітність у потомстві від схрещування чорних мишей свідчить про їх гомозиготність.

2. Наявність розщеплення при схрещуванні жовтих мишей свідчить про їх гетерозиготність.

3. Розщеплення 2:1 свідчить про моногенне успадкування, домінування жовтого забарвлення над чорним, а також про загибель $\frac{1}{3}$ нащадків з жовтим забарвленням, які імовірно мають генотип AA. За умови однакової життєздатності всіх генотипів розщеплення за фенотипом відповідно до закону Менделя становить $\frac{3}{4}A-$: $\frac{1}{4}aa$. Серед особин із фенотипом A – $\frac{1}{3}$ нащадків має генотип AA і $\frac{2}{3}$ – Aa.

4. Перевіркою даного припущення служить схрещування жовтих мишей із чорними: Aa x aa, при цьому $\frac{1}{2}$ нащадків повинні бути жовтими й $\frac{1}{2}$ – чорними.

Висновок: забарвлення шерсті у мишей контролюється одним геном, жовте забарвлення – результат дії домінантної алелі з рецесивним летальним ефектом, чорне забарвлення – рецесивне щодо жовтого.

Приклад № 2. При схрещуванні курей із трояндоподібним і простим гребенем у першому поколінні отримали 117 курчат із трояндоподібним гребенем. Від схрещування гібридів F_1 – 146 з трояндоподібним і 58 – з простим. Від схрещування гібридів F_1 з птахами з простим гребенем – 790 з трояндоподібним і 798 з простим. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних птахів і гібридів F_1 .

Короткий запис умови задачі

Об'єкт: кури.

Ознака: успадкування форми гребеня.

P троянд. x прост.

F_1 117 троянд.

F_2 146 троянд. і 58 прост.

Σ 204

F_B 790 троянд. і 798 прост.

Σ 1588

Хар-р успадкування ознаки?

Генотипи P і F_1 ?

Р о з в ' я з о к

1. В F_1 одноманітність – отже, батьківські форми гомозиготні.
2. Оскільки в F_2 розщеплення на два класи з переважанням трояндоподібної форми гребеня над простим, допускаємо моногенне успадкування. Визначаємо величину одного можливого поєднання гамет у розщепленні $204:4=51$. Знаходимо розщеплення в досліді: $146:51=2,9$ і $58:51=1,1$, тобто приблизно 3:1. Перевірка H_0 про моногенне успадкування у співвідношенні 3:1 за методом χ^2 її не заперечує.
3. Вводимо позначення алелей: А – троянд., а – прост. Генотипи вихідних птахів: АА і аа, гібридів - F_1 - Аа.
4. При схрещуванні гібридів F_1 з птахами, які мають простий гребінь отримано співвідношення фенотипів 790 троянд. : 798 прост., що дорівнює 1:1 і свідчить про аналізуюче розщеплення.

Висновок. Форма гребеня успадковується моногенно з домінуванням трояндоподібного гребеня над простим.

Приклад № 3. У овець чорне забарвлення шерсті рецесивне щодо білої ознаки. Від схрещування білого барана з білою яркою народилося одне біле ягнятко. З якою особоною його треба схрестити, щоб встановити, чи має він ген чорного забарвлення? Яка імовірність гетерозиготності ягняти?

Короткий запис умови задачі

Об'єкт: вівці

Ознака: успадкування забарвлення шерсті

А – біле забарвлення

а – чорне забарвлення

P біл. x біл.

F_1 – біл.

Яка імовірність гетерозиготності ягняти?

Яке схрещування треба провести для встановлення наявності гена чорного забарвлення у ягняти?

Р о з в ' я з о к

1. В F_1 народилося ягнятко подібне до батьківських форм. За умовами задачі біле забарвлення домінантна ознака. Отже, батьківські форми можуть бути як гомозиготні, так і гетерозиготні. Для перевірки гетерозиготності ягняти необхідно провести аналізуючі схрещування, тобто схрестити його з особиною із чорним фенотипом. У разі розщеплення ягня є гетерозиготою за даною ознакою.

2. Згідно з другим законом Менделя імовірність гетерозиготності ягнятки за умови гетерозиготності батьківських форм складає $2/4$.

Висновок. Для перевірки гетерозиготності ягняти необхідно провести аналізуючі схрещування. Імовірність гетерозиготності ягняти за умови гетерозиготності батьківських форм складає $2/4$.

Приклад № 4. Жінка з карими очима виходить заміж за кароого чоловіка, батьки якого також кароокі. Від цього шлюбу народилася одна блакитноока дитина. Визначте генотипи всіх членів сім'ї, виходячи з припущення про моногенний контроль кольору очей у людини та домінування кароокості над блакитними очима.

Короткий запис умови задачі

Об'єкт: людина

Ознака: успадкування забарвлення очей

P кароок. х кароок.

F_1 – блакит.

Батьки чоловіка – кароокі

A – карі очі

a – блакитні очі

Генотипи всіх членів сім'ї?

Р о з в ' я з о к

1. За умовами задачі кароокість домінантна ознака. Отже, дитина з блакитними очима може народитись тільки у батьків гетерозиготних за ознакою забарвлення очей. Враховуючи зазначене, генотипи батьків – Aa. Генотип дитини – aa.

2. Оскільки батьки чоловіка також кароокі, але в його генотипі наявний ген блакитності, то генотипи обох батьків, або одного з них, гетерозиготні за ознакою кольору очей – Аа.

Висновок. Генотипи батьків дитини та їхніх предків – Аа. Генотип дитини – аа.

Приклад № 5. В пологовому будинку переплутали двох хлопчиків. Батьки одного з них мають А і 0 групи крові, батьки другого – А і АВ. Хлопчики мають А і 0 групи крові. Встановіть, хто чий син і генотипи батьків і дітей.

Короткий запис умови задачі

Об'єкт: людина

Ознака: групи крові

P1 А. х 0

P2 А. х АВ

F₁ – хлопчики з групами крові А і 0

Генотипи батьків і дітей? Хто чий син?

Р о з в ' я з о к

1. Запишемо імовірні генотипи першої пари батьків і дітей, використовуючи фенотипнові радикали. Людина з групою крові А має генотип I^A- , з групою крові 0 – i^0i^0 . У таких батьків може народитися дитина як з групою крові А – генотип I^A- , так і з групою крові 0 – генотип i^0i^0 . В першому разі жінка може бути як гетерозиготною, так і гомозиготною за даною ознакою, тобто її генотип - I^AI^A або I^Ai^0 . Для народження дитини у даного подружжя з групою крові 0 генотип жінки обов'язково має бути гетерозиготним - I^Ai^0 .

2. Запишемо імовірні генотипи другої пари батьків. Людина з групою крові А має генотип I^A- , з групою крові АВ - I^AI^B . Батько з групою крові АВ не утворює гамети, які мають ген i^0 . Отже, у такого подружжя не може народитися дитина з групою крові 0. Їхня дитина – це хлопчик з групою крові А, а хлопчик з групою крові 0 – це дитина першої пари батьків.

3. Запишемо схему схрещування у вигляді генотипів:

Перша пара батьків

P: ♀ $I^A i^0$ x ♂ $i^0 i^0$.

G: I^A, i^0 i^0

F₁ $i^0 i^0$ – група крові 0

Друга пара батьків

P: ♀ $I^A I^A$ x ♂ $I^A I^B$

G: I^A I^A, I^B

F₁ $I^A I^B, I^A I^A$ – група крові A

Висновок. Перша пара батьків має генотипи: ♀ $I^A i^0$, ♂ $i^0 i^0$, їхній хлопчик - $i^0 i^0$.

Друга пара батьків має генотипи : ♀ $I^A I^A$, ♂ $I^A I^B$, їхній хлопчик - $I^A I^A$.

Задачі для самостійного розв'язку

1. У вівса ранньостиглість домінує над пізньостиглістю. Яке потомство буде отримане від схрещування гомозиготних ранньо- та пізньостиглих рослин? Що буде отримано від схрещування між собою таких гібридів? Який результат дасть зворотне схрещування рослин першого покоління з батьківською ранньостиглою формою?

2. У томатів пурпурне забарвлення стебла домінує над зеленим. Якого забарвлення будуть рослини F₁ від схрещування гомозиготних пурпурних рослин із зеленими? Яке потомство очікувати від схрещування отриманих гібридів між собою? Що буде отримано від схрещування гібридів із вихідними батьківськими рослинами?

3. При схрещуванні двох сортів томатів із жовтими і зеленими листками гібриди F₁ мали зелені листки, а в другому поколінні 59 із зеленими і 15 з жовтими листками. Як успадковується забарвлення листків? Які генотипи вихідних сортів і гібридів першого покоління? Яке схрещування можна поставити для перевірки гіпотези? Який результат очікується при цьому для 126 рослин?

4. У кавунів темний плід із рисунками (В) домінує над світлим без рисунків (b). Вкажіть генотипи, фенотипи та їхні співвідношення у таких схрещуваннях: 1. ВВ х bb. 2. Bb х bb. 3. Bb х Bb. 4. bb х bb. 5. Bb х ВВ.

5. При схрещуванні між собою томатів із м'ясистими плодами потомство завжди буде мати м'ясисті плоди, а рослин з малом'ясистими плодами – малом'ясисті. Від схрещування цих сортів отримали середньом'ясисті плоди. Яке потомство виникне при схрещуванні між собою томатів із середньом'ясистими плодами, якщо припустити моногенний контроль цієї ознаки? Яке потомство буде в зворотніх схрещуваннях томатів із середньом'ясистими плодами з вихідними батьківськими сортами?

6. При схрещуванні рослин кукурудзи з фіолетовим зерном (наявний антоціан) з рослинами кукурудзи з білим зерном (унаслідок відсутності антоціану) в F₂ було одержано 4585 рослин із зафарбованим зерном і 1502 рослини з білим. Як успадковується ознака? Який фенотип мають рослини F₁?

7. При схрещуванні рослин ячменю з чорним колосом із рослинами, які мають білий колос, в першому поколінні всі рослини виявилися з чорним колосом, а в другому поколінні виявлено 565 з чорним і 199 з білим колосом. Як успадковується ознака? Які генотипи мали рослини F₁ і F₂? Яке схрещування варто провести для перевірки припущення і які результати очікується одержати?

8. Від схрещування рослин пшениці з червоним колоском із рослинами з білим колоском в F₁ всі рослини мали червоний колоском, а в другому поколінні було одержано 139 рослин з червоним і 53 рослини з білим колоском. Як успадковується ознака? Встановіть генотипи вихідних рослин. Яка частина рослин в F₂ з червоним колоском повинна бути гомозиготною за цією ознакою?

9. Серед великої кількості рослин соняшника з високою олійністю виявлено кілька рослин із низькою олійністю. Для

вияснення генетичної природи олійності ці рослини схрестили з рослинами з високою олійністю. В F_1 від цих схрещувань всі рослини виявилися з високою олійністю, а в F_2 – 129 з високою і 36 – з низькою олійністю. Як успадковується відсоток олійності? Як пояснити появу рослин із низькою олійністю серед вихідних рослин із високою олійністю? Як з'ясувати, які рослини з F_2 з високою олійністю гетерозиготи?

10. При розведенні рябих курей отримано 63 курчати, з яких 30 – рябих, 17 чорних та 16 чисто білих. Як успадковується ознака? Визначіть генотипи вихідних курей і курчат.

11. При схрещуванні овець із сірою вовною з чорним бараном в першому поколінні всі ягнята виявилися сірими, а в другому 67 – сірі і 25 чорні. Як успадковується ознака? Які генотипи батьківських форм барана і овець? Яке схрещування потрібно виконати для перевірки гіпотези і який результат очікується одержати?

12. Дві самки морських свинок із кошлатою шерстю схрещені з гладкошерстним самцем. Перша самка принесла у кількох приплодах 30 кошлатих нащадків і 28 гладкошерстних. Друга – 20 кошлатих. Від схрещування гладкошерстних морських свинок народжувались лише гладкошерстні нащадки. Які висновки можна зробити щодо успадкування кошлатості у морських свинок? Які генотипи обох самок і гладкошерстного самця? Що вийде, якщо нащадків F_1 від другої самки схрестити між собою?

13. Хом'яки можуть мати біле хутро в результаті дії рецесивного гена. Пара тварин із рожевим забарвленням шерсті мала 5 хом'ячків, два з яких були альбіноси. Встановіть генотипи батьків і нащадків. Один хом'ячок з рожевим забарвленням шерсті із цього приплоду було продано для подальшого розмноження. Яка імовірність того, що він гетерозиготний за геном забарвлення шерсті?

14. Від схрещування чорних корів з червоними бичками народжуються рябі телята. Спроби розвести корів такої ж масті не увінчалися успіхом: в першому поколінні виникло розщеплення у співвідношенні 1 чорна : 1 червона : 2 рябі. Як це можна пояснити? Як успадковується рябе забарвлення у великої рогатої худоби?

15. При схрещуванні сріблясто-блакитних норок із коричневими в F_1 всі цуценята виявилися коричневими. В другому поколінні в кількох приплодах було одержано 6 сріблясто-блакитних і 18 коричневих норок. Як успадковується сріблясто-блакитне забарвлення хутра? Яке схрещування варто поставити, щоб в потомстві збільшити кількість сріблясто-блакитних норок?

16. Одна порода курей відрізняється вкороченими ногами. Ця ознака домінантна. Ген, який її контролює, викликає одночасно також вкорочення дзьоба. При цьому у гомозиготних курчат дзьоб такий малий, що вони не здатні пробити яйцеву шкарлупу і гинуть, не вилупившись із яйця. В інкубаторі господарства, яке розводить тільки коротконогих курей, одержано 4000 курчат. Розрахуйте, скільки з цих курчат мають короткі ноги? Дайте аргументовану відповідь.

17. При схрещуванні курей з блакитним оперенням з півнем, який має чорне оперення, було одержано 95 курчат блакитноперих і 89 курчат із чорним оперенням. При подальшому схрещуванні блакитноперих особин з F_1 між собою було одержане таке потомство: 183 блакитноперих, 86 з чорним оперенням і 78 з білим оперенням курчат. Як успадковується забарвлення оперення у курей? Які генотипи всіх особин, що використовувались при схрещуванні? Яке потомство чекати від схрещування білих особин з чорними?

18. При схрещуванні коропів, у яких був черевний плавник із коропами без плавника в першому поколінні всі особини мали плавник, а в другому – 213 з плавником і 80 – без черевного плавника. Як успадковується досліджувана ознака? Визначіть

генотипи вихідних риб і гібридів F_1 . Скільки риб без плавника повинно з'явитися в F_2 серед 451 особини?

19. Схрестили два сорти суниць з червоними та білими ягодами. Гібридні рослини суниць мали рожеві ягоди. При самозапиленні гібридів F_1 спостерігалось розщеплення: $\frac{1}{4}$ рослин – з червоними, $\frac{1}{4}$ – з білими та $\frac{2}{4}$ – з рожевими ягодами. При схрещуванні гібридів F_1 зі суницями, котрі мали білі ягоди, отримано 587 з рожевими та 571 з білими ягодами. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних рослин. Що буде, якщо схрестити гібриди першого покоління із суницею, у якої ягоди червоні?

20. Хлопець, у якого була, за системою АВО, четверта група крові, одружився з дівчиною, у якої була друга група крові. У цього подружжя народилися два хлопчики та дівчинка, у яких була перша, третя та четверта група крові. Встановіть генотипи всіх членів сім'ї. Чи у всіх дітей один батько?

21. Кров одного з батьків за системою АВО належить до першої групи, іншого – до третьої групи. Які генотипи батьків, якщо в них є багато дітей із такими групами крові: а) у всіх АВ? б) половина АВ, половина В? в) половина АВ, половина А? г) $\frac{1}{4}$ АВ, $\frac{1}{4}$ А, $\frac{1}{4}$ В, $\frac{1}{4}$ 0?

22. У Андрія і його рідного брата Івана зелені очі, а у їхньої сестри Ірини – блакитні. Мама цих дітей блакитноока, її батьки мали зелені очі. Як успадковується блакитний і зелений колір очей, якщо ознака контролюється одним геном? Який колір очей у батька Андрія, Івана та Ірини? Які наймовірніші генотипи всіх членів сім'ї?

23. Чоловік зі світлим волоссям одружився на жінці з темним волоссям. У них народилося 9 дітей із темним волоссям. Які наймовірніші генотипи всіх членів цієї сім'ї, якщо ознака контролюється одним геном.

24. Припускається, що у людини довгі вії – домінантна ознака. В сім'ї троє дітей: дівчинка Оксана з короткими віями і два хлопчики –

Мирон з короткими віями і з довгими Ігор. У матері цих дітей і її батька довгі вії, у тата дітей – короткі. Визначте генотипи всіх членів сім'ї.

25. При схрещуванні між собою рослин соняшника з гіллястим стеблом отримано близько $\frac{3}{4}$ нащадків з гіллястим та $\frac{1}{4}$ з негіллястим стеблом. Як це можна пояснити? Які генотипи вихідних рослин? Яким буде потомство від схрещування вихідних рослин із рослинами з негіллястим стеблом?

26. У рослин маку червоне забарвлення квітів (А) не повністю домінує над білим (а), а забарвлення гетерозиготних рослин рожеве. Яким буде забарвлення квітів у нащадків від таких схрещувань: Аа х Аа, АА х Аа, аа х Аа, аа х аа? Як можна досягнути, щоб отримані від схрещування рослини мали рожеве забарвлення?

27. У одного сорту пшениці при самозапиленні рослини із середньою щільністю колоска отримано $\frac{1}{4}$ рослин зі щільним колоском, $\frac{1}{4}$ – рослин з пухким колоском та $\frac{1}{2}$ рослин з колоском середньої щільності. Поясніть розщеплення. Яке потомство очікувати від схрещування рослини зі щільним колоском із рослинами з пухким колоском?

28. Від схрещування рослин кукурудзи з червоним і білим стрижнем качана в F_1 були отримані рослини з червоним стрижнем качана, а в F_2 – 227 рослин з червоним та 82 з білим стрижнем качана. При схрещуванні гібридів F_1 з рослинами з білим стрижнем качана отримано: 110 з білим і 98 з червоним стрижнем качана. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних рослин та F_1 . Яке потомство очікувати від схрещування гібридів F_1 з вихідними батьківськими рослинами кукурудзи з червоним стрижнем качана?

29. При схрещуванні двох сортів персика з великими квітами з дрібними квітами, отримано 105 дерев, у яких квіти були середнього розміру. У другому поколінні 189 дерев мали квіти середнього розміру, 81 дерево – великі квіти та 95 – дрібні квіти. Як успадковується ознака?

Яке потомство очікувати від схрещування гібридів F_1 з вихідними батьківськими сортами рослинами?

30. Серед великої кількості рослин дурману з пурпуровими квітами була знайдена одна рослина з білими. Її схрестили з рослиною із пурпуровими квітами. В F_1 від цього схрещування всі квіти у рослин були пурпурові, а в F_2 – 67 рослин з пурпуровими і 19 рослин з білими квітами. Як успадковується ознака? Як пояснити появу вихідної рослини з білими квітами? Який результат очікується отримати від самозапилення рослин дурмана з білими квітами?

31. При схрещуванні нормальних качок з чубатими отримано 127 каченят, з яких 69 нормальні та 58 чубаті. Від схрещування чубатих качок між собою вилупилось 45 нормальних та 95 чубатих каченят. Варто зауважити, що частина ембріонів загинула перед вилупленням. Як успадковується ознака? Чи з'являться каченята з чубчиком при схрещуванні нормальних качок між собою?

32. Від схрещування мишей з прямим та скрученим хвостом у першому поколінні у всіх нащадків були скручені хвости, а в другому – 130 мишок зі скрученими хвостами і 35 з прямими. Як успадковується ознака? Визначте генотипи батьків. Яких нащадків очікувати при проведенні зворотного схрещування: гібридних мишей із першого покоління з вихідними батьківськими особинами? Яка частина мишей зі скрученими хвостами в F_2 будуть гомозиготами?

33. Півня з оголеною шиєю схрестили з двома курками у яких шия була теж оголена. Від першої курки отримали 78 курчат з оголеною та 22 з опереною шиєю. Від другої курки отримали 50 курчат з оголеною шиєю. Як успадковується ознака? Які генотипи курей та півня? Як можна використати курчат з опереною шиєю, які вилупились, для подальшої роботи?

34. Сіроокий чоловік, батьки якого мали зелені очі, одружився з жінкою з зеленими очима, батько якої мав зелені, а мати сірі очі.

Від цього шлюбу народилася дитина з сірими очима. Визначте найімовірніший генотипи всіх членів родини, за умови моногенного успадкування цієї ознаки. Яка ймовірність народження у цій сім'ї дитини із зеленими очима?

35. В родині, де у батьків була кров групи MN, серед 161 дитини встановили кров наступної групи: 43 з групою крові M, 78 з групою крові MN і 40 з групою крові N. Як успадковується ознака? У батька група крові MN, у дитини M. Яка група крові може бути у матері?

36. У бабусі дівчинки з боку матері кров групи AB, а у дідусів та другої бабусі кров групи O. Яка ймовірність того, що дівчинка має кров груп AB, O, B або A?

37. Чоловік із кучерявим волоссям, мати якого має пряме волосся, одружується з кучерявою жінкою. Сестра і два брати цієї жінки мають пряме волосся. Як успадковується ознака? Визначте генотипи всіх членів сім'ї. Яка ймовірність того, що діти від цього шлюбу будуть мати пряме волосся?

38. Чоловік з товстими губами одружився з жінкою, у якої були тонкі губи. У них народилось троє дочок з товстими губами. Одна з них одружилася з чоловіком з тонкими губами. Як успадковується ознака? Який фенотип буде у їхніх дітей?

39. Короткошерстого кролика А схрестили з довгошерстим кроликом В для отримання короткошерстого потомства. Інший короткошерстий кролик С після схрещування з довгошерстим кроликом D мав у потомстві однакову кількість короткошерстих і довгошерстих особин. Коли довгошерсті особини (В і D) схрещуються одне з одним, вони завжди дають потомство з однаковим фенотипом. На підставі цих схрещувань зробіть висновок про те, як довжина шерсті успадковується у кроликів, і запишіть генотипи всіх особин.

Ди- та полігібридне схрещування

Теоретична частина

Схрещування, під час якого батьківські форми відрізняються за двома парами альтернативних ознак, називається **дигібридним** (за трьома – **тригібридним**, за багатьма – **полігібридним**). На основі аналізу даних дигібридного й тригібридного схрещування сформульований **третій закон Менделя** – закон незалежного успадкування або вільного комбінування пар ознак.

Під час схрещування особин, які відрізняються за проявом пари альтернативних ознак, спостерігається незалежне успадкування за умови розташування генів, які детермінують ці ознаки, у негомологічних хромосомах.

Схема оримання покоління F_2 :

P: ♀ AaBb x ♂ AaBb

G: AB, Ab, aB, ab AB, Ab, aB, ab

F_2 9/16 A_B_ ; 3/16 A_bb; 3/16 aaB_ ; 1/16 aabb.

Неалельні гени успадковуються незалежно завдяки рівномірному та незалежному розходженню за гаметами гетерологічних батьківських і материнських хромосом. Можливі комбінації материнських і батьківських хромосом у ядрах гамет складають 2^n , де n-гаплоїдне число хромосом.

Незалежне розходження негомологічних хромосом у мейозі – один із механізмів виникнення комбінаційної мінливості, що має важливе значення для еволюції.

Генотипи покоління F_2 під час дигібридного схрещування можна визначити за допомогою решітки Р. Пеннета

Гамети	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
Ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Загальна формула розщеплення за генотипом у F₂ дигібридного схрещування виглядає так:

$$1AABV + 2AABb + 1AAbb + 2AaBV + 4AaBb + 2AAbb + 1aaBV + 2aaBb + 1aabb$$

З урахуванням домінантності генів А і В можна записати формулу розщеплення за фенотипом, користуючись так званим **фенотиповим індексом**:

$$9A-B- + 3A-bb + 3aaB- + 1aabb.$$

Саме таких співвідношень генотипових і фенотипових класів варто очікувати, якщо розщеплення за дигібридного схрещування являє собою результат накладання двох моногібридних розщеплень. Цей закон справджується й для тригібридного і полігібридного схрещувань. За тригібридного схрещування матимемо накладання трьох моногібридних розщеплень:

а) **за фенотипом**: $(3A- + 1aa) \times (3B- + 1bb) \times (3C- + 1cc)$;

б) **за генотипом**: $(1AA + 2Aa + 1aa) \times (1BB + 2Bb + 1bb) \times (1CC + 2Cc + 1cc)$.

Для розв'язання задач на ди- та полігібридне схрещування використовують також алгебраїчні формули розщеплення, представлені в додатку.

Характер розщеплення під час дигібридного схрещування може порушуватись у разі різної взаємодії між неалельними генами (**комплементарність, епістаз, полімерія**), зчеплення генів, унаслідок причин, зазначених для моногібридного схрещування. Відхилення також можуть бути викликані неповним проявом функції генів за даних умов, що пов'язано з неповною пенетрантністю та неповною експресивністю відповідної ознаки. **Пенетрантність** – це частка особин із даною ознакою серед усіх особин, які мають даний ген. Варіабельне співвідношення фенотипових класів залежно від умов навколишнього середовища або генотипового середовища називається варіабельною пенетрантністю. **Експресивність** – це інтенсивність (ступінь) прояву досліджуваної ознаки залежно від генотипу та зовнішніх умов. Неповна експресивність може значно змінити формулу розщеплення за фенотипом. Експресивність і пенетрантність ознаки

залежать від генотипу і його особливостей. Важливе значення має так звана доза гена, а також положення гена у хромосомі.

❖ *Для розв'язання задач, у яких об'єкт має дві ознаки, необхідно розглянути характер успадкування кожної ознаки окремо, а потім одночасно обидві. Для визначення характеру успадкування ознак використовувати зазначений в посібнику алгоритм та інструктивно-методичний матеріал.*

Приклади розв'язку задач

Приклад № 1. При схрещуванні рослин ротиків із червоними пілоричними (правильними) квітками з рослинами, які мають жовті зигоморфні (неправильні) квітки, в першому поколінні всі рослини мали рожеві зигоморфні квітки, а в другому: 39 з червоними зигоморфними; 94 з рожевими зигоморфними; 45 з жовтими зигоморфними; 15 з червоними пілоричними; 28 з рожевими пілоричними; 13 з жовтими пілоричними. Всього – 234. Як успадковуються ознаки? Визначте генотипи вихідних рослин. Яка частина рослин F_2 з червоними зигоморфними квітками буде гомозиготна за цими ознаками?

Короткий запис умови задачі

Об'єкт: ротики.

Ознака: успадкування забарвлення і форми квітки.

P черв.пілорич. х жовт. зигоморф.

F_1 – рож. зигоморф.

F_2 : 39 черв. зигоморф.;

94 рожев. зигоморф.;

45 жовт. зигоморф.;

15 черв. пілор.;

28 рожев. пілорич.;

13 жовт. пілорич.

Σ 234

Як успадковуються ознаки? Генотипи вихідних рослин?

Яка частина рослин F_2 з червоними зигоморфними квітками буде гомозиготна за цими ознаками?

Р о з в ' я з о к

1. Аналізуємо успадкування за кожною ознакою. Перша ознака – забарвлення квітів.

2. В F_1 спостерігається одноманітність за фенотипом, що свідчить про гомозиготність вихідних рослин. Проте фенотип – рожеве забарвлення відрізняється від фенотипів батьківських форм і ймовірно є результатом проміжного успадкування ознаки. В F_2 отримано розщеплення на три фенотипових класи:

черв.	рожев.	жовт.
39	94	45
<u>15</u>	<u>28</u>	<u>13</u>
Σ 54	122	58

3. Вищезазначене допомагає припустити моногенний характер успадкування ознаки при взаємодії між алельними генами за типом неповного домінування.

4. Для перевірки H_0 визначаємо величину одного можливого поєднання гамет в розщепленні: $234:4=58,5$. Розщеплення в досліді: $54:58,5=0,9$; $122:58,5=2,1$; $58:58,5=1$, тобто приблизно 1:2:1. Перевірка H_0 про моногенне розщеплення з неповним домінуванням у співвідношенні 1:2:1 за методом χ^2 гіпотезу не заперечує.

5. Вводимо умовні позначення: А – червоне забарвлення, а – жовте забарвлення.

6. Генотипи вихідних рослин: АА – з червоними, аа – з жовтими квітками.

7. Аналізуємо другу ознаку – форма квітки. В F_1 одноманітність, що свідчить про гомозиготність вихідних рослин. В F_2 розщеплення на два фенотипових класи, подібні на вихідні батьківські форми:

зигоморф.	пілорич.
39	15
94	28
<u>45</u>	<u>13</u>
Σ 178	56

Оскільки в F_2 утворилось два фенотипових класи з переважанням зигоморфних над пілоричними, допускаємо моногенне розщеплення. Визначаємо величину одного можливого

поєднання гамет у розщепленні, яке дорівнює 58,5. Розщеплення в досліді - $178:58,5=3$; $56:58,5=0,9$, тобто приблизно 3:1. Перевірка H_0 про моногенне розщеплення у співвідношенні 3:1 за методом χ^2 гіпотезу не заперечує.

9. Вводимо позначення алелей: В – зігоморф., b – пілорич., генотипи вихідних рослин: ВВ із зігоморф. квітками, bb з пілоричн.

10. Аналіз успадкування двох ознак. H_0 : ознаки успадковуються незалежно. В цьому випадку по теорії імовірності розщеплення по обох ознаках повинно бути:

$$(1AA:2Aa:1aa) \times (3B:1b) = 3AAB:6AaB:3aaB:1AAb:2Aab:1aab.$$

Визначаємо величину одного можливого поєднання гамет у розщепленні – $234:16=16,6$. Розщеплення в досліді – $39:16=2,3$; $94:16,6=5,7$; $45:16=2,7$; $15:16=0,9$; $28:16=1,7$; $13:16=0,8$, тобто приблизно 3:6:3:1:2:1. Перевірка H_0 незалежного успадкування ознак за χ^2 її не заперечує. Отже ознаки успадковуються незалежно.

11. В F_2 39 рослин мають червоні зігоморфні квітки, причому $1/16$ мають генотип ААВВ і $2/16$ – ААВb. Отже, лише третини з них гомозиготна по обох домінантних алелях.

Висновки:

1. Забарвлення квітів контролюється однією парою алелів із неповним домінуванням.
2. Форма квітки контролюється однією парою алелів із повним домінуванням зігоморфною над пілоричною.
3. Ознаки забарвлення і форми квітки успадковуються незалежно.
4. Генотипи вихідних рослин: червона пілорична ААbb, жовта зігоморфна aaВВ.
5. Серед 39 рослин із червоними зігоморфними квітами $1/3$ гомозиготна по обох домінантних алелях.

Приклад № 2. Припускають, що у людини карий колір очей домінує над блакитним, праворукість – над ліворукістю. Блакитноокий правша одружився на кароокій правші. У них народилося двоє дітей – кароокий лівша і блакитноокий правша. Від другого одруження цього чоловіка з іншою кароокою правшею

народилося 9 дітей, усі правші. Які найімовірніші генотипи всіх трьох батьків? Визначте імовірність гетерозиготності другої жінки.

Короткий запис умови задачі.

Об'єкт: людина.

Ознаки: успадкування забарвлення очей і праворукості.

1. Р ♀ кароок. правша х ♂ блакитноок. правша

F₁ блакитноок. правша, кароок. лівша.

2. Р ♀ кароок. правша х ♂ блакитноок. правша

F₁ 9 кароок. правша

Які генотипи всіх трьох батьків?

Імовірність гетерозиготності другої жінки.

Р о з в ' я з о к

1. За умовами задачі А – карі очі, а – блакитні очі, В – праворукість, b – ліворукість. Отже, в генотипі чоловіка aaB-, в генотипі обох жінок A-B-.

2. Прояв рецесивних ознак у дітей першої жінки свідчить про її гетерозиготність за обома генами і про гетерозиготність чоловіка за геном В, тобто генотип першої жінки AaBb, генотип чоловіка aaBb.

3. Оскільки всі 9 дітей другої жінки були кароокими і праворукими, імовірно, що вона гомозиготна за обома генами, тобто її генотип AABV.

4. Визначення імовірності гетерозиготності другої жінки: якщо вона гетерозиготна за геном А, то у шлюбі з блакитнооком чоловіком (aa) з імовірністю $\frac{1}{2}$ у неї повинні народжуватися блакитноокі діти. Народження дітей і розподіл генів – події незалежні, отже, імовірність народження поспіль 9 карооких дітей у цьому шлюбі дорівнює $(\frac{1}{2})^9 = 0,002$. Якщо жінка гетерозиготна за геном В, то у шлюбі з гетерозиготним чоловіком $\frac{3}{4}$ дітей повинні бути праворукими, тобто імовірність народження поспіль 9 праворуких дітей – $(\frac{3}{4})^9 = 0,08$.

Висновки: генотип чоловіка aaBb, генотип жінки AaBb, гетерозиготність другої жінки практично виключена.

Приклад № 3. Відомо, що рослина має генотип AaBbCC. Гени успадковуються незалежно. Скільки типів гамет утворює ця рослина? Скільки фенотипів і в якому співвідношенні може бути отримано у нащадків цієї рослини при самозапиленні і повному домінуванні за всіма парами алелів? Скільки генотипів і в якому співвідношенні буде у нащадків цієї рослини при самозапиленні? Скільки фенотипів може бути отримано при самозапиленні цієї рослини та неповному домінуванні за геном А?

Короткий запис умови задачі.

Об'єкт: рослина

P ♀ AaBbCC x ♂ AaBbCC

гени успадковуються незалежно

Кількість типів гамет? Кількість фенотипів та генотипів

F₁ і їх співвідношення при повному домінуванні алелів?

Кількість фенотипів F₁ і їх співвідношення при неповному домінуванні за геном А?

Р о з в ' я з о к

1. Для відповіді на запитання використаємо формули характеристики полі гібридного схрещування, наведені у додатку. За умовою задачі рослина характеризується трьома ознаками, але представлений генотип рослини є дигетерозиготою, оскільки ген С перебуває у гомозиготному стані й не буде урізноманітнювати сорти гамет. Отже, необхідно використовувати формули для дигібридного схрещування.

2. Кількість гамет, які утворюватиме рослина підраховуємо за формулою $2^2 = 4$

3. Відповідно кількість фенотипів при повному домінуванні алелів складатиме $2^2 = 4$, а їх співвідношення – $(3:1)^2 = 9A-B-CC:3A-bbCC:3aaB-CC:1aabbCC$. Кількість генотипів – $3^2 = 9$, а їх співвідношення – $(1:2:1)^2 = 1:2:1:2:4:2:1:2:1$.

4. Для підрахування кількості фенотипів та їх співвідношення використаємо алгебраїчні формули розщеплення, представлені в додатку. Розщеплення за фенотипом при неповному домінування гена А буде $1AA:2Aa:1aa$, а гена В – $3B-:1bb$. Отже загальне

розщеплення за фенотипом при неповному домінуванні гена А буде: (1АА:2Аа:1аа) х (3В:1вв) = 3ААВ-СС:1ААаввСС:6АаВ-СС:2Аавв-СС:3ааВ-СС:1ааввСС, а кількість фенотипових класів дорівнюватиме 6.

Висновки: кількість гамет, які утворюватиме рослина, – 4; кількість фенотипів при повному домінуванні алелей – 4, їх співвідношення – 9А-В-СС:3А-ввСС:3ааВ-СС:1ааввСС; кількість генотипів – 9, їх співвідношення – 1:2:1:2:4:2:1:2:1. Розщеплення за фенотипом при неповному домінуванні гена А – 3ААВ-СС:1ААаввСС:6АаВ-СС:2Аавв-СС:3ааВ-СС:1ааввСС, кількість фенотипових класів – 6.

Задачі для самостійного розв'язку

1. Від схрещування рослин гороху з нормальним стеблом із рослинами зі зрослим стеблом в F₂ отримали розщеплення $\frac{3}{4}$ рослин із нормальним стеблом, $\frac{1}{4}$ зі зрослим стеблом. Так само, в F₂ від схрещування рослин із сизими та смарагдовими бобами $\frac{3}{4}$ рослин мають сизі боби і $\frac{1}{4}$ рослин – смарагдові боби. Ознаки успадковуються незалежно. Як успадковується кожна з ознак? Яке розщеплення очікувати у вибірці, яка складається із 488 рослин, якщо схрестили гомозиготні рослини зі смарагдовими бобами з нормальним стеблом з рослинами зі сизими бобами та зрослим стеблом.

2. При схрещуванні рослин дурману з пурпуровими квітами та гладкими насіннєвими коробочками з рослинами, які мають білі квіти та колючі насіннєві коробочки отримано нащадків: $\frac{1}{4}$ з пурпуровими квітами і гладкими коробочками, $\frac{1}{4}$ з пурпуровими квітами і колючими насіннєвими коробочками, $\frac{1}{4}$ з білими квітами і колючими насіннєвими коробочками і $\frac{1}{4}$ з білими квітами і гладкими коробочками. Визначте генотипи вихідних рослин. Чи є серед нащадків гомозиготні за даними ознаками рослини? (У дурману пурпурове забарвлення квітів домінує над білим, колючі насіннєві коробочки над гладкими).

3. При самозапиленні рослин соняшнику з низьким гіллястим стеблом отримано 15 рослин з низьким негіллястим стеблом та 48 –

з низьким гіллястим стеблом. Визначте генотипи вихідних рослин (гіллясте стебло домінує над негіллястим, високе – над низьким).

4. Рослини томату одного сорту мають нормальне суцвіття та прозору шкірку плоду, іншого – суцвіття з листками та жовту шкірку плоду. Як можна, використовуючи ці сорти, отримати гомозиготний сорт із прозорою шкіркою плоду та суцвіттям з листками? Ознаки успадковуються незалежно. У томатів наявність листків на суцвітті та прозора шкірка плоду – рецесивні ознаки.

5. Схрестивши рослини томату, одне з яких мало простий завиток та гладеньку шкірку плоду, інше – простий завиток та опушену шкірку плоду було отримано 13 рослин із простим завитком і гладенькою шкіркою плоду, 10 – простий завиток та опушену шкірку плоду, 9 – гіллястий завиток та гладеньку шкірку плоду. Які генотипи батьківських форм? Які ще рослини очікувати в цьому схрещуванні? Яка ймовірність їх появи? У томатів простий завиток і гладенька шкірка плоду – домінантні ознаки, які успадковуються незалежно.

6. При схрещуванні рослин кукурудзи, вразливих до іржі, з високим відсотком протеїну в зерні з рослинами, стійкими до іржі та низьким відсотком протеїну в зерні, отримано 15 вразливих до іржі з високим відсотком протеїну в зерні, 12 – стійких до іржі та низьким відсотком протеїну в зерні, 18 стійкими до іржі та високим відсотком протеїну в зерні, 14 вразливих до іржі з низьким відсотком протеїну в зерні. Які генотипи батьків? Поясніть розщеплення. Яке схрещування провести для перевірки припущення і який результат очікується отримати? У кукурудзи вразливість до іржі та високий відсоток протеїну в зерні – домінантні ознаки, які успадковуються незалежно.

7. Провели гібридологічний аналіз та встановили генотип рослини – DdKk. Гени, які відповідають за прояв досліджуваних ознак, розміщені в різних хромосомах. Виявлено, що в кожній парі взаємодія алелів відповідає повному домінуванню. Проаналізуйте,

яке розщеплення за фенотипом і генотипом буде при самозапиленні цієї рослини? Якщо досліджувану рослину схрестити з рослиною з генотипом DdKK, яке розщеплення за фенотипом та генотипом спостерігатиметься у їхніх нащадків?

8. Встановлено генотип рослини – ddFfMm. Проведення гібридологічного аналізу показало, що ознаки успадковуються незалежно, а тип взаємодії за всіма парами алелей відповідає повному домінуванню. Скільки типів гамет утворює ця рослина? Розрахуйте, скільки фенотипів і в якому співвідношенні може бути отримано у нащадків цієї рослини при самозапиленні? Скільки генотипів і в якому співвідношенні буде у нащадків цієї рослини при її схрещуванні з рослиною, у якої генотипом DdffMm?

9. Сіроокий чоловік із широкими ніздрями, батько якого мав вузькі ніздрі, одружився з зеленоокою жінкою з вузькими ніздрями з родини, всі члени якої протягом кількох поколінь мали зелені очі. Яких нащадків і з якою ймовірністю щодо цих двох ознак очікувати від шлюбу? Вважається, що у людини зелений колір очей домінує над сірим, широкі ніздрі – над вузькими.

10. Хряка з білою щетиною та зрослопалими ногами схрестили з свиноматкою, яка має чорну щетину та зрослопалі ноги. Отримано поросят з білою щетиною, більшість особин яких мали зрослопалі ноги, але траплялася серед них і деяка кількість поросят з нормальними ногами. Які генотипи батьків? Яких нащадків дала б свиноматка при схрещуванні її з одним з її нащадків, який має білу щетину і нормальні ноги? У свиней біла щетина домінує над чорною, а зрослопала нога – над нормальною.

11. Жінка у якої II група крові та руде волосся, має 3-х дітей: одна з III групою крові і нерудим волоссям; одна з I групою крові і нерудим волоссям; одна – з IV групою крові та рудим волоссям. Руде волосся – рецесивна ознака. Який генотип матері та батька цих дітей?

12. Відомо, що рослина має генотип AaBbCc. Гени успадковуються незалежно. Скільки типів гамет утворює ця рослина? Скільки фенотипів і в якому співвідношенні може бути отримано у нащадків цієї рослини при самозапиленні і повному домінуванні за всіма парами алелів? Скільки генотипів і в якому співвідношенні буде у нащадків цієї рослини при самозапиленні? Скільки фенотипів може бути отримано при самозапиленні цієї рослини при неповному домінуванні за геном В?

13. Схрестили чалих безрогих корів з биком з такими ж ознаками. У першому поколінні від половини корів отримали розщеплення: 68 чалих безрогих, 31 чорних безрогих, 9 чорних рогатих, 23 чалих рогатих, 35 червоних безрогих і 10 червоних рогатих телят. Від іншої половини корів усі телята були безрогі, з них половина мали чалу, четвертина чорну, і четвертина червону масть. Які генотипи вихідних корів та бика? Що буде отримано, якщо схрестити вихідних батьків із рогатими особинами чорної масті? Що буде отримано, якщо схрестити вихідних батьків із рогатими особинами червоної масті?

14. Високу гіллясту рослину левкою з білою насінневою шкіркою схрестили з високою негіллястою рослиною з білою насінневою шкіркою. Отримано 31 високу гіллясту рослину з білою насінневою шкіркою, 13 – високих гіллястих зі світло-жовтою насінневою шкіркою, 12 – карликових гіллястих з білою насінневою шкіркою і 4 – карликові гіллясті зі світло-жовтою насінневою шкіркою. Поясніть розщеплення, визначте генотип вихідних рослин.

15. У чини запашної пізнє цвітіння домінує над раннім, фертильні пиляки над стерильними. Ознаки успадковуються незалежно. Визначте, які найімовірніші генотипи вихідних рослин, якщо при схрещуванні фертильних рослин, які цвітуть пізно, з фертильними рослинами, котрі цвітуть рано, в F₁ отримали 621 фертильну пізньоцвітну рослину, 201 стерильну пізньоцвітну рослину, 610 фертильних ранньоцвітних рослин та 207 стерильних ранньоцвітних рослин.

16. У огірків листочки з вусиками є домінантною ознакою, а наявність стиглих зрослих плодів – рецесивною. Ознаки успадковуються незалежно. Визначте, які найімовірніші генотипи вихідних рослин, якщо при схрещуванні рослин, у яких плоди були незрослими, а листочки мали вусики, з рослинами з листочками без вусиків та незрощеними плодами в F_1 отримали 725 рослин з листочками з вусиками та незрослими плодами і 233 рослини з листочками з вусиками та зрощеними плодами.

17. Є два сорти огірків: один високий, у якого плоди з ніжною бородавчастою шкіркою, інший невисокий із плодами, у яких товста та гладка шкірка. Якщо схрещувати сорти та проводити селекцію на виведення сорту, у якого буде високе стебло і плоди з гладкою ніжною шкіркою, тоді яка частина F_2 від цього схрещування буде мати потрібний фенотип? Яка частина з них буде гомозиготна за трьома ознаками? Як визначити, які з рослин за ознаками гомозиготні? У огірків високе стебло та гладка шкірка плоду – домінантні ознаки, а ніжна шкірка плоду – рецесивна. Ознаки успадковуються незалежно.

18. Від схрещування троянд із махровою квіткою та без колючок на стеблах із рослинами, які мають колючки й одинарну квітку, отримали 114 рослин із махровими квітами та колючками на стеблах. Визначте генотипи вихідних рослин, якщо відомо, що кожна із ознак успадковується за моногенним типом і ознаки успадковуються незалежно. Які ознаки домінантні? Яке розщеплення за фенотипом і генотипом сподівається отримати в F_2 від цього схрещування?

19. Від схрещування рослин ротиків садових високих із нормальними квітами з низькорослими рослинами з пілоричними квітами було отримано 412 низькорослих рослин з нормальними квітами та 420 високих з нормальними квітами. Визначте генотипи вихідних рослин. Які будуть генотипи і фенотипи нащадків, отриманих від схрещування нащадків F_1 з різними генотипами? У ротиків садових нормальні квіти домінують над пілоричними, високі рослини над низькорослими.

20. У вівса розлога волоть домінує над одногривою, імунність до іржі – над вразливістю. Ознаки успадковуються незалежно. Схрещуються рослини вівса, імунні до іржі, з розлогою волоттю із рослиною, вразливою до іржі та одногривою волоттю. Вихідні рослини гомозиготи. У якому поколінні і з якою вірогідністю з'являться рослини з одногривою волоттю, імунні до іржі?

21. Від схрещування скоростиглих рослин томатів із розсіченими листками з пізньостиглими томатами з цілокраїми листками були отримані скоростиглі гібриди з розсіченими листками. В F_2 відбулось розщеплення: 129 скоростиглих рослин томатів з розсіченими листками, 36 – скоростиглих рослин томатів із цілокраїми листками, 44 – пізньостиглих томатів з розсіченими листками і 13 – пізньостиглих рослин томатів з цілокраїми листками. Визначте, як успадковуються ознаки і які генотипи вихідних рослин і гібридів F_1 . Яка частина рослин F_2 пізньостиглі з розсіченими листками гомозиготні?

22. При схрещуванні рослин ярої пшениці з коротким колоском з рослинами озимої пшениці з довгим колоском у першому поколінні всі рослини були яrimи з колоском середньої довжини. В другому поколінні було отримано: 57 яrim з коротким колоском, 124 яrim із колоском середньої довжини, 61 яrim з довгим колоском, 17 озимих із коротким колоском, 39 озимих з колоском середньої довжини і 20 озимих з довгим колоском. Як успадковуються ознаки? Які генотипи вихідних форм і гібридів F_1 ? Яка частина рослин в F_2 буде яrimи з довгим колоском?

23. При схрещуванні рослин ячменю озимої форми у яких зазублені остюки та зерно, щільно вкрите квітковими лусочками, з рослинами ярої форми, у яких не зазублені остюки та голе зерно. Рослини першого покоління від цього схрещування були яrimи з зерном, щільно вкритим квітковими лусочками з зазубленими остюками. У другому поколінні відбулося розщеплення: 280 були яrimи із зерном, щільно вкритим квітковими лусочками із зазубленими остюками, 93 – яrimи з голим зерном, із зазубленими

остюками, 100 – ярими з зерном, щільно вкритим квітковими лусочками із незазубленими остюками, 98 – озимим із зерном, щільно вкритим квітковими лусочками із зазубленими остюками, 26 – ярими з голим зерном, з незазубленими остюками, 34 – озимими голим зерном, із зазубленими остюками, 37 – озимими з зерном, щільно вкритим квітковими лусочками з незазубленими остюками, 13 озимих, у яких не зазублені остюки та голе зерно. Як успадковуються ознаки? Які генотипи вихідних форм, гібридів першого покоління?

24. У F_1 від схрещування ранньостиглих рослин ячменю з дворядним колоском з пізньостиглими з багаторядним колоском всі рослини виявились ранньостиглими з дворядним колоском, а в F_2 відбулося розщеплення: 160 ранньостиглих з дворядним колоском, 49 – ранньостиглих із багаторядним колоском, 58 – пізньостиглих із дворядним колоском, 17 – пізньостиглих з багаторядним колоском. Вкажіть, який тип успадкування ознак і генотип вихідних рослин. Розрахуйте, яка частка рослин у другому поколінні буде гетерозиготною за обома досліджуваними ознаками. Вкажіть, яке розщеплення за фенотипом та генотипом отримаєте, якщо проведете аналізуюче схрещування і яку рослину необхідно взяти аналізатора?

25. Схрестили особин двох ліній дрозофіли з нормальними крилами. Одні мали сіре тіло, а інші – чорне. Серед нащадків виявили: 61 особину з нормальними крилами і сірим тілом; 63 – з нормальними крилами та чорним тілом; 21 – з закрученими доверху крилами та чорним тілом; 19 – із закрученими доверху крилами та сірим тілом. Які генотипи батьків та нащадків? Як успадковуються зазначені ознаки у дрозофіли?

26. У мишей чорне забарвлення шерсті домінує над коричневим, короткошерстість над довгошерстістю. Ознаки успадковуються незалежно. Від схрещування довгошерстої чорної самки з короткошерстим чорним самцем в першому поколінні всі миші мали чорне короткошерсте хутро. У другому поколінні в кількох

приплодах було 28 чорних короткошерстих мишенят та 7 чорних довгошерстих. Які найімовірніші генотипи батьків і нащадків F_1 та F_2 ? Яких партнерів вибрати для схрещування, щоб виявити короткошерстих гетерозиготних нащадків?

27. При схрещуванні індичок з одноядерними еритроцитами та чорним оперенням з індиками такого ж фенотипу було отримано 28 індюшат: 16 – з одноядерними еритроцитами та чорним оперенням, 6 – з двоядерними еритроцитами та чорним оперенням, 4 – з одноядерними еритроцитами та червоним оперенням і 2 – з двоядерними еритроцитами та червоним оперенням. Поясніть отримані результати. Визначте генотипи батьків. Перевірте гіпотезу за методом χ^2 .

28. Для встановлення генотипу п'ятипалих курей з горохоподібним гребенем їх схрестили з чотирипалими півнями з простим гребенем (аналізуюче схрещування). Було отримано чотири типи курчат: 46 – п'ятипалих з горохоподібним гребнем, 41 – п'ятипалих з простим гребнем, 41 – чотирипалих із горохоподібним гребнем і 43 – чотирипалих з простим гребнем. Як успадковуються досліджувані ознаки? Які курчата будуть отримані при схрещуванні вихідним п'ятипалих курей із горохоподібним гребенем з півнями такого ж генотипу? Яка частина нащадків від цього схрещування буде мати чотири пальці та горохоподібний гребінь?

29. При схрещуванні чорно-білої самки та бурого самця породи кокер-спаніель у кількох приплодах народилося десять цуценят: 2 – чорних, 2 – бурих, 2 – чорно-білих і 4 – буро-білих. Визначте генотипи батьків і нащадків. Які цуценята народяться, якщо буро-білих нащадків зворотно схрестити з чорно-білою самкою? У собак породи кокер-спаніель чорне забарвлення домінує над бурим, суцільне забарвлення – над плямистим.

30. У чоловіка за системою АВО перша група крові, а за системою MN – кров групи М народилась дитина з третьою групою крові та MN. Який генотип у чоловіка та який може бути у матері дитини?

31. Самок мух дрозофіл дикого типу (нормальні крила, червоні очі, нормальний розмір тіла) схрестили із самцями гігантського розміру, з шарлахово-червоними очима та крилами, вигнутими донизу. Гібриди першого покоління мали фенотип дикого типу. Їх схрещування з батьківською мутантною лінією дало розщеплення на наступні фенотипові класи: 91 – нормальні крила, червоні очі, нормальний розмір тіла, 100 – нормальні крила, червоні очі, гігантський розмір тіла, 96 – нормальні крила, шарлахово-червоні очі, нормальний розмір тіла, 99 – крила вигнуті донизу, червоні очі, нормальний розмір тіла, 98 – нормальні крила, шарлахово-червоними очі, гігантський розмір тіла, 94 – крила, вигнуті донизу, червоні очі, гігантський розмір тіла, 89 – крила, вигнуті донизу, шарлахово-червоні очі, нормальний розмір тіла, 93 – гігантського розміру, з шарлахово-червоними очима та крилами, вигнутими донизу. Як успадковуються ознаки? Які генотипи батьківських форм та нащадків.

32. У морських свинок груба шерсть R домінує над гладкою (r), а чорне забарвлення шерсті (B) – над білим (b). Яким буде фенотип особин першого та другого покоління, якщо ми схрестимо гомозиготних чорних морських свинок з грубою шерстю з гладкошерстими білими? Яка частка грубошерстих чорних особин у другому поколінні згаданого схрещування гомозиготна за обома ознаками?

33. Дві чорні морські свинки з грубою шерстю, схрещені одна з одною, мали двох нащадків, одна з яких була білою з грубою шерстю, а друга – чорною. Цих нащадків схрестили між собою. Яке потомство можна від них очікувати? Чи будуть також у потомства гладкі білі морські свинки? У морських свинок груба шерсть R домінує над гладкою (r), а чорне забарвлення шерсті (B) над білим (b)

Дигенне успадкування. Взаємодія неалельних генів

Теоретична частина

У попередніх темах розглядалось успадкування ознак, кожна з яких зумовлена одним геном. Таке успадкування має назву **моногенне**. Відомо багато випадків, коли ознаки або властивості зумовлюються двома (більшою кількістю) неалельними генами, які взаємодіють один з одним (**ди** або **полігенне успадкування**). До основних типів взаємодії неалельних генів належать: **комплементарність, епістаз, полімерія, вплив генів-модифікаторів і плейотропність**.

Комплементарність – взаємодоповнювальний вплив двох неалельних генів, унаслідок чого домінантні алелі цих генів зумовлюють нормальний (дикий) фенотип. Якщо ж до нового фенотипового прояву в F_2 приводить взаємодія двох рецесивних алелів цих генів, то таке явище називають **новоутворенням**. У F_2 , за комплементарної взаємодії генів, спостерігаються відхилення від менделівських закономірностей розщеплення за фенотипом, співвідношення між якими може складати: **9:3:3:1** (домінантні гени мають фенотипів прояв), **9:7** (домінантні гени не мають фенотипового прояву), **9:6:1** (домінантні гени мають однаковий фенотипів прояв), **9:3:4** (один із домінантних генів має, а інший не має фенотипового прояву). Це пов'язано з фенотиповим проявом кожного з пари неалельних генів.

Епістаз – взаємодія неалельних генів, за якої один ген пригнічує дію іншого гена. Як домінантні, так і рецесивні гени здатні викликати пригнічувальну дію (**$A > B$, $a > B$, $B > A$, $b > A$**). Тому епістаз поділяють на домінантний і рецесивний. Явище, коли **$bb > A$ і $bb > a$** , називають **криптомерією**, або **рецесивним епістазом**. Подвійним рецесивним епістазом вважається випадок, коли **$aa > B$, а $bb > A$** . Розщеплення за фенотипами в поколінні F_2 , за епістатичної взаємодії, може бути: **13:3, 12:3:1**.

Полімерія – це явище, коли одна й та ж ознака залежить від двох і більше пар неалельних генів. Характерна для генів, які кодують кількісні та деякі якісні ознаки. Такі полімерні гени прийнято позначати однією латинською літерою та вказувати номери різних генів: A_1 , A_2 , A_3 тощо. Розрізняють *кумулятивну* (прояв ознаки посилюється кожним домінантним геном) і *некумулятивну* (неалельні пари генів діють однозначно). У разі некумулятивної полімерії розщеплення за фенотипами в поколінні F_2 складає **15:1**, а за кумулятивної полімерії інтенсивність прояву ознаки й, відповідно, кількість фенотипових класів залежить від кількості домінантних генів.

Вплив *генів-модифікаторів*. До модифікаторів належать гени, які можуть не мати власного фенотипового прояву, але модифікують (змінюють) експресивність і пенетрантність досліджуваної ознаки. Усі гени-модифікатори можна поділити на *гени-інтенсифікатори* та *гени-супресори*. Перші стимулюють функцію основних генів, а другі – пригнічують. Один із проявів модифікуючого впливу одних генів на інші – так звана супресія. Супресійні гени пригнічують експресію інших генів.

❖ **Необхідно пам'ятати особливості методичних підходів при розв'язанні задач на дигенне успадкування. Наприклад, об'єкт може мати одну або дві ознаки. При цьому одна з ознак може успадковуватися за моногенним, а інша за дигенним контролем. Рекомендується розглядати характер успадкування кожної ознаки окремо, а потім одночасно обидві. Для визначення характеру успадкування ознак використовувати зазначений у посібнику алгоритм та інструктивно-методичний матеріал.**

Приклади розв'язку задач

Приклад № 1. При схрещуванні гарбузів з білими плодами в F_1 отримали 67 рослин із білими, 19 з жовтими і 6 із зеленими плодами. Поясніть результати, визначте генотипи вихідних рослин. Що можна отримати, якщо схрестити вихідні рослини з зеленоплідними з F_1 ?

Короткий запис умови задачі

Об'єкт: гарбуз

Ознака: забарвлення плодів

P біл. х біл.

F₁ 67 біл.

19 жовт.

6 зел.

Σ 92

Як успадковується ознака? Генотипи вихідних рослин? Результати схрещування вихідних рослин із зеленоплідними з F₁?

Р о з в ' я з о к

1. Оскільки в F₁ розщеплення – вихідні рослини гетерозиготні.
2. Розщеплення на три фенотипових класи не відповідає розщепленню при моногенному успадкуванні, оскільки єдиний варіант при цьому 1:2:1. Припускаємо дигенне успадкування.
3. Знаходимо величину однієї можливої комбінації гамет у розщепленні – $92:16=5,75$. Розщеплення в досліді – $67:5,75=11,6$; $19:5,75=3,3$; $6:5,75=1$, тобто приблизно 12:3:1. Перевірка Н₀ про дигенне успадкування 12:3:1 по χ^2 її не заперечує. Отже, забарвлення визначається взаємодією двох генів за типом домінантного епістазу, коли кожен з неепістатичних генів має свій фенотипів прояв.
4. Уведемо умовне позначення: I – епістатичний ген, який пригнічує будь-яке забарвлення за його наявності плоди білі; i – відсутність епістазу; B – жовте забарвлення; b – зелене забарвлення. Обидва типи забарвлення проявляються лише за наявності алеля i - iiB- – жовте, iibb – зелене.
5. Оскільки вихідні рослини мали білі плоди, в їх генотипі є алель I. Поява у нащадків жовтих плодів свідчить про наявність у вихідних рослинах алеля B, поява зелених плодів вказує на гетерозиготність вихідних рослин за обома генами, отже, генотип вихідних рослин IiBb.
6. Характер розщеплення свідчить про незалежне успадкування генів I та B.

7. Схрещування вихідних рослин IiBb із зеленоплідними – iibb – є аналізуюче. В F_{ан} можливе утворення чотирьох генотипів з однаковою імовірністю: IiBb, Iibb, iiBb, iibb. Особини з генотипами IiBb і Iibb будуть мати білі плоди, розщеплення в F_{ан} 2 біл.: 1 жовт.:1 зел.

Висновки:

1. Забарвлення плодів у гарбуза контролюється двома генами, які взаємодіють за типом домінантного епістазу з розщепленням 12:3:1, гени успадковуються незалежно.
2. Генотип вихідних рослин IiBb.
3. При схрещуванні вихідних рослин з зеленоплідними з F₁ відбудеться розщеплення – 2 біл.: 1 жовт.:1 зел.

Приклад № 2. При схрещуванні курей із горохоподібним гребенем з півнями з трояндоподібним гребенем, в F₁ всі курчата мали горіхоподібний гребінь, а в F₂ відбулося розщеплення: 279 курчат з горіхоподібним, 118 з горохоподібним, 103 з трояндоподібним і 35 з простим. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних птахів і гібридів F₁. Що можна отримати, якщо схрестити вихідних півнів із трояндоподібним гребенем і курей з простим гребенем з F₂?

Короткий запис умови задачі

Об'єкт: кури

Ознака: успадкування форми гребеня.

P ♀ горохоподіб. гр. х ♂ трояндопод. гр.

F₁ трояндопод. гр.

F₂ 279 горіхопод.

118 горохопод.

103 трояндопод.

35 простий

Σ535

Як успадковується ознака? Визначте генотипи P і F₁. Результати схрещування вихідних півнів із трояндоподібним гребенем і курей із простим гребенем з F₂?

Р о з в ' я з о к

1. В першому поколінні одноманітність і виявлено новий прояв ознаки – Р очевидно гомозиготні, ознака контролюється, імовірно, не однією парою алелів.

2. В другому поколінні розщеплення не моногенного типу – 4 фенотипових класи. Допускаємо дигенне успадкування. Визначаємо величину одного можливого поєднання гамет у розщепленні – $535:16=33,4$. Розщеплення в досліді - $279:33,4=8,4$; $118:33,4=3,5$; $103:33,4=3,0$; $35:33,4=1,0$, тобто приблизно 9:3:3:1. Перевірка по χ^2 гіпотези про дигенне успадкування з розщепленням 9:3:3:1 її не заперечує. Отже, ознака визначається комплементарною взаємодією двох генів: А-В- – горіхоподібний гребінь. А-bb – горохоподібний. aaВ- – трояндоподібний і aabb – простий. Характер розщеплення свідчить про незалежне успадкування генів А і В.

3. Генотипи Р: горохоподібний ААbb, трояндоподібний – aaВВ, генотип гібридів F₁ – АaВb.

4. Запишемо схрещування вихідних півнів з трояндоподібним гребенем і курей з простим гребенем з F₂?

Р ♀ aabb x ♂ aaВВ

G ab aВ

F₁ aaВb – трояндоподібний

При схрещуванні ♂ з генотипом aaВВ (трояндоподібний гребінь), з ♀ з генотипом aabb (простий гребінь) всі особини будуть мати трояндоподібний гребінь.

Висновки:

1. У курей форма гребеня контролюється двома ознаками, які успадковуються незалежно, взаємодіють за типом комплементарності з розщепленням 9:3:3:1. Генотип півнів aaВВ, курей ААbb, генотип гібридів АaВb.

2. При схрещуванні вихідних півнів з трояндоподібним гребенем з курочками з простим гребенем з другого покоління всі курчата будуть мати трояндоподібний гребінь (aaВb).

Приклад № 3. Схрещуються дві рослини духмяного горошку – з білими пазушними і білими верхівковими квітами. В першому поколінні всі рослини з пурпуровими пазушними квітами, в другому поколінні таке розщеплення: 145 рослин з пурпуровими пазушними квітами, 140 із пурпуровими верхівковими, 350 з білими пазушними і 95 з білими верхівковими. Як успадковуються ознаки? Визначте генотипи вихідних рослин і гібридів F_1 .

Короткий запис умови задачі

Об'єкт: духмянний горошок.

Ознаки: забарвлення квітів і розміщення квітів.

P біл. паз. х біл. верх.

F_1 пур. паз.

F_2 415 пурпур. паз.

140 пурпур. верх.

350 біл. паз.

95 біл. верх.

1000

Як успадковуються ознаки?

Генотипи вихідних рослин і гібридів F_1 .

Р о з в ' я з о к

1. Аналізуємо успадкування за кожною ознакою. Перша ознака – забарвлення квітів.

2. За цією ознакою F_1 одноманітні із появою фенотипу, відмінного від батьківських. Очевидно, вихідні рослини або однакові за генотипом, або гомозиготні. В F_2 розщеплення:

пурпур.	біл.
415	350
<u>140</u>	<u>95</u>
555	445

3. Розщеплення не відповідає моногенному типу (не 3:1). Допускаємо дигенне успадкування ознаки.

4. Знаходимо величину одного можливого поєднання гамет у розщепленні – $1000/16 = 62,5$. Визначаємо розщеплення в досліді: $555/62,5=8,9$; $445/62,5 = 7,1$, тобто приблизно 9 до 7. Перевірка χ^2

по χ^2 її не заперечує. Отже, ознака контролюється двома генами, які взаємодіють за типом комплементарності: пурпурове – результат взаємодії доміnantних алелів двох генів – А-пропігмент і В – активний фермент, який розщеплює пропігмент і зумовлює появу забарвлення. Отже кожен з доміnantних генів окремо не дає забарвлення.

5. Введемо умовні позначення: А – пропігмент, а – відсутність пропігменту; В – активний фермент, що розщеплює пропігмент і зумовлює появу забарвлення, в – неактивний фермент. Генотипи вихідних рослин: ААbb і aaВВ, оскільки обидві рослини мають білі квіти, а в F₁ квіти пурпурові, генотип гібридів F₁ АaВb. Однак з досліду не можна точно визначити, який із батьків має генотип ААbb, а який aaВВ.

6. Розглянемо успадкування другої ознаки – *розміщення квітів*. В F₁ одноманітність із фенотипом однієї з батьківських форм. Отже, вихідні рослини гомозиготні. В F₂ розщеплення:

пазуш.	верх.
415	140
<u>350</u>	<u>95</u>
765	235

Оскільки розщеплення на два фенотипових класи з успадкуванням батьківських ознак і переважанням приблизно в 3 рази пазушного розміщення над верхівковим, допускаємо моногенне успадкування.

7. Знаходимо величину одного можливого поєднання гамет у розщепленні: 1000:4=250. Розщеплення в досліді – 765:250=3,1; 235:250=0,9, тобто приблизно 3:1. Отже ознака успадковується моногенно, а взаємодія між генами – повне домінування пазушного розташування квітки над верхівковим. Перевірка гіпотези про моногенне розщеплення у співвідношенні 3:1 по χ^2 її не заперечує.

8. Вводимо позначення алелів: С – пазушн., с – верх., генотипи вихідних рослин СС – пазушн., сс – верх. Гібриди F₁ - Сс.

9. Аналізуємо розщеплення за двома ознаками. Н₀: ознаки успадковуються незалежно, оскільки в поколінні F₂ спостерігається комбінування ознак. Згідно з теорією імовірності повинно бути таке розщеплення: (3 паз.:1 верх.) x (9 пурпур.:7 біл.) = 27 пурпур.паз.:

21 біл. паз. : 9 пурпур. верх. : 7 біл. верх. Знаходимо величину одного можливого поєднання гамет у розщепленні – $1000:64=15,6$. Розщеплення в досліді - $415:15,6=26,6$; $140:15=8,9$; $350:15,6=22,4$; $95:15,6=6,1$, тобто приблизно 27:9:21:7. Перевірка гіпотези по χ^2 її не заперечує.

Висновки:

1. Забарвлення квітів контролюється двома генами, які незалежно успадковуються і взаємодіють за типом комплементарності з розщепленням 9 пурпур. : 7 біл.
2. Розміщення квітів на стеблі контролюється одним геном з домінуванням пазушного розміщення над верхівковим.
3. Ознаки успадковуються незалежно, гени не зчеплені.
4. Генотипи вихідних рослин: біл. пазуш. AabbCC або aaBBCC, біл.верх. – aaBBcc або AAbbcc, генотип гібридів F₁ – AaBbCc.

Приклад № 4. Виміряно висоту пшениці, яка дорівнює 60 см. За генотипом вона гомозигота за трьома генами, всі алелі яких рецесивні. Пшениця, висота якої дорівнює 125 см, є гомозиготою за домінантними алелями вище вказаних трьох генів. Встановлено, що різниця за висотою стебла у пшениці відповідає тригенному типу успадкування ознаки. Кожен алель цих генів в рівній мірі впливає на прояв ознаки, а взаємодія між цими генами має кумулятивний характер. Схрестили рослину з генотипом A₁A₁a₂a₂A₃A₃ з рослиною, яка за генотипом була потрійним рецесивом (a₁a₁a₂a₂a₃a₃). Розрахуйте висоту пшениці у батьківських форм та яка буде висота пшениці у рослин першого покоління. Проаналізуйте межі мінливості висоти пшениці у другому поколінні та частоту рослин для кожного класу висоти. Розрахуйте середню висоту рослин з другого покоління.

Об'єкт: пшениця.

Ознака: висота рослини.

висота a₁a₁a₂a₂a₃a₃ – 60.

висота A₁A₁A₂A₂A₃A₃ – 125.

взаємодія між генами – кумулятивна полімерія

P A₁A₁a₂a₂A₃A₃ x a₁a₁a₂a₂a₃a₃

Яка висота P, F₁? Межі, середня висота, частота для кожного класу висоти F₂?

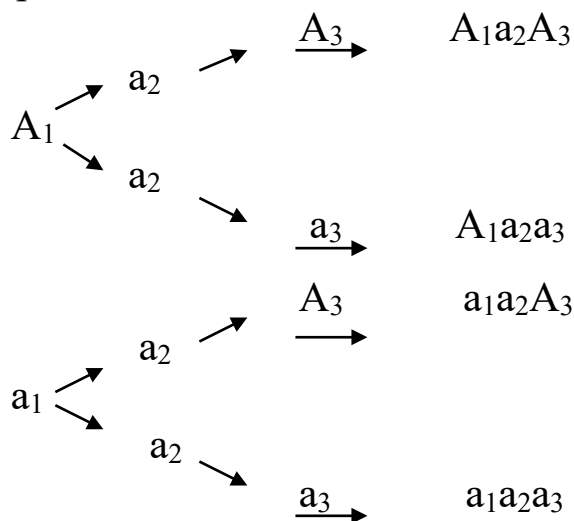
Р о з в ' я з о к

1. З умови задачі випливає, що висота стебла успадковується за типом кумулятивної полімерії. Знайдемо висоту, яка контролюється одним доміантним геном. Різниця у висоті стебла гомозиготних форм становить: $125 \text{ см} - 60 \text{ см} = 65 \text{ см}$. Така висота контролюється шістьма доміантними генами. Один доміантний ген визначає $65 : 6 = 10,8 \text{ см}$.

2. Визначимо висоту батьківських форм: ♀ $A_1A_1a_2a_2A_3A_3 = 60 \text{ см} + (4 \times 10,8) = 103,2 \text{ см}$, ♂ $a_1a_1a_2a_2a_3a_3 = 60 \text{ см}$.

3. Запишемо генотип рослин першого покоління – $A_1a_1a_2a_2A_3a_3$ і визначимо висоту: $60 \text{ см} + (2 \times 10,8) = 81,6 \text{ см}$.

4. Визначимо всі показники для другого покоління. Для цього запишемо типи гамет, які утворюють гібриди F_1 за допомогою дихотомічної схеми. Гібриди F_1 є дигетерозиготами, отже, утворюють $2^2 = 4$ типи гамет.



Зі схеми випливає, що кожен гібрид $A_1a_1a_2a_2A_3a_3$ утворює $\frac{1}{4}$ гамет з двома доміантними генами та $\frac{2}{4}$ гамет з одним доміантним геном, а також $\frac{1}{4}$ гамет з трьома рецесивними генами. Отже кількість частин потомства з чотирма доміантними генами становить $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$, з трьома доміантними генами – $(\frac{1}{4} \times \frac{2}{4}) \times 2 = \frac{4}{16}$, з двома доміантними генами – $(\frac{2}{4} \times \frac{2}{4}) + (\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}) = \frac{6}{16}$, з одним доміантним геном – $(\frac{2}{4} \times \frac{1}{4}) \times 2 = \frac{4}{16}$, без доміантних генів – $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

4. Зі схеми випливає, що в поколінні F_2 є генотипи з чотирма доміантними алелями, висота яких становить $60 \text{ см} + (4 \times 10,8) =$

103,2 см і гомозиготний рецесив, висота якого складає 60 см. Отже, межі коливання ознаки в другому поколінні від 60 до 103,2 см. Середня висота буде характерна для особин, у генотипі яких є два домінантні гени, і складає $60 \text{ см} + (2 \times 10,8) = 81,6 \text{ см}$.

Висновок:

1. Висота батьківських форм: ♀ $A_1A_1a_2a_2A_3A_3 = 103,2 \text{ см}$,
♂ $a_1a_1a_2a_2a_3a_3 = 60 \text{ см}$.

Висота пшениці гібридів першого покоління – $A_1a_1a_2a_2A_3a_3 = 81,6 \text{ см}$.

2. Межі коливання ознаки в другому поколінні від 60 до 103,2 см. Середня висота рослин = 81,6 см.

Задачі для самостійного розв'язування

1. При схрещуванні кукурудзи з білими зморшкуватими зернинами з рослиною, яка має пурпурові гладкі, в першому поколінні все насіння було біле та гладке. В другому поколінні виникло розщеплення: 808 – білих гладких, 249 – білих зморшкуватих, 202 – пурпурових гладких, 50 – пурпурових зморшкуватих. В аналізуючому схрещуванні отримали: 135 білих гладких, 150 – білих зморшкуватих, 40 – пурпурових гладких, 52 – пурпурових зморшкуватих. Як успадковуються ці ознаки? Які генотипи батьківських форм, рослин з першого покоління і рослини-аналізатора?

2. При схрещуванні рослин цибулі з жовтими цибулинами (N1) з двома рослинами, які мали білі цибулини (N 2, N 3) були отримані такі результати: від схрещування рослин N1 та N2 у першому поколінні всі рослини були з жовтими, а у F_2 – 54 з жовтими та 15 з білими цибулинами. Від схрещування рослин N1 та N3 всі рослини – з червоними, а у F_2 – 71 з жовтими, 89 – з білими, 195 – з червоними цибулинами. Поясніть результати, визначте генотипи вихідних рослин.

3. Схрещували дві форми гороху – з рожевими та білими квітами, в F_1 отримали рослини з пурпуровими квітами, а в F_2 – 87 рослин з пурпуровими, 36 – з білими та 29 з рожевими квітами. Поясніть результати схрещування та визначте генотипи вихідних

рослин. Що ми отримаємо, якщо рослини з F_1 схрестити з батьківськими формами?

4. Під час схрещування рослин гороху, які мають темно-фіолетове забарвлення незрілих бобів, із рослинами, боби яких зеленого кольору, в F_1 отримали темно-фіолетові боби. У F_2 відбулося розщеплення: 58 – темно-фіолетових і 37 – зелених. Як успадковується ознака? Які генотипи вихідних рослин? Що буде отримано в аналізуючому схрещуванні і які рослини Ви будете використовувати аналізатора?

5. Проводилось самозапилення рослин зеленого гороху. В результаті такого схрещування серед нащадків отримано таке розщеплення: 52 світло-зелених та 792 зелені рослини. Як успадковується ознака? Поясніть отримані результати та встановіть генотипи батьківських форм. З якою метою можна використати мутантні рослини для подальшої селекційної роботи?

6. При схрещуванні червоноколосої рослини пшениці з білоколосою в F_1 відбулося розщеплення: 42 рослини були з червоним і 15 – з білим колосом. При схрещуванні тієї ж білоколосої рослини з іншою червоноколосою у F_1 також відбулося розщеплення: 54 – з червоним та 18 – з білим колосом. Коли схрестили між собою вихідні червоноколосі рослини, то у F_1 82 рослини мали червоний, а 5 – білий колос. Поясніть отримані результати і визначте генотипи вихідних батьківських форм.

7. При схрещуванні рослин з червоним щільним колосом із рослинами з білим розпушеним колосом у F_1 отримали червоний колос середньої щільності, а в F_2 - розщеплення: 185 червоних із щільним колосом, 360 червоних середньої щільності, 182 червоні з розпушеним колосом, 12 білих зі щільним колосом, 25 білих середньої щільності, 10 білих з розпушеним колосом. Всього – 774. Як успадковуються ознаки? Які генотипи вихідних рослин? Як можна перевірити правильність Вашого припущення?

8. Висота рослини сорго, гомозиготного, за рецесивними алелями чотирьох генів карликовості, дорівнює 40 см. Висота рослини, гомозиготної за домінантними алелями цих чотирьох генів дорівнює 240 см. Припустимо, що різниця у висоті стебла контролюється однаково всіма чотирма генами, причому їхня дія має кумулятивний характер. Рослину генотипу $A_1A_1A_2A_2A_3A_3a_4a_4$ схрещували з рослиною $a_1a_1a_2a_2a_3a_3A_4A_4$. Яка висота стебла у кожної з батьківських форм? Яка очікувана висота рослин у F_1 ? Вкажіть очікувані межі мінливості висоти рослин у F_2 і очікувану частоту рослин для кожного класу висоти? Яка середня висота рослин F_2 ?

9. В F_1 від схрещування рослин квасолі з пурпуровим насінням одержали 331 пурпурову, 140 білих, 114 коричневих насінин – усього 585. Поясніть результати схрещування, визначте генотипи вихідних рослин. Як можна перевірити правильність Вашого припущення?

10. Від схрещування рослин жита з червоними вушками на листках і жовтим зерном із рослинами з білими вушками і білим зерном в F_1 одержали рослини з червоними вушками і зеленим зерном, в F_2 відбулося розщеплення: 360 – з червоними вушками і зеленим зерном, 117 – з червоними вушками і жовтим зерном, 164 – з червоними вушками і білим зерном, 122 – з білими вушками і зеленим зерном, 42 – з білими вушками і жовтим зерном, 54 – з білими вушками і білим зерном. Усього 859. Як успадковуються ознаки? Визначте генотипи вихідних рослин. Як можна перевірити правильність Вашого припущення?

11. Рослину, гомозиготну за трьома парами рецесивних генів висотою 32 см, схрещували з рослиною гомозиготною за домінантними алелями цих генів, висотою 50 см припустимо, що вплив окремих домінантних генів на ріст у всіх випадках однаковий і їх дія сумується. В F_2 від схрещування цих рослин отримано 192 особини. Скільки з них буде мати генетично зумовлений зріст 44 см?

12. При схрещуванні рослин суниці озимого типу без вусиків із рослинами ярового типу без вусиків у F_1 одержали рослини озимого типу з вусиками, а у F_2 – 381 озимих з вусиками, 102 ярових з вусиками, 270 озимих без вусиків і 110 ярових без вусиків. Від схрещування гібридів F_1 з вихідною яровою формою без вусиків одержали: 181 озимих з вусиками, 210 ярових з вусиками, 201 озиму без вусиків і 188 ярових без вусиків. Як успадковуються ознаки? Визначте генотип вихідних рослин.

13. При схрещуванні курей і півнів з опереними ногами з двох різних ліній в F_1 всі курчата мали оперені ноги, а в F_2 – 64 курчата мали оперені ноги і 5 – голі ноги. Коли схрестили особини з F_1 з голоногими особинами F_2 , то отримали 37 курчат із опереними і 11 – з голими ногами. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних півнів і курей.

14. При схрещуванні курей і півнів, які мають горохоподібний гребінь, одержали 279 курчат із горохоподібним гребенем, 116 – з горохоподібним, 105 – з розовидним і 35 – з простим. Поясніть результати, визначте генотип вихідних кур і півнів. Яка частина нащадків з розовидним гребенем з F_2 гомозиготна?

15. Під час схрещування білого півня із забарвленою куркою у F одержано $3/8$ забарвлених і $5/8$ білих курчат. Поясніть розщеплення. Визначте генотипи вихідних курей.

16. У вівса темне забарвлення насіння контролюється домінантним геном А, світле – домінантним геном В. Ген А епістатичний відносно гена В, і останній за його наявності не має фенотипового вияву. За відсутності в генотипі рослин обох домінантних генів виявляється біле забарвлення зернівок. Визначте забарвлення зернівок у рослин із такими генотипами: а) $aaBb$; б) $aabb$ в) $Aabb$ г) $AaBb$ д) $Aabb$ е) $aaBB$.

17. При схрещуванні коней сірої та рудої масті в першому поколінні всі лошата виявились сірими. В другому поколінні серед 16 лошат виявлено 12 сірих, 3 вороних, 1 руде. Визначте тип успадкування масті у коней і встановіть генотипи зазначених тварин.

18. Визначте колір зерна у рослин, отриманих від таких схрещувань:

а) $A_1a_1A_2A_2 \times a_1a_1A_2a_2$; б) $A_1a_1A_2a_2 \times a_1a_1a_2a_2$ в) $a_1a_1A_2A_2 \times a_1a_1A_2a_2$ г) $A_1a_1a_2a_2 \times A_1a_1A_2A_2$. При цьому треба врахувати, що колір насіння успадковується за типом кумулятивної полімерії (4 домінуючих алелів – темно-червоне, 3 – червоне, 2 – рожеве, 1 – світло-рожеве, повний рецесив – біле).

19. У пшениці ярість контролюється двома домінуючими полімерними генами A_1 і A_2 , а озимість – їх рецесивними алелями a_1 і a_2 за типом кумулятивної полімерії. Встановіть генотипи та фенотипи рослин у таких варіантах схрещувань: а) $A_1a_1A_2a_2 \times a_1a_1a_2a_2$; б) $A_1a_1A_2A_2 \times a_1a_1A_2a_2$; в) $A_1a_1a_2a_2 \times A_1A_1A_2A_2$; г) $a_1a_1A_2A_2 \times a_1a_1A_2a_2$.

20. У норки відомі дві рецесивні мутації, які визначають колір шерсті: платинова сіро-блакитна і платинова імперська. Норки, які мають ці мутації, схрестили між собою. В першому поколінні всі щенята мали коричневий колір, а в другому виявлено 19 коричневих і 13 платинових. Поясніть одержані результати. Чи алельні гени, які визначають платиновий колір? Яке схрещування треба поставити, щоб перевірити гіпотезу?

21. Від схрещування індійських дубових шовкопрядів жовтого та блакитного кольорів отримано перше покоління зеленого кольору. В другому поколінні виявлено таких нащадків: 1832 – зелені, 616 – жовтих, 611 – блакитних, 205 – мигдалевих. Як успадковується ознака? Визначте генотипи батьків і нащадків.

22. При схрещуванні рослин вівса з червоними та білими лусочками зерна, в першому поколінні одержали рослини з червоними, а в другому – 139 з червоними, 33 з сірими та 14 з білими лусочками. Як успадковується ознака? Які генотипи вихідних рослин?

23. У грициків плоди бувають трикутної й овальної форм. У потомстві від схрещування рослин із трикутними плодами виявили рослини двох фенотипових класів, кількість яких складала: 147 рослин із трикутними плодами та 13 – з овальними. Визначте характер успадкування ознаки та генотипи рослин.

24. Схрестили рослини пшениці з білими зернами з пшеницею, яка мала червоні зерна. В першому поколінні всі особини мали червоні зерна. У другому поколінні відбулося розщеплення: 60 з білими та 869 з червоними зернами. Визначте характер успадкування ознаки та генотипи вихідних рослин. Гібриди першого покоління схрестили з рослиною, у якої зернини були білими. Якими будуть за фенотипом та генотипом нащадки від цього схрещування?

25. При схрещуванні папужок, які мають жовте оперення з папужками, у яких було блакитне оперення в першому поколінні всі папужки були зеленого кольору, а в другому поколінні серед пташенят було таке розщеплення: 82 – зелених, 28 – блакитних, 30 – жовтих та 10 – білих. Визначте генотипи вихідних птахів. Як успадковується забарвлення оперення у довгохвостих папужок?

26. Від схрещування білих курей породи плімутрок зі світлими півнями породи брама були отримані чорні курчата, частину яких схрестили між собою, а частину з вихідними птахами. При схрещуванні чорних курчат першого покоління між собою в другому поколінні було отримано таке розщеплення: 100 чорних, 26 світлих та 46 білих курчат. При схрещуванні чорних курчат, отриманих у першому поколінні з білими курами породи плімутрок отримали таке розщеплення: 58 чорних та 44 білі курчата. При схрещуванні чорних курчат, отриманих в першому поколінні зі світлими курми породи брама отримали таке розщеплення: 13

чорних та 7 світлих курчат. Поясніть результати, визначте генотипи вихідних курей та півнів.

27. При схрещуванні кроликів агуті з чорними в першому поколінні отримали крольчат агуті, а в другому поколінні – 136 агуті, 34 чорні та 12 блакитних крольчат. Поясніть отримані результати, визначте генотипи батьків і нащадків. Як перевірити правильність вашого припущення?

28. Від схрещування яскраво-червоних та зелених рибок у першому поколінні всі рибки були цегляно-червоними, а в другому поколінні 100 цегляно-червоних, 36 яскраво-червоних, 22 зелені і 10 лимонних. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних рибок. Що відбудеться, якщо схрестити яскраво-червоних рибок із лимонними?

29. Схрещували рибок гуппі блакитного кольору з рибками альбіносами. В першому поколінні всі рибки були блакитні. В другому поколінні відбулось розщеплення: 194 блакитних, 64 білих з темними очима та 88 альбіносів (білих із червоними очима). Поясніть, як успадковується ознака. Визначте генотипи батьків. Яка частина забарвлених рибок у другому поколінні буде гомозиготною?

30. Хлопець альбінос одружився з дівчиною, теж альбіносом. Родичами вони не були. У них народилося восьмеро дітей – п'ять альбіносів і три не альбіноси. Як це можна пояснити? Визначте генотипи батьків та їхніх дітей.

31. Від схрещування білих ангорських довгошерстих морських свинок із рудими короткошерстими в першому поколінні отримали 50 рудих короткошерстих нащадків. Гібридів першого покоління зворотно схрестили з вихідними батьками. Від схрещування з білими ангорськими отримали 39 рудих короткошерстих, 36 рудих ангорських, 96 білих із короткою шерстю і 108 білих ангорських. Від схрещування гібридів першого покоління повторно зворотно з батьківською рудою короткошерстою морською свинкою отримали

108 рудих короткошерстих. Поясніть результати, визначте генотипи вихідних тваринок. На яке розщеплення сподіваєтесь від схрещування тваринок першого покоління між собою?

32. При схрещуванні жовтих кролів із шоколадно-коричневими всі нащадки були чорними. При схрещуванні гібридів першого покоління між собою, в другому поколінні відбулося розщеплення кролів за забарвленням шерсті: 120 чорних, 36 шоколадно-коричневих, 32 жовті і 12 жовтогарячих. Поясніть розщеплення, визначте генотипи батьків і нащадків. Яке схрещування провести, щоб збільшити народжуваність кроликів, у яких шерсть буде жовтогарячого кольору.

33. У курей доміантні алелі R викликають трояндоподібний гребінь, а P – горохоподібний. Якщо обидва доміантних алеля наявні у геномі водночас, то гребінець схожий на горіх. Особини з подвійним рецесивом мають простий гребінь. Якою буде форма гребеня у потомства в цих схрещуваннях:

№ 1 – Rr Pp x Rr Pp

№ 2 – RR Pp x rr Pp

№ 3 – rr PP x Rr Pp

34. У курей доміантні алелі R зумовлюють появу трояндоподібного гребеня, а P – горохоподібного. Якщо обидва доміантних алеля наявні у геномі водночас, гребінець схожий на горіх. Особини з подвійним рецесивом мають простий гребінь. Визначте генотипи батьків у трьох схрещуваннях:

№ 1 – батьки: трояндоподібний гребінь x горіхоподібний гребінь

Нащадки: $\frac{3}{8}$ горіхоподібний, $\frac{3}{8}$ трояндоподібний, $\frac{1}{8}$ горохоподібний, $\frac{1}{8}$ простий.

№ 2 – батьки: горіхоподібний гребінь x простий гребінь

Нащадки: $\frac{1}{4}$ горіхоподібний, $\frac{1}{4}$ трояндоподібний, $\frac{1}{4}$ горохоподібний, $\frac{1}{4}$ простий.

№ 3 – батьки: трояндоподібний гребінь x горохоподібний гребінь

Нащадки: 6 курей з горіхоподібним гребенем, 5 курей з трояндоподібним гребенем.

35. Двох курочок з горіхоподібним гребенем схрестили з півнем із гороховидним гребенем. Курка № 1 висиділа трьох курчат з горіхоподібним гребенем, трьох курчат із гороховидним гребенем, одне з трояндоподібним гребенем і одне – з простим. У курки № 2 народилось п'ять курчат із горіхоподібним гребенем і три – з гороховидним. Які генотипи всіх трьох батьків? У курей домінантні алелі R викликають трояндоподібний гребінь, а P – гороховидний. Якщо обидва домінантних алеля наявні у геномі водночас, гребінець схожий на горіх. Особини з подвійним рецесивом мають простий гребінь.

36. Курка з горіхоподібним гребенем знесла одне яйце, з якого вилупилося курча з простим гребенем. Який був генотип у цієї курки? У курей домінантні алелі R викликають трояндоподібний гребінь, а P – гороховидний. Якщо обидва домінантних алеля наявні в геномі одночасно, гребінець схожий на горіх. Особини з подвійним рецесивом мають простий гребінь.

37. У кукурудзи алелі C і R важливі для червоного забарвлення алейрону; відсутність будь-якого призводить до білого забарвлення алейрону. Якщо алель P також наявний за наявності C і R, алейрон буде фіолетовим, але цей алель не діє за відсутності C або R або обох. Яким буде колір алейрону в потомстві цих схрещувань:

№ 1: CcRrpp x ccRrPp; № 2: CcRrpp x ccRrPP?

Скільки типів гамет утворює батьківська форма CcRrpp? Яка частка особин із білим алейроном у потомстві батьків № 1?

Чи будуть у потомстві від схрещування № 2 особини з червоним алейроном. Яка частка фіолетових алейронових особин у нащадках схрещування № 2 ?

38. У кукурудзи алелі C і R важливі для червоного забарвлення алейрону; відсутність будь-якого з них призводить до білого забарвлення алейрону. Якщо алель P також є за наявності C і R, алейрон буде фіолетовим, але цей алель не діє за відсутності C або R або обох. Від схрещування кукурудзи з фіолетовим алейроном із

кукурудзою, у якої алейрон був білий отримали потомство з різним забарвленням алейрону: $1/8$ – з фіолетовим, $1/8$ – з червоним та $3/4$ – з білим. Визначте генотипи батьків.

39. Проаналізуйте чисельне співвідношення фенотипів 225 : 92 : 114 та вкажіть, до якого типу взаємодії генів вони належать. Перевірте, обчисливши χ^2 .

40. Проаналізуйте чисельне співвідношення фенотипів 158 : 10 та вкажіть, до якого типу взаємодії генів вони належать. Перевірте, обчисливши χ^2 .

41. Проаналізуйте чисельне співвідношення фенотипів 141 : 102 та вкажіть, до якого типу взаємодії генів вони належать. Перевірте, обчисливши χ^2 .

42. Проаналізуйте чисельне співвідношення фенотипів 549:355:56 та вкажіть, до якого типу взаємодії генів вони належать. Перевірте, обчисливши χ^2 .

Успадкування при зчепленні генів та кросинговері

Теоретична частина

Явище зчепленого успадкування було досліджено Т.Х. Морганом зі співробітниками. В дослідях на дрозофілах показано, що всі гени цих комах виявляли тенденцію до успадкування групами. Т. Морган ввів поняття **зчеплені гени** через їхню локалізацією в одній хромосомі. Усі разом вони утворюють **групу зчеплення**. Кількість груп зчеплення в організмів дорівнює кількості хромосом у гаплоїдному наборі виду (закон Моргана).

Гени, розташовані в одній хромосомі, успадковуються зчеплено, з утворенням кількості фенотипових класів й характером розщеплення, подібним до моно генного схрещування.

Т. Морган, К. Бріджес, А. Стертевант у дослідях на дрозофілі показали, що в природі існує **повне** і **неповне** зчеплення генів. При цьому повне зчеплення, при якому гени передаються завжди разом, у природі трапляється зрідка. Частіше спостерігається неповне зчеплення. Останнє зумовлене перехрещенням гомологічних хромосом і рекомбінацією генів, що називається **кросинговером** (від англ. crossingover – перехрестя). Регулярність обмінів генами між гомологічними хромосомами доведена дослідженнями Т. Моргана та його школи. За неповного зчеплення схрещування гетерозиготних особин генотипу $\frac{AB}{ab}$ з гомозиготним рецесивом $\frac{ab}{ab}$ призводить до появи не двох, як при повному зчепленні, а чотирьох класів фенотипів і генотипів: $\frac{AB}{ab}, \frac{ab}{ab}, \frac{Ab}{ab}, \frac{aB}{ab}$. Проте кількісне співвідношення особин різних класів за неповного зчеплення під час аналізуючого схрещування не відповідають співвідношенню **1:1:1:1**, тобто спостерігається порушення менделівського розщеплення за незалежного успадкування ознак. Це пояснюється утворенням меншої кількості рекомбінантних гамет типу **Ab** і **aB**, ніж батьківських гамет типу **AB** і **ab**, частка яких завжди понад 50 %. На противагу

менделівському незалежному успадкуванню, кількість і співвідношення між фенотиповими класами залежить від відстані між досліджуваними генами та силою зчеплення між ними.

Співвідношення класів гамет за неповного зчеплення: батьківські форми: $AB+ab > 50 \%$, рекомбінантні: $Ab+aB < 50 \%$, тобто $AB = ab$, $Ab = aB$

Хромосоми та, відповідно, гамети, які утворюються у процесі кросинговеру внаслідок реципрокних обмінів генетичним матеріалом, називаються **кросоверними**, або **рекомбінантними**.

Величина кросинговеру вимірюється відношенням кількості кросоверних (рекомбінантних) особин до загальної кількості нащадків аналізуючого схрещування, вираженим у процентах.

$$K = A / B \times 100 \%,$$

де А – сума кросоверних нащадків, яких отримано у досліді;

В – загальна кількість нащадків (сума кросоверних і некросоверних особин).

Таблиця 2

Співвідношення класів гамет за розщепленням ознак у нащадків дигібридів за незалежного та зчепленого успадкування

Генотип дигетерозигот	Гамети дигетерозиготи та їхнє співвідношення	Фенотипи F ₂ , їхнє співвідношення	Фенотипи F _a , їхнє співвідношення
Незалежне комбінування			
$\frac{A}{a} \quad \frac{B}{b}$	AB, ab, Ab, aB = 1:1:1:1	AB, ab, Ab, aB = 9:3:3:1	AB, ab, Ab, aB = 1:1:1:1
Повне зчеплення			
$\frac{AB}{ab}$	Ab, ab = 1:1	Ab, ab = 3:1	Ab, ab = 1:1
Неповне зчеплення			
$\frac{AB}{ab}$	AB, ab, Ab, aB ≠ 1:1:1:1	AB, ab, Ab, aB ≠ 9:3:3:1	AB, ab, Ab, aB ≠ 1:1:1:1

Маючи інформацію про кількість подвійних гомозигот за рецесивними алелями у F₂, можна розрахувати коефіцієнт рекомбінації за формулою для фази відштовхування:

$$r = 2 \times \sqrt{\text{частка подвійних рецесивних гомозигот}}$$

та для фази притягання:

$$r = 1 - 2 \times \sqrt{\text{частка подвійних рецесивних гомозигот}}$$

Визначення відстані між генами за результатами мейозу дріжджової клітини проводять за ідентифікацією батьківських і небатьківських дитипів (НБД) та тетратипів (Т) серед асків з використанням формули для розрахунків частоти рекомбінації (RF) між генами:

$$RF = (\text{НБД} + (0,5 \times T)) / \text{загальну кількість асків}.$$

Величина кросинговеру коливається залежно від досліджуваних маркерних генів, об'єктів дослідження та інших причин. Стертевант припустив, що частота кросинговеру між генами, локалізованими в одній хромосомі, пропорційна відстані між цими генами. Отже, показник частоти кросинговеру можна використати для визначення відстані між генами та їх взаємного розташування у хромосомі, тобто для побудови генетичних карт.

При цьому необхідно дотримуватись такого:

1. Визначити частоту кросинговеру за багатофакторного аналізу (полі гетерозиготи).
2. Визначити коефіцієнт коінциденції.
3. Проаналізувати отримані величини кросинговеру та визначити локус генів у хромосомі.
4. Провести розрахунок відстані між генами.

Генетична відстань, на якій кросинговер здійснюється з частотою 1%, на честь Т. Моргана названа **сантиморганом (сМ)**, який слугує одиницею виміру кросинговеру. Одна сантиморганіда відповідає частоті рекомбінації між генами 0,01, або 1 %.

Приклади розв'язку задач

Приклад № 1. Особи, гомозиготну за генами А і В, схрестили з особою ab. Гібридів F₁ від цього схрещування зворотньо схрестили з подвійним рецесивом. Від цього схрещування отримано таких нащадків: 902 АВ; 98 Ab; 102 аВ і 898 ab. Поясніть отримані результати та проведіть відповідні розрахунки.

Короткий запис умови задачі

P	AABB	x	aabb
F ₁	AaBb	x	aabb
F _{ан}	902 АВ		
	98 Ab		
	102 аВ		
	898 ab		
	Σ 2000		
Як успадковуються ознаки?			

Р о з в ' я з о к

1. Нащадки аналізуючого схрещування дигетерозиготи дали в розщепленні 4 фенотипових класи. Якщо б гени А і В успадковувались незалежно, то варто чекати розщеплення у співвідношенні 1:1:1:1. Переважанням форм з фенотипом батьків свідчить про зчеплене успадкування. Нащадки рекомбінантного типу Ab і аВ могли виникнути внаслідок кросинговеру між генами А і В у гетерозиготи.

2. Визначаємо відсоток кросинговеру та відстань між генами:

$$\frac{(102+98) \times 100\%}{2000} = 10\%$$

Отже, відстань між генами А і В дорівнює 10 сМ

Висновок: гени А і В локалізовані в одній хромосомі на відстані 10 сМ.

Приклад №2. Проведіть генетичний аналіз результатів аналізуючого схрещування тригетерозиготи AaBbCc:

ABC	126
ABc	0
AbC	64
Abc	62
aBC	68
aBc	70
avC	14
abc	<u>133</u>
	Σ 547

Р о з в ' я з о к

1. Для визначення характеру успадкування генів розглянемо фенотипові класи та їх співвідношення у кожній парі генів. Для цього виберемо попарно різні поєднання неалельних генів (A і B; B і C; A і C – для спрощення наведені поєднання тільки домінантних генів) з визначенням кількості особин кожного фенотипового класу.

2. Розщеплення за генами A і B має чотири фенотипових класи:

AB	Ab	aB	ab
126	64	68	133
<u>10</u>	<u>62</u>	<u>70</u>	<u>14</u>
Σ 136	126	138	147

Розщеплення близьке до розщеплення 1:1:1:1, можна допустити, що гени успадковуються незалежно. Перевірка по χ^2 не заперечує даного припущення.

3. Розщеплення за генами B і C:

BC	Bc	bC	bc
126	10	64	133
<u>68</u>	<u>70</u>	<u>14</u>	<u>62</u>
Σ 194	80	78	195

Оскільки розщеплення не відповідає розщепленню при незалежному успадкуванні (не 1:1:1:1), можна стверджувати, що

гени зчеплені, некросовери BC і bc, отже, гени входили в схрещування в стані «притягування» й фенотипи кросоверів Bc і bC.

Розраховуємо відсоток кросинговеру:

$$\frac{(80 + 78) \times 100\%}{547} = 28,9\%$$

Відстань між генами B і C – 28,9 сМ

4. Розщеплення за генами A і C:

AC	Ac	aC	ac
126	62	14	133
<u>64</u>	<u>10</u>	<u>68</u>	<u>70</u>
Σ190	72	82	203

Аналогічно до попереднього, можна сказати, що гени A і C зчеплені, некросовери AC і ac, гени входили у схрещування у фазі «притягування» і фенотипи кросоверів Ac і aC.

Розраховуємо відсоток кросинговеру:

$$\frac{(72 + 82) \times 100\%}{547} = 28,2\%$$

Відстань між генами A і C складає 28,2 сМ

5. Оскільки ген A зчеплений із геном C і B зчеплений з C, гени A і B також зчеплені, гени входили в схрещування у фазі «притягування», фенотип кросоверів Ab і aB.

Розраховуємо відсоток кросинговеру

$$\frac{(126 + 138) \times 100\%}{547} = 48,3\%$$

Відстань між генами A і B складає 48,3 сМ

6. Розраховуємо відсоток подвійних кросоверів $(10+14)/547 \times 100 = 4,4 \%$

Отже, відстань між генами A і B складає $48,3 + (2 \times 4,4) = 57,1$ сМ

7. Визначаємо порядок розміщення генів у хромосомі. Оскільки найбільший відсоток кросинговеру між генами A і B, можна сказати, що гени A і B лежать на кінцях досліджуваної області хромосоми, а ген C – посередині, дещо ближче до B.

A 28,2 C 28,9 B

№ 3. Визначте відстань гена а від центромери на основі порядку розміщення спор в 100 асках нейроспори:

Кількість асків	Спори			
	1+2	3+4	5+6	7+8
44	а	а	+	+
48	+	+	а	а
2	а	+	а	+
3	а	+	+	а
2	+	а	+	а
1	+	а	а	+

Р о з в ' я з о к

Порядок розміщення спор аа++ і ++аа свідчить про відсутність кросинговеру між геном а і центромерою (розходження алелів у першому поділі мейозу); всі решта типи розміщення спор в асці свідчать про те, що пройшов кросинговер між геном а і центромерою (розходження алелів у другому поділі мейозу). Відсоток кросоверних асків дорівнює:

$$\frac{(2+3+2+1)}{100} \times 100\% = 8 \%$$

Однак у кожній кросоверній асці лише 50 % спор кросоверні. Отже, відстань між геном а і центромерою дорівнює 4 % кросинговеру.

Задачі для самостійного розв'язку

1. У кукурудзи однотонність листя домінує над смугастістю, вразливість до кобилок – над стійкістю. Від схрещування двох рослин отримали розщеплення: 150 рослин із однотонним листям, вразливих до кобилок, 49 рослин з однотонним листям, стійких до кобилок, 52 рослини зі смугастим листям, вразливі до кобилок, 167 рослин стійких до кобилок, зі смугастим листям. Поясніть розщеплення. Визначте генотипи вихідних рослин і їх фенотипи. Проведіть відповідні розрахунки.

2. У кукурудзи білий ендосперм домінує над блідо-жовтим, високі рослини – над рослинами з дуже низькими стеблами та широкими і товстими листками. Схрещено гомозиготну високу рослину, у якої ендосперм зерен був білий із гомозиготною карликовою кукурудзою, яка має плоди з блідо-жовтим ендоспермом. В F_2 отримано розщеплення: 1980 – високих з білим ендоспермом зерна, 261 – високе з блідо-жовтим ендоспермом зерна, 251 – карликове з білим ендоспермом зерна, 306 – карликових з блідо-жовтим ендоспермом зерна. Поясніть результати, визначте фенотип у рослин першого покоління. Якщо гени зчеплені, то визначте відстань між ними. Які рослини ви використаєте при проведенні аналізуючого схрещування і яке розщеплення очікуєте отримати за генотипом і фенотипом?

3. У томатів дефіцит хлорофілу, рожевий епідерміс, захисні реакції на специфічні раси *Cladosporium fulvum* є рецесивними мутаціями. Зелені гомозиготні рослини, стійкі до *Cladosporium*, з рожевим епідермісом схрещували з гомозиготними томатами з дефіцитом хлорофілу, чутливими до *Cladosporium*, з червоним епідермісом. Гібриди F_1 використовували в аналізуючому схрещуванні, в якому отримали таке розщеплення: 341 – зелені, стійкі до *Cladosporium*, з рожевим епідермісом, 79 – зелені, стійкі до *Cladosporium*, з червоним епідермісом, 10 – зелені, чутливі до *Cladosporium*, з рожевим епідермісом, 83 – зелені, чутливі до *Cladosporium*, з червоним епідермісом, 79 – з дефіцитом хлорофілу, стійкі до *Cladosporium*, з рожевим епідермісом, 8 – з дефіцитом хлорофілу, стійкі до

Cladosporium, з червоним епідермісом, 73 – з дефіцитом хлорофілу, чутливі до *Cladosporium*, з рожевим епідермісом, 327 – з дефіцитом хлорофілу, чутливі до *Cladosporium*, з червоним епідермісом. Який характер наслідування ознак? Якщо гени зчеплені, то визначте відстань між ними та порядок їх розташування в хромосомі.

4. У дрізофіли *Drosophila melanogaster* ген білі очі знаходиться в локусі 1,5, а ген мініатюрні темні крила – в локусі 36,1 статевої хромосоми. Обидві ознаки рецесивні. Гомозиготна самка з білими очима та нормальними крилами схрещувалась із самцем, який мав нормальне забарвлення очей та мініатюрні темні крила. Визначити генотипи та співвідношення фенотипів (по самках та самцях окремо) в першому та другому поколінні.

5. Ген альбінізму і ген ангіокератоми локалізовані в X хромосомі на відстані 10 морганід. Прояв цих захворювань рецесивна ознака. Визначте ймовірність народження дітей з обома аномаліями одночасно в сім'ї, де жінка має нормальне забарвлення очей, але її мати хворіла на ангіокератомію, а батько був альбіносом. Чоловік цієї жінки був здоровим та нормальним щодо обох досліджуваних ознак.

6. У людини ген кольорової сліпоти (дальтонізм) зчеплений із геном нічної сліпоти та локалізовані на відстані 40 % рекомбінації один від одного в X хромосомі. Обидві аномалії рецесивні. Визначте ймовірність народження дітей одночасно з обома аномаліями у сім'ї, де жінка гетерозиготна за обома ознаками і обидві аномалії успадкувала від свого батька, а чоловік має обидві форми сліпоти.

7. Унаслідок проведення аналізуючого схрещування тригетерозиготи KkLlNn з потрійним рецесивом kklenn отримано таке розщеплення: kln – 134, kln – 13, kLn – 71, kLN – 67, Kln – 61, Kln – 65, KLn – 11, KLN – 125. Поясніть отримані результати. Який характер успадкування генів? Якщо вони зчеплені, то яка відстань між ними?

8. В результаті проведення аналізуючого схрещування тригетерозиготи «AaBbCc» з потрійним рецесивом «aabbcc» отримано таке

розщеплення: ABC – 70, авс – 65, авС – 3, аВс – 12, аВС – 17, Авс – 18, АВс – 2, АвС – 13. Який характер успадкування генів? Якщо вони зчеплені, то яка відстань між ними?

9. Гомозиготна за геном pink (р, рожевоокі) самка *Drosophila melanogaster* схрещена із самцем eboni (е, чорне тіло). Яке розщеплення за фенотипом можна очікувати в другому поколінні, якщо відстань між цими генами дорівнює 23 морганіди? Яке розщеплення за фенотипом та генотипом відбудеться при проведенні аналізуючого схрещування з гібридами першого покоління за умови, що в ролі аналізатора взяли самця /самку?

10. Проаналізуйте результати тетрадного аналізу, представлені в таблиці та встановіть, як успадковуються у нейроспори після схрещування спор в асках гени В і С (схрещування ВС х вс).

Число асків	Спори			
	1,2	3,4	5,6	7,8
108	BC	BC	bc	bc
60	BC	Bc	bC	bc
30	BC	bc	BC	bc
2	bC	bC	Bc	Bc

11. Проаналізуйте результати тетрадного аналізу, представлені в таблиці та встановіть, як успадковуються у нейроспори після схрещування спор в асках гени В і С (схрещування ВС х вс).

Число асків	Спори			
	1,2	3,4	5,6	7,8
92	вс	вс	BC	BC
2	вс	BC	вс	BC
2	вс	BC	BC	вс
1	вс	вC	Bc	BC
1	вс	вC	BC	Bc
1	вC	вс	Bc	BC
1	вC	вс	BC	Bc

Встановіть характер успадкування генів В та С. Якщо вони не зчеплені, тоді розрахуйте, на якій відстані від своєї центромери

знаходиться кожний ген. Якщо вони зчеплені, тоді побудуйте карту, в якій вкажіть місце розташування генів та їх центромерів.

12. На основі поданих нижче даних про процент кросинговеру між різними парами генів побудуйте генетичну карту ділянки, на якій локалізовані ці 7 генів:

a - b – 13 %	b - c – 38 %	c - d – 33 %	d - e – 17 %
a - c – 25 %	b - d – 5 %	c - e – 48 %	d - k – 37 %
a - d – 8 %	b - e – 12 %	c - k – 4 %	d - l – 36 %
a - e – 25 %	b - k – 42 %	c - l – 49 %	e - k – 48 %
a - k – 29 %	b - l – 31 %		e - l – 19 %
a - l – 44 %			k - l – 49 %

13. У *Drosoophila melanogaster* жовтий колір тіла та обрізаний край крила рецесивні ознаки, гени яких знаходяться в статевій хромосомі на відстані 20 % один від одного. Схрестили гомозиготну самку дрозофіли з сірим тілом та нормальними крилами із самцем жовтого кольору та крилами з обрізаним краєм. Якими будуть нащадки від цього схрещування в першому поколінні? Якими будуть нащадки від схрещування самки першого покоління зі самцем, у якого був жовтий колір тіла та крила з обрізаним краєм? Якими будуть нащадки від схрещування самця з першого покоління з самкою, у якої жовтий колір тіла та обрізаний край крила.

14. У огірків затримка цвітіння через тривалий фотоперіод, пов'язаний зі спокоєм, та відсутність кукурбітацинів (гіркота) в усіх частинах рослин рецесивні ознаки. Схрещена гірка рослина огірка, у якій відсутня затримка цвітіння з негіркою рослиною, в якій відбувалась затримка цвітіння. В першому поколінні всі рослини були гіркі без затримки цвітіння. В результаті аналізуючого схрещування з гібридом першого покоління отримано чотири типи рослин: 2709 – гіркі без затримки цвітіння, 1437 – гіркі з затримкою цвітіння, 1448 – не гіркі без затримки цвітіння, 2728 – негіркі із затримкою цвітіння. Визначте генотип вихідних форм. Яке

розщеплення очікується отримати в другому поколінні від схрещування гібридів першого покоління між собою?

15. Провели аналізуюче схрещування, в якому від гетерозиготи DdNn отримали такі результати розщеплень: DN – 1011, Dn – 189, dN – 195, dn – 1005. Поясніть розщеплення. Якщо гени зчеплені, то в якому стані вони перебувають у гетерозиготі – «притягання» (цис-положення) чи «відштовхування» (транс-положення)?

16. Гени D, N і M локалізовані в одній хромосомі у вказаному порядку. Відсоток перехресту між генами D та N відбувається з частотою 30 %, а між генами N та M – з частотою 20 %. Яке буде потомство першого покоління при схрещуванні особини DDNNMM з особиною ddnnmm? Яке буде потомство при схрещуванні гібридів першого покоління з вихідною особиною з генотипом ddnnmm?

17. При проведенні аналізуючого схрещування дигетерозиготи AaBb з подвійним рецесивом отримано таке розщеплення: AB – 235, Ab – 756, aB – 764, ab – 245. Як успадковуються гени? Якщо вони зчеплені, то яка між ними відстань? Визначте генотип гетерозиготи. Яке співвідношення фенотипів очікувати при проведенні аналізуючого схрещування з особинами, отриманими при схрещуванні гомозиготного подвійного домінанта з подвійним рецесивом?

18. При проведенні аналізуючого схрещування дигетерозиготи з подвійним рецесивом отримали таке розщеплення: 43,4 % – AB, 6,8 % – Ab, 7,1 % – aB і 42,7 % – ab. Як успадковуються гени? Яке буде потомство при схрещуванні гібридів першого покоління між собою?

19. Від схрещування самців дрозофіли з яскраво-червоними кольором очей та закрученими доверху крилами із самками дикого типу в F₁ всі мухи були дикого типу. У зворотньому схрещуванні самок з F₁ із самцями з яскраво-червоним кольором очей та закрученими доверху крилами одержали розщеплення: 1224 мухи дикого типу, 68 з червоними очима та закрученими доверху

крилами, 76 з яскраво-червоними очима і нормальними крилами і 1203 з яскраво-червоними очима та закрученими доверху крилами. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних мух і гібридів першого покоління. Яке розщеплення очікуєте одержати в потомстві від схрещування гібридів першого покоління між собою?

20. При схрещуванні рослин томату зі складним листком та багатогніздовими плодами з рослиною томату з простим листком та одногніздовими плодами в першому поколінні всі рослини були зі складними листками та одногніздовими плодами. Яке розщеплення повинно відбутись у другому поколінні, якщо ці ознаки успадковуються моногенно, гени знаходяться в одній аутосомі на відстані 32 % кросинговеру.

21. Рослина томату з великими чашолистиками та зменшеною складністю листа при схрещуванні з рослиною зі складним листом та середніми чашолистиками дало в першому поколінні рослини зі складним листом та середніми чашолистиками. Рослини із першого покоління повторно схрестили з рослиною зі зменшеною складністю листа та великими чашолистиками. Результати цього схрещування наведені нижче: 1744 – з великими чашолистиками та зменшеною складністю листа; 44 – з великими чашолистиками та складним листом; 67 – з середніми чашолистиками та зменшеною складністю листа; 1828 – з складним листом та середніми чашолистиками. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних рослин та гібридів першого покоління.

22. Гомозиготну рослину кукурудзи із забарвленим гладким насінням схрестили з гомозиготною рослиною, яка має зморшкувате незабарвлене насіння. В другому поколінні одержали такі результати: 21 – із забарвленими зморшкуватими насінням, 127 – із забарвленим гладким насінням, 29 – з незабарвленим зморшкуватим насінням, 23 – з незабарвленим гладким насінням. Поясніть результати схрещування, визначте генотипи вихідних рослин, генотипи і фенотипи рослин у першому поколінні.

23. Побудуйте генетичну карту ділянки III пари хромосом дрозофіли *Drosophila melanogaster* за результатами з рекомбінаціями між генами *crumpled* (*cr*), *eboni* (*e*), *pink* (*p*), *scarlet* (*st*), *sepia* (*se*), *sprineless* (*ss*), на основі поданих нижче даних:

se-st – 18 %, p-se – 22 %, se-ss – 32,5 %, e-se – 44,7 %, cr-se – 67 %, p-st – 4 %, ss-st – 14,5%, e-st – 26,7 %, cr-st – 49 %, p-ss – 10,5 %, e-p – 22,7 %, cr-p – 45 %, e-ss – 11,9 %, cr-ss – 34,5 %, e-cr – 22,3 %.

24. При схрещуванні гомозиготних білих курей без чубчиків з гомозиготними чорними півнями з чубчиками в першому поколінні всі курчата були білими та з чубчиками. Схрестивши курочок з першого покоління з чорними півнями без чубчиків отримали таке розщеплення: 7 курчат чорних без чубчика, 8 курчат білих з чубчиками, 67 курчат білих без чубчиків, 68 курчат чорних із чубчиками. Як успадковуються ознаки? Визначте генотипи вихідних птахів та гібридів першого покоління. Яке розщеплення очікуєте отримати в другому поколінні?

25. Від схрещування гомозиготних короткошерстих білоплямистих кролиць з ангорськими однотонними кролями всі нащадки першого покоління були короткошерсті однотонні. В другому поколінні відбулося розщеплення: 104 короткошерсті однотонні, 48 ангорських однотонних, 55 короткошерстих плямистих, 1 ангорський плямистий. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних тварин і гібридів першого покоління. Яке розщеплення буде спостерігатися в аналізуючому схрещуванні особин з першого покоління?

26. У миші ознака агуті (кожна волосина частково жовта, а частково чорна) та ознака блідість рецесивні, а гени, які відповідають за прояв цих ознак, розташовані на хромосомі на відстані 20,4 сМ один від одного. Яке розщеплення за фенотипом відбудеться в другому поколінні, якщо схрестити гомозиготну жовту небліду самку з блідим самцем агуті. Яке розщеплення за генотипом та фенотипом відбудеться при проведенні аналізуючого схрещування з гібридами першого покоління?

27. У кукурудзи всі алелі *an* (колосок пильовика), *br* (брахітичний) і *f* (тонка смужка) розміщені на першій хромосомі. За даними в таблиці визначте порядок генів у хромосомі та нанесіть на карту відстані між ними. Намалюйте генетичну карту цієї ділянки хромосоми.

Фенотип потомства	Кількість
+ + +	88
+ + <i>f</i>	21
+ <i>br</i> +	2
+ <i>br f</i>	339
<i>an</i> + +	355
<i>an</i> + <i>f</i>	2
<i>an br</i> +	17
<i>an br f</i>	55
загалом	879

28. У двох схрещуваннях, проведених з *Drosophila melanogaster* використовували дугоподібний (*a*, форма крила), чорний (*b*, забарвлення тіла) і морулу (*m*, форма фасетки ока):

- i) *abm* X + + +
 ii) *ab* + X + + *m*

Після схрещування самок F₁ із самцями *abm* отримано таке потомство:

Фенотип потомства	Кількість	
	i)	ii)
+ + +	613	95
+ <i>b</i> +	445	40
<i>a</i> + +	38	713
+ + <i>m</i>	82	851
<i>a b</i> +	55	884
+ <i>bm</i>	29	666
<i>a</i> + <i>m</i>	467	33
<i>abm</i>	514	79

Визначте відстань між генами та побудуйте карту хромосом для обох випадків схрещувань.

29. У кукурудзи в третій хромосомі виявлено такі алельні пари: $+,b$, $+,lg$ і $+,v$. Зворотнє схрещування потрійної рецесивної форми з рослиною F_1 , гетерозиготною для всіх трьох алельних пар, дало такі фенотипи в потомстві:

$+ v lg$	305	$bv +$	66
$b + lg$	128	$+++$	22
$bv lg$	18	$+ v +$	112
$+++ lg$	74	$b++$	275

Наведіть порядок розташування генів, відстань між ними, намалюйте карту та визначте коефіцієнт збігу.

30. Відповідно до наведених даних про кількість рекомбінованих особин між генами *black*, *curved*, *purple*, *speck*, *star* а *vestigial* на другій хромосомі *Drosophila melanogaster*, побудуйте карту так, щоб вона була максимально точна. Також знайдіть на цій карті гени *arc* та *morula* із задачі 28 (*arc* та *morula* знаходяться на протилежній стороні від *black* щодо *star*), *arc* та *morula* відносно *black* знаходяться на одній стороні, *arc* та *star* відносно *black* знаходяться на протилежних сторонах.

Пара генів	Загальна кількість особин	Кількість рекомбінованих особин
<i>black – curved</i>	62 679	14 237
<i>black – purple</i>	48 931	3 026
<i>black – speck</i>	685	326
<i>black – star</i>	16 507	6 250
<i>black – vestigial -</i>	20 153	3 578
<i>curved – purple</i>	51 136	10 205
<i>curved – speck</i>	10 042	3 037
<i>curved – star</i>	19 870	9 123
<i>curved – vestigial -</i>	1 720	141
<i>purple – speck</i>	11 985	5 474
<i>purple – star</i>	8 155	3 561
<i>purple – vestigial-</i>	13 601	1 609
<i>speck – star</i>	7 135	3 448
<i>speck – vestigial -</i>	2 054	738
<i>star – vestigial</i>	450	195

Успадкування ознак, зчеплених зі статтю

Теоретична частина

Стать більшості тварин і рослин генетично відрізняється однією парою хромосом, які називаються **статевими**. Статеві хромосоми (X, Y) відрізняються морфологією та набором генів і тому вважаються гетерологічними. Відповідно до зазначеного, розрізняють гомо- чи гетерогаметну стать. Решта хромосом ідентично представлені в клітинах обох статей і мають назву **аутосоми**.

У різностатевих організмів в основному стать визначається хромосомно за:

- чисельною відмінністю статевих хромосом (X, 0),
- наявністю статевих гетерохромосом (X, Y),
- відмінностями щодо хромосомних наборів (*гапло* – *диплобійонти* n , $2n$).

В цілому, належність особин до тієї чи іншої статі визначається багатьма неалельними генами, які містяться не тільки у статевих хромосомах, але й у аутосомах. Тому особливості каріотипу не завжди збігаються з наявністю тих чи інших статевих ознак. Певне співвідношення між генами статевих потенцій, розташованих в аутосомах і X-хромосомі, визначальне у формуванні відповідної статі у дрозофіли. Цей факт – основа балансової теорії визначення статі.

Залежно від хромосомної локалізації гена спостерігаються особливості успадкування ознаки. Якщо гени локалізовані у статевих хромосомах, тоді характер успадкування зумовлений поведінкою статевих хромосом у мейозі та під час запліднення. Успадкування ознак, гени яких розміщені у статевих хромосомах, називається **успадкуванням, зчепленим зі статтю**. Це явище відкрите Т. Морганом у дослідях на дрозофілі, а в подальшому встановлено для рослин, багатьох тварин і людини.

Установлені певні особливості успадкування та розщеплення за фенотипом ознак, зчеплених зі статтю, залежно від гомо- чи гетерогаметності нащадків:

- різні результати за реципрокного схрещування;
- кріс-крос успадкування, коли ознака від матері передається синам, а від батька – донькам за умови розташування рецесивної алелі гена в Х-хромосомі у гомогаметної статі;
- голандричне успадкування – гени, розташовані в У-хромосомі й передаються від батька до сина;
- неповне зчеплення зі статтю пов'язане з наявністю обох алелей генів у статевих хромосомах (Х і У).

В окремих випадках може відбуватися нерозходження статевих хромосом, що може змінювати як фенотип статевих ознак, так і звичайний характер успадкування ознак, зчеплених зі статтю.

У різностатевих організмів може бути неоднакова доза генів, що зумовлено різною їх кількістю в гетерологічних статевих хромосомах (Х та У) і відсутністю відповідних алелей у більшості генів. Тому існують різні механізми дозової компенсації генів. Наприклад, у плацентарних ссавців (миша, кішка, людина) дозова компенсація здійснюється за рахунок інактивації однієї з двох Х-хромосом з утворенням в інтерфазних ядрах соматичних клітин гетерохроматинових *тілець Барра*, кількість яких в диплоїдних клітинах дорівнює кількості Х-хромосом мінус одиниця ($B = X - 1$). Отже, у жінок у нормі в кожному ядрі повинно бути одне тілець Барра. У чоловіків статевого хроматину майже немає.

Приклади розв'язку задач

Приклад № 1. Дві червоноокі довгокрилі особини дрозофіли при схрещуванні між собою дали таких нащадків:

самки: 154 червоноокі довгокрилі, 48 червоноокі з зародковими крилами;

самці: 98 червоноокі довгокрилі, 25 червоноокі із зародковими крилами, 95 білоокі довгокрилі, 32 білоокі із зародковими крилами. Як успадковуються ознаки? Визначте генотипи батьків і нащадків.

Короткий запис умови задачі

Об'єкт: дрософіла.

Ознака: успадкування забарвлення очей і форми крил.

P ♀ червоноок. довгокрил. x ♂ червонок. довгокрил.

F ₁ :	самки	самці
	154 червоноок. довгокрил.	98 червоноок. довгокрил.
	<u>48</u> червоноок. зарод. кр.	25 червоноок. зарод. кр.
Σ 202		95 білоок. довгокрил.
		<u>32</u> білоок. зарод.кр.
		Σ250

Як успадковуються ознаки? Генотипи батьків і нащадків.

Р о з в ' я з о к

1. Проаналізуємо успадкування за кожною ознакою. Перша ознака – *забарвлення очей*. Оскільки в F₁ розщеплення спостерігається лише у самців, допускаємо зчеплення ознаки зі статтю. Розщеплення у самців:

червоноок.	білоок.
98	95
<u>25</u>	<u>32</u>
123	127

Розщеплення 1:1, відхилення дуже мале, так що нема необхідності перевіряти значимість відхилення по χ^2 . Розщеплення 1:1 свідчить про моногенне успадкування ознаки і про гетерозиготність вихідної самки. Оскільки ознака зчеплена зі статтю, домінування можна встановити за гетерозиготністю самки, отже, домінує червоне забарвлення над білим. Вводимо алелі: X^A – черв., X^a – біл., генотип самки – X^AX^a генотип самця – X^AY.

2. Проаналізуємо успадкування за другою ознакою – *довжиною крил*. В F₁ розщеплення у самок і самців:

	довгокрил.	зарод. кр.
самці:	98	25
	<u>95</u>	<u>32</u>
Σ 193		57
самки:	154	48
Σ по ♀ і ♂	347	105

Розщеплення свідчить про гетерозиготність вихідних мух, про незчеплені ознаки зі статтю. Оскільки спостерігається розщеплення на два класи з переважанням ознаки довгих крил. Допускаємо моногенне успадкування. Визначаємо величину одного поєднання гамет в розщепленні: $452:4=113$, визначаємо розщеплення в досліді: $347:113=3,1$; $105:113=0,9$, тобто приблизно 3:1. Перевірка гіпотези про моногенне успадкування по χ^2 її не заперечує. Вводимо позначення алелів: В – довгокр., b – зарод.кр., генотипи самки і самця по цій ознаці Bb.

3. Аналіз розщеплення за двома ознаками. Нульова гіпотеза: ознаки успадковуються незалежно, оскільки одна з них зчеплена зі статтю, а друга успадковується за аутосомним типом. Очікуване розщеплення: по самцях: (1 червоноокий : 1 білоокий) х (3 довгокрилі : 1 – зародкові крила) = 3 червоноокий довгокрилі : 3 білоокий довгокрилий : 1 червоноокий, зародкові крила : 1 білоокий, зародкові крила.

У самок розщеплення відбувається лише за аутосомним геном, який контролює довжину крил у співвідношенні 3 довгокрилі : 1 зародкові крила.

Перевірка розщеплення по χ^2 не заперечує гіпотези.

Висновки

1. Забарвлення очей контролюється одним геном, локалізованим в X-хромосомі, червоне забарвлення домінує над білим.
2. Довжина крил контролюється одним геном, локалізованим в аутосомі, довгі крила домінують над зародковими.
3. Ознаки успадковуються незалежно.

Генотипи вихідних мух: самка $X^A X^a Bb$; самець – $X^A Y Bb$.

Приклад № 2. Дівчина, яка має нормальний зір, батько якої страждав на дальтонізм, виходить заміж за чоловіка з нормальним зором, батько якого теж був дальтоніком. Який зір може бути у дітей від цього шлюбу?

Короткий запис умови задачі

Об'єкт: людина

Ознака: успадкування кольорового зображення

P: ♀ нормальний зір х ♂ нормальний зір

Батько жінки – дальтонік і батько чоловіка – дальтонік

Який зір у дітей від цього шлюбу?

Р о з в ' я з о к

1. Відомо, що дальтонізм – рецесивна ознака, зчеплена зі статтю, яка контролюється одним геном. Введемо позначення алелів: X^D – нормальний зір, X^d – дальтонізм. Ознака, зчеплена зі статтю, обов'язково проявляється у чоловіків, оскільки вони гемізіготні за цією ознакою. Отже, можна записати генотипи всіх чоловіків: батьки – дальтоніки, мають генотип X^dY , чоловік із нормальним зором X^DY . Жінка має нормальний зір, отже, в її генотипі наявний алель D , оскільки одну X -хромосому жінка завжди отримує від батька, вона гетерозиготна, її генотип X^DX^d , і вона є носієм дальтонізму. Отже, обоє батьків можуть утворювати два типи гамет.

2. Запишемо схему схрещування:

$$\begin{array}{l} P \quad \text{♀} \cdot X^DX^d \times \text{♂} X^DY \\ G \quad X^D, X^d \quad \quad X^D, Y \\ F_1 \quad X^DX^D(\text{♀}), X^DX^d(\text{♀}), X^DY(\text{♂}), X^dY(\text{♂}) \end{array}$$

Фенотипово нащадки будуть такі: всі дівчатка з нормальним зором (50 % – носії дальтонізму) та 50% здорових хлопчиків і 50 % – дальтоніки.

Висновки

Від цього шлюбу можуть народитися дівчатка з нормальним зором, причому половина з них – носії дальтонізму; серед хлопчиків половина виявиться дальтоніками.

Задачі для самостійного розв'язку

1. Здорова жінка, яка розрізняє смак фенілтіокарбаміду (ФТК) одружилася з чоловіком, який страждає на гемофілію та нездатний розрізняти смак ФТК. У них було дві доньки та чотири сини. Обидві доньки розрізняли смак ФТК та не хворіли на гемофілію. Всі сини не хворіли на гемофілію, причому два розрізняли смак ФТК, а два не розрізняли. Який характер успадкування ознак? Визначте генотипи батьків і дітей.

2. Чоловік, який нормально розпізнавав кольори (не дальтонік) та мав IV групу крові, одружився з жінкою, у якої була I група крові, а сама вона розпізнавала кольори, проте її батько був дальтонік. Який характер успадкування ознак? Визначте генотипи подружньої пари.

Які фенотипи та з якою імовірністю можна очікувати у дітей вищезазначеного подружжя?

3. Від схрещування чорного півня з рябою курочкою серед нащадків виявлено 40 рябих півників та 44 чорні курочки. Провели обернене схрещування та встановили, що всі нащадки (півники і курочки) були рябими. Визначте характер успадкування ознаки. Які результати очікуєте отримати в другому поколінні при проведенні реципрокного схрещування?

4. При схрещуванні півня з кучерявим пір'ям і зеленими ногами з куркою, яка мала нормальне пір'я і жовті ноги, в F_1 усі півні були з кучерявим пір'ям і жовтими ногами, а курочки – з кучерявим пір'ям і зеленими ногами. В F_2 з'явилися півники і курочки чотирьох фенотипів: 73 – з кучерявим пір'ям і жовтими ногами, 71 – з кучерявим пір'ям і зеленими ногами, 21 – з нормальним пір'ям і жовтими ногами, 18 – з нормальним пір'ям і зеленими ногами. Як успадковуються ознаки? Які фенотипи в F_1 і F_2 оберненого схрещування?

5. Від чорної кішки і рудого кота народилося троє кошенят: кішка з черепаховим забарвленням і два чорні коти. Який генотип батьків і нащадків? (Забарвлення шерсті у котів контролюється одним геном із неповним домінуванням, який локалізований в Х-хромосомі).

6. При схрещуванні самки дрозофіли з коричневими очима і нормальними крилами з червонооком самцем з обрізаними крилами у F_1 всі самки і самці мали червоні очі та нормальні крила, а у F_2 відбулося розщеплення: самки – 161 з червоними очима і нормальними крилами, 42 – з коричневими очима і нормальними крилами; самці – 76 з червоними очима і нормальними крилами, 80 з червоними очима і обрізаними крилами, 26 з коричневими очима і нормальними крилами, 18 з коричневими очима і обрізаними крилами. Як успадковуються ознаки? Визначте генотипи вихідних мух і нащадків в F_1 . Що буде отримано в F_1 і F_2 оберненого схрещування?

7. При схрещуванні білого самця акваріумної рибки медакі з червоною самкою в першому поколінні всі самці і самки були червоними, а в F_2 – 117 червоних обох статей і 43 білі самці. В оберненому схрещуванні в F_1 появилось 197 білих самців і 130 червоних самок. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних риб. Яке розщеплення очікується в F_2 зворотного схрещування серед 200 нащадків?

8. Відсутність потових залоз у людей успадковується як рецесивна ознака зчеплена зі статтю. Юнак, який не страждає на це захворювання, одружився зі здоровою дівчиною, батько якої не мав потових залоз, а мати і її пращури здорові. Яка імовірність того, що сини і дочки від цього шлюбу будуть страждати на відсутність потових залоз? Якщо дружини синів і чоловіки дочок будуть здоровими, чи будуть здорові їхні діти?

9. Чоловік із блакитними очима і нормальним зором, батьки якого мали сірі очі і нормальний зір, одружився з нормальною за зором жінкою із сірими очима. Батьки жінки мали сірі очі і нормальний зір, а блакитноокий брат був дальтоніком. Від цього шлюбу народилася дівчинка із сірими очима і нормальним зором і два блакитноокі хлопчики, один із яких був дальтоніком. Складіть родовід і визначте генотипи всіх членів цієї сім'ї.

10. Жінка з групою крові А і нормальним згортанням крові (здорова) виходить заміж за здорового чоловіка з групою крові В. Від цього шлюбу народилося троє дітей: Ірина – здорова, з групою крові А; Дмитро – здоровий з групою крові 0; Іван – гемофілік з групою крові А. Відомо, що батьки жінки були здоровими, мати мала групу крові 0, а батько – АВ. У чоловіка батько і мати здорові, їхні групи крові А і В відповідно. Поясніть від кого Іван успадкував гемофілію. Визначте генотипи всіх членів сім'ї.

11. У нормальної за зором жінки батько страждає на кольорову сліпоту. Двоє її братів, а також дядько по материнській лінії хворі

на гемофілію. Чоловік цієї жінки дальтонік, їх син страждає на гемофілію, а дочка – дальтонік. Визначте генотипи членів цієї сім'ї. Яка імовірність того, що дочка є носієм гемофілії?

12. У людини відсутність потових залоз проявляється як рецесивна ознака, зчеплена зі статтю. Альбінізм зумовлений аутосомним рецесивним геном. В одній подружньої пари, нормальної за даними ознаками, народився син із двома цими аномаліями. Вкажіть імовірні генотипи батьків. Яка імовірність того, що у другого сина також проявляться обидві ці аномалії? Яка імовірність того, що їхня третя дитина буде нормальною дівчинкою?

13. Чоловік із групою крові АВ, який страждає на дальтонізм, одружився з дівчиною з нормальним зором і групою крові 0. Батько дівчини дальтонік і має групу крові А. Від цього шлюбу народилося двоє дітей: дівчинка з нормальним зором і групою крові А і хлопчик з нормальним зором і групою крові В. Складіть родовід сім'ї, вкажіть генотипи всіх членів сім'ї. Яка імовірність народження у цих людей дітей-дальтоніків? Чи можуть народитися діти з групою крові батьків?

14. Деякі породи курей мають золотисто-руде пір'я завдяки рецесивній алелі g на W-хромосомі (пташиний еквівалент X-хромосоми ссавців). Наявність домінантної алелі G дає сріблясте забарвлення. Аутосомна рецесивна алель s дає шовковисте м'яке пір'я. Які генотипи та фенотипи для кожної статі можна очікувати від схрещення рудого півня, гетерозиготного за геном s із куркою, яка має шовковисте сріблясте пір'я? (Пригадайте, що у птахів самки гетерогаметна стать WZ, а самці – гомогаметна WW).

15. Миші з однією X-хромосомою та без Y-хромосоми (тобто з набором статевих хромосом XO) – фертильні самки. Враховуючи, що для життєздатності потрібна щонайменше одна X-хромосома, яке співвідношення статей варто очікувати серед життєздатних нащадків схрещення XO (самка) x XY (самець)?

16. Батько дівчини дальтонік, а мати, як і всі її предки, відрізняє кольори нормально. Дівчина виходить заміж за здорового хлопця. Якими будуть їхні діти та онуки за умови, що сини і дочки не будуть вступати в шлюб з носіями гена дальтонізму? При відповіді на запитання зазначте стать та здатність розрізняти кольори.

17. Самок дрозофіли з нормальними очима схрестили із самцями, які мали білі очі. У F_1 отримали самок і самців дикого типу. При схрещуванні гібридних самок з першого покоління із червоноокими самцями отримали 530 самок із червоними очима, 230 самців із червоними очима та 255 білооких самців. Як успадковується ознака? Визначте генотипи батьків та нащадків.

18. *Мініатюрна* (*m*) мутація у *Drosophila melanogaster* представляє тип з маленькими вузькими крилами, які лише трохи виходять за межі черевця, темно-сірого забарвлення, що зумовлене густо скупченими волосками на клітинах зменшених розмірів. При схрещуванні особин з популяції, в якій трапляється ця мутація, отримано такі чисельні співвідношення в потомстві: 304 – з нормальною довжиною крил, серед яких 204 – самки та 100 – самці та 96 – з маленькими вузькими крилами, всі самці. Поясніть результати, схематично намалювавши гетерохромосоми батьків та їхніх нащадків із відповідними символами генів.

19. *Мініатюрна* (*m*) мутація у *Drosophila melanogaster* представляє тип з маленькими вузькими крилами, які лише трохи виходять за межі черевця, темно-сірого забарвлення, зумовлене густо скупченими волосками на клітинах зменшених розмірів. При схрещуванні особин з популяції, в якій трапляється ця мутація, отримано такі чисельні співвідношення в потомстві: 301 – з нормальною довжиною крил, серед яких тільки самки, та 298 – з маленькими вузькими крилами, серед яких тільки самці. Як успадковується ознака? Визначте генотипи батьків і нащадків.

20. У кішок алель *B* викликає руде забарвлення шерсті, рецесивний алель *b* викликає чорне забарвлення

шерсті. Гетерозиготні особини забарвлені в чорно-рудий колір. Ця алельна пара зчеплена зі статтю. Яким буде потомство, якщо схрестити тигрову кішку з чорним котом? Чи з'явиться у потомстві від зазначеного схрещування кошеня тигрового кольору?

21. У кішок алель В викликає руде забарвлення шерсті, рецесивний алель b викликає чорне забарвлення шерсті. Гетерозиготні особини забарвлені в чорно-рудий колір. Ця алельна пара зчеплена зі статтю. Напишіть, яка ймовірність того, що при схрещуванні тигрового кота з чорним вийде чорна кішка, чорний кіт.

22. У кішок алель В викликає руде хутро, рецесивний алель b викликає чорне хутро. Гетерозиготні особини забарвлені в чорно-рудий колір. Ця алельна пара зчеплена зі статтю. У смугастої кішки було вісім кошенят: один рудий і два чорних коти, а також двоє рудих і троє смугастих кішечок. Якого кольору батько і який його генотип?

23. У кішок алель В викликає руде забарвлення шерсті, рецесивний алель b викликає чорне забарвлення шерсті. Гетерозиготні особини забарвлені в чорно-жовтий колір. Ця алельна пара зчеплена зі статтю. У приплоді рудої кішки було четверо кошенят, одне руде і троє тигрових. Визначте, яким був їхній імовірний батько за кольором. Яка ймовірна стать рудого кошеняти?

24. У кішок алель В викликає руде забарвлення шерсті, рецесивний алель b викликає чорне забарвлення шерсті. Гетерозиготні особини забарвлені в чорно-рудий колір. Ця алельна пара зчеплена зі статтю. Припустімо, ви хочете підтвердити, що у кішок, як і у мишей, особини ХО фенотипно жіночої статі. Яке забарвлення кошенят очікується від різних схрещувань батьків? Виберіть найправильніше рішення. Яке забарвлення може мати кішка Х0?

25. Дальтонізм у людей на чорний і зелений колір спричинений рецесивним алелем гена, який повністю зчеплений із Х-хромосомою. Жінка з нормальним зором, чий батько був дальтоніком, вийшла заміж за дальтоніка. Який генотип жінки? Яка ймовірність того, що її

перша дитина буде сином-дальтоніком? Яка частка дітей від цього шлюбу (незалежно від статі) була б нормально зрячою? Яка ймовірність дальтонізму серед дочок?

26. У *Drosophila melanogaster* є рецесивний алель *vg* (рудиментарний) на другій хромосомі, що викликає загальмований розвиток крил. Рецесивний алель *w* (white) іншого гена, розташований в негомологічній ділянці X-хромосоми, визначає білий колір очей. Якими будуть нащадки в першому та другому поколіннях, якщо ми схрестимо гомозиготну білооку самку з нормальними крилами та гомозиготного червоноокого самця з рудиментарними крилами? Яким буде потомство від схрещування гібридів першого покоління з кожним із батьківських форм?

27. У *Drosophila* мутація Bar-смугоподібні очі має такий характер успадкування: 1) самця Bar схрестили із самкою з нормальними очима, у нащадків отримали таке розщеплення – всі самці були з нормальними очима, а всі самочки зі смугоподібними очима; 2) самочку зі смугоподібними очима з попереднього схрещування (1) схрещували зі самцем з нормальними очима отримали потомство з таким розщепленням 1:1 Bar : дикий тип самці та Bar : дикий тип самки. Який характер успадкування досліджуваної ознаки? Визначте генотипи батьків у першому та другому схрещуванні.

Генетика популяцій

Теоретична частина

Біологічні види займають певну територію, яка має назву «ареал». У межах ареалу виду є відповідні ділянки зі щільнішим розташуванням особин. Такі внутрішньовидові територіальні угруповання називаються **популяціями**. Зародження нових видів починається з генетичних перебудов, які відбуваються в окремих популяціях. **Популяції** – це сукупність організмів певного виду, які мають спільне походження (спорідненість), здатні до схрещування (гібридизації) з утворенням плодючих нащадків і мешкають на одній території.

Популяції залежно від способу розмноження поділяються на три типи: **апогамні популяції** – рослини й тварини, які розмножуються вегетативно; **автогамні популяції** – самозапильовальні рослини та самозапіднювальні тварини; **алогамні популяції** – перехреснозапильовальні рослини та перехреснозапіднювальні тварини.

Генетична структура зазначених популяцій відрізняється. У кожній з них генетична перебудова у часі відбувається за власними законами. Апогамні популяції складаються із окремих клонів. Генетична структура кожного клону, ступінь його гомозиготності чи гетерозиготності визначаються особливостями генотипу попередника. Генетична неоднорідність організмів у межах одного клону може бути зумовлена виникненням мутантних форм. Автогамні популяції складаються із чистих, але генетично різноманітних ліній, які не схрещуються між собою і не обмінюються генетичною інформацією. Генетична різноманітність організмів зазначених популяцій зумовлена незначною часткою перехресного схрещування та виникненням мутацій. Алогамні популяції гетерогенні за рахунок перехресного запліднення, генетичної рекомбінації, поліалельності, утворення мутації. Ознаки і властивості особин зберігаються і розподіляються в популяції за закономірностями, встановленими Г. Менделем і Т. Морганом.

Для вивчення генетичної структури популяцій можна використовувати будь-які ознаки, котрі характеризуються в даній популяції мінливістю. Однак мінливість їх повинна певною мірою відображати генотипову мінливість особин.

Популяція за своєю генетичною структурою підпорядковується менделівським законам спадковості, які проявляються не в межах окремого схрещування, а в цілісній сукупності особин. **За наявності в популяції двох або більше альтернативних форм гена (алелів) їх частота залишається постійною протягом нескінченної кількості генерацій.** Це положення відоме як **закон Харді–Вайнберга** і справджується щодо ідеальних популяцій. Для останніх характерна **панміксія** – нескінченно велика чисельність особин за умов відсутності добору, мутацій і міграцій. Таку популяцію можна вважати пулом гамет, які формують зиготи – наступну генерацію. При цьому для будь-якого аутосомного локусу імовірність того, що до однієї зиготи можуть потрапити два будь-які алелі (імовірність утворення того або іншого генотипу), згідно з правилом помноження ймовірностей, буде дорівнювати подвоєному добутку частот цих алелів $2p_Aq_a$, а якщо це один алель, то в цьому разі імовірність дорівнюватиме квадрату його частоти (p^2_{AA} або q^2_{aa}).

Незалежно від вихідного співвідношення генотипів (і фенотипів) за будь-якого конкретного співвідношення частот алелів даного аутосомного гена внаслідок схрещування формується перше покоління з таким співвідношенням генотипів і фенотипів, яке згодом буде зберігатися протягом необмежено великої кількості поколінь. Це правило зветься **законом стабілізуючого схрещування Харді–Пірсона**, саме схрещування – **стабілізуючим**, частоти генотипів і фенотипів, які сформувалися, – **рівноважними**, а стан популяції, за яким частоти алелів і генотипів зберігаються сталими у ряду генерацій, зветься **генетичною, або популяційною рівновагою**.

У загальних випадках для позначення частот алелів використовують літеру p із відповідним індексом: p_A – означає частоту алеля A , p_a – частоту алеля a тощо. Якщо маємо справу з двома алелями, їхні частоти позначаються літерами p і q ; якщо ж

алелів три, то використовують позначення **p, q і r**. Сума частот усіх алелів одного гена дорівнює одиниці:

$$p + q = 1.$$

За випадкового комбінування гамет частоти генотипів, які формуються, будуть визначатися згідно з правилами множення імовірностей:

$$(p + q)(p + q) = (p + q)^2 = p^2_{AA} + 2pq_{Aa} + q^2_{aa} = 1,$$

де p^2 , $2pq$ і q^2 відповідно дорівнюють частотам генотипів AA, Aa, aa.

Вираз $p^2(AA) + 2pq(Aa) + q^2(aa) = 1$ – *формула Харді–Вайнберга*

для двох алелів аутосомного локусу.

Частоти генотипів для будь-якої кількості алелів здобувають піднесенням відповідного виразу до квадрата.

Вивчаючи структуру популяцій, дослідник завжди має справу з фенотипами. Визначення частот генотипів *за кодомінування* (коли кожному конкретному фенотипу відповідає конкретний генотип) труднощів не викликає. Якщо ж має місце домінування, то в такому разі частоти генотипів визначаються за формулою Харді–Вайнберга. При цьому виходять із частот генів, які обчислюють за частотами фенотипів, припускаючи, що означена популяція перебуває у стані рівноваги й відповідає ідеальній популяції.

Природна популяція завжди підлягає тиску тих чи інших чинників, які з часом призводять до змін і дивергенції біологічних форм. В основі генетичної мінливості популяцій лежать процеси мутаційної і комбінаційної мінливості, які є причиною змін частот алелів і генотипів. Ці процеси можуть супроводжуватись певними відхиленнями від формули Харді–Вайнберга. Найбільш значні порушення генетичної структури популяцій спричиняють такі фактори динаміки: відсутність або обмеження панміксії; значне обмеження чисельності популяцій (дрейф генів); міграція особин (змішування популяцій або потік генів); мутаційний процес (тиск мутацій); вплив добору. А в популяціях людини, крім того, часто *панміксія* пов'язана з тим, що шлюби утворюються на основі суспільного становища, релігійних, расових, національних та інших поділів суспільства.

Зміна генетичної будови будь-якої реально існуючої популяції являє собою інтегральний результат спільної дії всіх факторів. Відносне значення кожного фактора може значно змінюватись залежно від виду організмів, вихідної генетичної структури популяції, від біотичних і абіотичних умов, які склалися. Для визначення стратегії розвитку популяції використовують закон Харді-Вайнберга і отримані результати порівнюють з імовірними теоретичними розрахунками. Найчастіше популяційні дослідження проводять з метою обґрунтування промислового використання ресурсів лісу та водойм, розрахунку частоти всіх генів і генотипів у популяції, зокрема за множинного алелізму, розрахунку частоти генотипів у різностатевих організмів у разі успадкування, зчепленого зі статтю.

Приклади розв'язку задач

Приклад № 1. В популяції 10 % особин має групу крові М. Допускаючи панміксію і відсутність відбору, визначте, який відсоток особин у цій популяції має групи крові N і MN.

Р о з в ' я з о к

Частота людей із групою крові М є частотою гомозигот ММ. Вона дорівнює $p^2 = 0,10$ (10 %). Звідси p , тобто частота гена М у популяції, дорівнює $\sqrt{p^2} = \sqrt{0,1} = 0,32$. Тоді, по закону Харді-Вайнберга, частота гена N у цій популяції дорівнює $1 - 0,32 = 0,68$, отже, частота генотипу NM за формулою дорівнює $2pq = 2 \cdot 0,32 \cdot 0,68 = 0,435$ (43,5 %), частота генотипу NN $q^2 = 0,462$ (46,2 %).

Висновок : особини з групою крові N складають 46,2 %, а групою крові MN – 43,5 %.

Приклад № 2. У популяції зайців на 1000 сірих трапляється 10 білих особин. Визначте концентрації алелів А (сіре забарвлення) і а (біле забарвлення), а також кількість гомозиготних та гетерозиготних особин.

Р о з в ' я з о к

1. Визначимо сумарну кількість особин у популяції зайців частоту білих особин: $1000+10 = 1010$ – загальна кількість особин. Частота фенотипу білих зайців складає $10: 1010 = 0,0099$.

2. За умовами задачі між алельними генами повне домінування. Отже, визначення частот алелів гена необхідно використати формули Харді-Вайнберга. Частота рецесивного генотипу (q^2) співпадає із частотою рецесивного і складає $0,0099$. Частота алеля a (q) $= \sqrt{q^2} = \sqrt{0,0099} = 0,099$. Частота алеля A (p) $= 1 - q = 1 - 0,099 = 0,901$.

3. Визначимо частоту домінантних гомозигот і гетерозигот. Частота AA (p^2) $= 0,901^2 = 0,812$. Частота гетерозигот Aa ($2pq$) $= 2 \times 0,099 \times 0,901 = 0,178$.

4. Визначимо кількість гомозиготних та гетерозиготних особин: $AA = 1010 \times 0,812 = 820$; $Aa = 1010 \times 0,178 = 180$; $aa = 1010 \times 0,0099 = 10$.

Висновок: Частота алеля a (q) $= 0,099$, алеля A (p) $= 0,901$. Кількість гомозиготних та гетерозиготних особин: $AA = 820$; $Aa = 180$; $aa = 10$.

Приклад № 3. Дальтонізм у людини визначається рецесивним алелем Х-хромосоми. Припустимо, що частота чоловіків-дальтоніків у популяції становить $0,004$. Обчисліть частоти фенотипів у цій популяції.

Р о з в ' я з о к

1. У разі рецесивних ознак, зчеплених зі статтю, частота осіб чоловічої статі дорівнює частоті рецесивного алеля в популяції ($q=0,004$).

2. Частка здорових чоловіків: $1-0,004 = 0,996$.

3. Частота жінок-дальтоніків: $q^2 \times 100 \% = 0,0016 \%$, а частота здорових жінок: $p^2 + 2pq = 0,996^2 + 2 \times 0,996 \times 0,004 = 0,999984 \times 100 \% = 99,9984 \%$.

Приклад № 4. Серед 1000 обстежених людей кров груп M , MN та N мали відповідно 300, 500 та 200 осіб. Обчисліть частоти алелів.

Р о з в ' я з о к

1. Належність крові до груп системи MN визначають два алелі одного гена $L^M L^N$. Можливі три генотипи $L^M L^M$ (група M), $L^M L^N$ (група MN) та $L^N L^N$ (група NN). Особини з групою крові M мають по два алелі L^M , з групою крові MN – по одному алелю L^M та L^N , з групою крові N мають по два алелі L^N . Одже, загальна кількість алелів L^M у досліджуваній вибірці становить $(300 \times 2) + 500 = 1100$.
2. Оскільки кожна особа має по два алелі гена L, то загальна кількість алелів цього гена $1000 \times 2 = 2000$.
3. Отже, частота алеля L^M становить $1100/2000 = 0,55$
4. Аналогічно визначаємо частоту алеля L^N :
 $((200 \times 2) + 500)/2000 = 0,45$

Висновок: частота алеля L^M (p) = 0,55, алеля L^N (q) = 0,45.

Задачі для самостійного розв'язку

1. З 84 тисяч дітей, які народилися протягом 10 років у пологових будинках міста К., у 210 дітей знайдено паталогічну рецесивну ознаку. Популяція цього міста відповідає умові панміксії. Визначте її генетичну структуру і частоту рецесивного алеля даної популяції.
2. Спадкова метгемоглобінемія (збільшення вмісту метгемоглобіну в крові внаслідок дефекту ферменту діафрази) успадковується як рецесивна ознака. В популяції ескімосів Аляски хвороба трапляється з частотою 0,9 %. Визначте частоту гетерозигот у популяції.
3. У певній популяції альбіноси (генотип aa) трапляються з частотою 0,00005. Визначте частоти алелів і різних генотипів в даній популяції.
4. При дослідженні групи крові в місті встановлено, що серед 4200 людей 1218 – з групою M, 882 людини – з групою N та 2100 – з групою MN. Визначте частоти алелів і генотипів.

5. Група особин складається з 30 гетерозигот і 1000 гомозигот АА. Визначте частоти алелів А і а в популяції і частоти генотипів у ній в наступному поколінні за умови панміксії.

6. У популяціях Європи частота альбінізму (генотип аа) становить $7 \cdot 10^{-5}$. На яку кількість людей у популяції припадає один альбінос? Один носій гена альбінізму?

7. У популяції населення одного приморського міста протягом двадцяти років народилося 26 тисяч дітей, з яких 11 були гомозиготами за рецесивним геном th, який спричинює анемію Кулі (таласемію). При цій хворобі порушується синтез гемоглобіну й еритроцити набувають форми мішені. Визначте генетичну структуру популяції, тобто частоту генотипів ThTh, Thth, thth.

8. Фруктозія спричинюється рецесивним геном f, трапляється з частотою $7 \cdot 10^{-6}$. Визначте частоту зустріваності домінантного та рецесивного алелів F і f. На яке число особин популяції припадає один носій захворювання?

9. Домінантний ген R зумовлює розвиток у людини здатності згортати язик трубочкою, а його рецесивний алель такої здатності не надає. Як можна обчислити частоту алеля, що зумовлює здатність згортати язик трубочкою, якщо відомо, що 64 % опитаних жителів міста Балтімора (США) мають цю здатність, а 36 % – ні?

10. У популяції лисиць за кольором хутра трапляються червоні, чорно-бурі й сиводушки. В одній популяції, яка складається зі 176 особин, виявлено 86,4 % червоних особин. Визначте відсоток чорно-бурих лисиць і сиводушок.

11. У США близько 70 % населення відчуває гіркий смак фенілтіокарбаміду (ФТК), а 30 % не відрізняє його на смак. Здатність відчувати смак ФТК визначається домінантним геном А. Визначте частоту алелів А і а, а також генотипів АА і аа у даній популяції.

12. У Великій Британії на 20 000 дітей народжується один альбінос. Визначте частоту алелів A і a , а також кількість гомозиготних і гетерозиготних особин у даній популяції за геном альбінізму.

13. У корів шортгорн червона масть неповно домінує над білою. Гібриди від схрещування червоних особин із білими мають чалу масть. У регіоні, який спеціалізується на розведенні шортгорнів, зареєстровано 4169 червоних тварин, 3780 чалих і 756 білих. Визначте частоту генів, які зумовлюють червону і білу масті у даному регіоні.

14. Альбінізм трапляється з частотою 1:20 000. Визначте кількість гетерозигот у популяції.

15. Фенілкетонурія в Данії трапляється з частотою 1:50 000 населення. Визначте кількість гетерозигот серед населення.

16. Визначте частоту (p) домінантного алеля і частоту (q) рецесивного алеля у вибірках із популяцій: а) 400 особин AA і 50 особин aa ; б) 500 особин Bb і 25 bb ; в) 700 особин CC і 350 особин Cc ; г) 60 особин DD і 40 особин dd .

17. У вибірці з 84 000 рослин жита 210 – альбіноси. Визначте генетичну структуру популяції та кількість рослин-носіїв мутантного гена альбінізму.

18. Визначте число носіїв мутантного гена, якщо відомо, що в популяції трапляється один хворий на 800 особин. Як зміниться генетична структура популяції, якщо частота рецесивного гена зменшиться у два рази?

19. Визначте частоту (p) домінантного алеля A і частоту (q) рецесивного алеля a в популяціях:

- а) AA – 36 %, Aa – 48 %, aa – 16 %;
- б) AA – 72 %, Aa – 13 %, aa – 15 %;
- в) AA – 24 %, Aa – 60 %, aa – 16 %.

Який тип добору діє в кожній із цих популяцій?

20. Рецесивний алель Х-хромосоми визначає у людини нездатність розрізняти кольори (дальтонізм). Частота чоловіків-дальтоніків у певній популяції становить 0,008. Обчисліть частоти фенотипів у цій популяції.

21. У популяції 1300 осіб мають кров групи 0; 800 – А, 300 – В, 100 – АВ. Обчисліть частоти алелів I^A , I^B , i^0 у цій популяції.

22. У популяції нічної красуні *Mirabilis jalapa* три рослини мають червоні квіти, 44 – рожеві, а 55 – білі. Обчисліть частоти алелів, які визначають колір квітів у цій популяції.

23. При вивченні панміктичної популяції встановлено частоту особин гомозиготних за кількома рецесивними генами: aa – 5%, bb – 0,5 %, cc – 0,05 %, dd – 0,005 %, ee – 0,0005 %. Обчисліть частоту домінантних і рецесивних алелів цих генів і частоту генотипів.

24. В одній панміктичній популяції частота алеля b становить 0,4, а в іншій – 0,8. Яка кількість носіїв рецесивного гена в кожній популяції, якщо загальна кількість особин становить 1000? Зазначте еволюцію цих популяцій за умови дії рушійного добору на користь рецесивного алеля.

25. У популяції щурів впродовж року народилося 4 % альбіносів (рецесивна ознака). Визначте частоти алелів і частку гетерозигот у цій популяції за умови панміксії.

26. У містечку з населенням 380000 людей виявлено 10 дітей зі спадковим рецесивним захворюванням. Визначте частоту цього алеля в популяції та частоту гетерозиготних носіїв.

27. З 28332 дітей, які народилися в місті, у 42 дітей виявлено паталогічну рецесивну ознаку. Визначте частоти алелів у популяції та встановіть, на яке число новонароджених припадає один носій захворювання.

28. Проаналізували зразки електрофоретичної рухливості ферменту з 300 рослин певної популяції. Рухливість даного ферменту визначалась двома алелями F та S одного гена. В результатах було виявлено 7 рослин із генотипом FF, 106 з генотипом FS і 187 з генотипом SS. Яка частота зустрітваності алелів F та S в цій популяції? Припускаючи випадкове схрещування, яка очікувана кількість генотипів за цією ознакою?

29. Фенотипи алозимів алкогольдегідрогенази у квітучої рослини *Phlox drummondii* визначається кодомінантною взаємодією алелів одного гена. Проаналізувавши зразки з 35 рослин було отримано такі результати: 2 рослини з генотипом AA, 5 рослин із генотипом AB, 12 рослин із генотипом BB, 10 рослин із генотипом BC, 5 рослин із генотипом CC та 1 рослину з генотипом AC. Розрахуйте частоту зустрітваності алелей A, B та C в досліджуваній популяції.

30. У групі пігмеїв з Центральної Африки частота зустрітваності алелей, що визначають групу крові за системою ABO, була оцінена як 0,74 для I^O , 0,16 для I^A та 0,10 для I^B . Розрахуйте серед людей у цій панміктичній популяції частоту зустрітваності груп крові за системою ABO за генотипом і фенотипом.

31. Проаналізовано генотип 35 особин квітучої рослини *Phlox roemariana* за ознакою електрофоретичні форми ферменту фосфоглюкозоізомерази, прояв якої детермінується двома алелями (A та B) одного гена. Серед досліджуваних особин за цією ознакою 2 рослини мали генотип AA, 13 рослин – AB та 20 рослин – BB. Розрахуйте частоту зустрітваності алелей A та B у цій популяції. Припускаючи випадкове схрещування, яка очікувана кількість генотипів за цією ознакою?

32. Відомо, що чоловік є носієм алеля муковісцидозу. Він одружився з фенотипово нормальною жінкою. В генеральній популяції народжуваність з таким захворюванням траплялася з частотою приблизно один на 1700 особин. Яка ймовірність того, що його дружина також буде носієм цього алеля? Яка можливість того, що їхня перша дитина буде хвора?

33. Скільки алелів А та а представлені в популяції, яка містить 10 особин із генотипом АА, 15 особин з генотипом Аа та 4 особини з генотипом аа. Розрахуйте частоту алелів у цій популяції за умов панміксії.
34. Який із представлених нижче частот генотипів АА, Аа, аа в популяції відповідає закону Харді-Вайнберга.
а) 0,25-0,50-0,25; б) 0,36-0,55-0,09; в) 0,49-0,42-0,09; г) 0,64-0,27-0,09; д) 0,29-0,42-0,29.
35. У певних трав здатність рости в ґрунті, забрудненому нікелем, детермінується домінантним алелем. Якщо 60 % насіння в панмиктичній популяції здатне проростати в забрудненому ґрунті, яка частота алеля резистентності? Яка частка гомозигот буде траплятися серед пророслих рослин?
36. У кавказців М-подібна лінія волосся, яка зменшується з віком (іноді до майже повного облісіння), зумовлена алелем, домінантним у чоловіків, але рецесивний у жінок. Частота алеля облісіння приблизно 0,3. Припускаючи випадкове схрещування, яка очікується частота зустріваності облісеного і не облісеного фенотипу серед чоловіків і жінок?
37. Рецесивний алель розміщений у Х-хромосомі та визначає рецесивну ознаку, яка трапляється у 2 % чоловіків у популяції з випадковим схрещуванням. Яка частота цієї ознаки у жінок? Яка частота генотипу, носія рецесивного алеля у жінок?
38. У популяції *Drosophila* – рецесивний алель, зчеплений із Х-хромосою, викликає жовте забарвлення тіла. В панміктичній популяції частота рецесивного алелю дорівнює 0,2. Яка кількість особин із жовтим тілом, а яка кількість мушок із сірим тілом серед 1000 самців та 1000 самок досліджуваної популяції?

Мінливість

Теоретична частина

Мінливість – здатність живих організмів набувати нових ознак за дії зовнішніх і внутрішніх факторів. Мінливість поділяється на: спадкову (генотипову), неспадкову (модифікаційну, фенотипову) і онтогенетичну. **Модифікація** – це фенотипова різниця, зумовлена зовнішніми факторами й пов'язана зі спадковістю через детермінування норми реакції. **Генотипова мінливість** може бути **комбінативна та мутаційна**. Джерело комбінативної мінливості – це незалежне розходження гомологічних хромосом у першому мейотичному поділі; генетична рекомбінація при кросинговері; випадкове злиття гамет при заплідненні. **Мутації** – структурні зміни генетичного матеріалу, які призводять до порушень біохімічного гомеостазу і в кінцевому результаті – до появи нових властивостей у клітини чи організму. За зміною спадкового матеріалу мутації класифікують на **генні** (точкові), пов'язані зі зміною кодона; **хромосомні**, пов'язані зі зміною кількості чи положення генів у хромосомах, та **геномні**, пов'язані зі зміною кількості хромосом у каріотипі.

Наслідком **генних мутацій**, які призводять до заміни одного нуклеотиду на інший у триплеті можуть бути: нейтральні мутації - змістове значення кодона не змінюється у зв'язку з виродженістю коду (завдяки йому одна й та ж АК може кодуватися кількома триплетами); місенс-мутації – змістове значення кодона змінюється (заміна в кодоні одного нуклеотиду на інший супроводжується амінокислотою заміною в поліпептидному ланцюзі); нонсенс-мутації – заміна одного нуклеотиду в кодоні перетворює цей кодон на один із трьох можливих термінуючих триплетів.

Наслідком **хромосомних мутацій** є утворення незбалансованих гамет, що порушує процеси кросинговеру та проходження мейозу в цілому й, у окремих випадках, утворюються гемізиготні особини з проявом рецесивних генів.

Наслідком **геномних мутацій** є утворення **поліплоїдних** особин (кількість хромосом каріотипу збільшується кратно у кілька разів) чи **анеуплоїдних** особин (збільшується чи зменшується кількість окремих

хромосом каріотипу). Серед поліплоїдів розрізняють **автополіплоїди** (кратне збільшення хромосом одного виду), які можуть бути **парними** (збільшення гаплоїдного набору хромосом кратно 2: тетраплоїд, гексаплоїд тощо) і **непарними** (збільшення гаплоїдного набору хромосом некратно 2: триплоїд, пентаплоїд тощо) і **аллополіплоїди** (кратне збільшення хромосом різних видів).

Аллополіплоїдія відіграла основну роль у виникненні в природі нових видів злакових, сливових тощо. Створення аллополіплоїдів – це головний метод, який використовують для виведення нових сортів злакових, овочевих і плодових культурних рослин.

У автополіплоїдів при наявності одного локусу з алелями A і a можливі кілька варіантів генотипів. Зокрема, у автотетраплоїда за таких умов можливі п'ять генотипів:

$AAAA$ – **квадриплекс**
 $AAAa$ – **триплекс**
 $AAaa$ – **дуплекс**
 $Aaaa$ – **симплекс**
 $aaaa$ – **нулліплекс**.

При цьому розщеплення в квадриплексі і нулліплексі не відбувається. В інших випадках можливе утворення різних сортів гамет та їх співвідношення (залежно від генотипу). Для розуміння хромосомного розщеплення з утворенням гамет, а при їх злитті – генотипів, пронумеруємо хромосоми. За таких умов генотипи автотетраплоїдів та гамет будуть мати вигляд як у таблиці 3:

Таблиця 3

Генотип автотетраплоїда	Генотипи гамет	Співвідношення гамет
$A_1A_2A_3a$ - триплекс	$A_1A_2, A_1A_3, A_1a_4, A_2A_3, A_2a_4, A_3a_4$	$1 AA : 1 Aa$
$A_1A a_3a_4$ - дуплекс	$A_1A_2, A_1a_3, A_1a_4, A_2a_3, A_2a_4, a_3a_4$	$1AA : 4Aa : 1aa$
$A_1a_2a_3a_4$ - симплекс	$A_1a_2, A_1a_3, A_1a_4, a_2a_3, a_2a_4, a_3a_4$	$1 Aa : 1 aa$

Фенотипові відношення у автотетраплоїдів за умови повного прояву домінантного алеля в одній дозі залежить від генотипів батьків і може бути таким:

Таблиця 4

№ п/п	Батьки	Співвідношення гамет	Співвідношення фенотипів
1	$A_1A a_3a_4 \times$ $A_1A a_3a_4$	$1AA : 4Aa : 1aa$	$35 A : 1 a$
2	$A_1A a_3a_4 \times$ $A_1a_2a_3a_4$	$1AA : 4Aa : 1aa;$ $1 Aa : 1 aa$	$11 A : 1 a$
3	$A_1A a_3a_4 \times$ $a_1a_2a_3a_4$	$1AA : 4Aa : 1aa;$ $всі aa$	$5 A : 1 a$
4	$A_1a_2a_3a_4 \times$ $A_1a_2a_3a_4$	$1 Aa : 1 aa$	$3 A : 1 a$
5	$A_1a_2a_3a_4 \times$ $a_1a_2a_3a_4$	$1 Aa : 1 aa;$ $всі aa$	$1 A : 1 a$

Серед анеуплоїдів розрізняють: **тетрасоміків** ($2n+2$), **трисоміків** ($2n+1$), **моносоміків** ($2n-1$), **нулесоміків** ($2n-2$).

У методичному посібнику подані задачі на генні, хромосомні та геномні мутації. При розв'язуванні задач із поліплоїдії треба мати на увазі, що характер розщеплення у поліплоїдів відрізняється від диплоїдів. Якщо при схрещуванні за однією ознакою (моногібридне) у диплоїда розщеплення в F_2 буде 3:1, то у тетраплоїда – 35:1 (див. табл.). Також у задачах необхідно звернути увагу на термінологію. Зокрема прийнято вживати термін «основне» (базове) число хромосом (x), яке свідчить про кількість гаплоїдного набору хромосом у вихідного виду. Так у пшениці однозернянки (вихідна форма) основне число хромосом = 7. Другими терміном є «гаплоїдне число» (n), яке дорівнює гаплоїдному набору хромосом даного виду. У вищезазначеної рослини гаплоїдне число збігається з основним = 7, а диплоїдне $2n = 14$. Тверда пшениця має $2n = 28$, а $n = 14$; м'яка пшениця відповідно – 42 і 24 хромосоми.

Приклади розв'язку задач

Приклад № 1. Яке співвідношення фенотипів і генотипів очікується отримати від схрещування двох тетраплоїдів із генотипом ААаа, якщо має місце повне домінування і випадкове хромосомне розщеплення?

Р о з в ' я з о к

При випадковому хромосомному розщепленні тетраплоїди з генотипом ААаа можуть дати три типи гамет у співвідношенні: 1АА:1аа:4Аа. Отже, у нащадків від схрещування таких особин повинно відбутися таке розщеплення:

♂/♀	АА	4Аа	аа
АА	АААА	4АААа	ААаа
4Аа	4АААа	16ААаа	4Аааа
аа	ААаа	4Аааа	аааа

Співвідношення фенотипів у розщепленні за умови повного домінування: 35А:1а; співвідношення генотипів: 1АААА:8АААа:18ААаа:8Аааа:1аааа.

Приклад № 2. Які фенотипи і в якому співвідношенні можуть виникнути в реципрокному схрещуванні трисомиків із генотипами Ааа і ААа за умови повного домінування; необхідно пам'ятати, що у батьківських рослин життєздатні лише гаплоїдні гамети.

Р о з в ' я з о к

Пряме схрещування ♀ Ааа х ♂ ААа

Материнська рослина може утворювати чотири, а батьківська – два типи гамет у співвідношенні:

♂ / ♀	2Аа	2а	А	аа
2А	4ААа	4Аа	2АА	2Ааа
а	2Ааа	2аа	Аа	ааа

Співвідношення генотипів у нащадків: 17А:1а.

Зворотнє схрещування – ♀ ААа х ♂ Ааа

Материнська рослина може утворювати чотири, а батьківська – два типи гамет у наступному співвідношенні:

♂ / ♀	2Aa	2A	AA	a
2aa	4Aaaa	4Aaa	2AAaa	2aaa
A	2AAa	2AA	AAA	Aa

Співвідношення генотипів у нащадків: 8A:1a.

Задачі для самостійного розв'язку

1. Які фенотипи і в якому співвідношенні могли би виникнути при реципрокних схрещуваннях трисомиків із генотипом AAa за умови повного домінування? Необхідно враховувати, що у чоловічих особин життєздатні тільки гаплоїдні гамети.
2. Які фенотипи і в якому співвідношенні могли би виникнути при реципрокних схрещувань трисомиків із генотипом aaa та Aaa за умов повного домінування? Необхідно враховувати, що у чоловічих особин життєздатні тільки гаплоїдні гамети.
3. У дрозофіли трапляються життєздатні трисоміки за IV хромосомою. Самка з нормально розвиненими очима, трисомик із IV хромосомою з генотипом AAa, схрещується з білооким самцем із генотипом aa. Яких нащадків буде отримано від даного схрещування?
4. Яке співвідношення генотипів і фенотипів очікується від схрещування автотетраплоїдів із генотипами Aaaa та AAaa, якщо має місце повне домінування і випадкове хромосомне розщеплення?
5. Яке співвідношення генотипів і фенотипів очікується від схрещування автотетраплоїдів із генотипами AAAa та Aaaa, якщо має місце повне домінування і випадкове хромосомне розщеплення?

6. Яке потомство за забарвленням плодів повинно бути отримане при самозапиленні тетраплоїдної рослини томата з рожевими плодами з генотипом ААаа, при випадковому хромосомному розщепленні і кумулятивній дії алелів? АААА – темно-червоне забарвлення, АААа – червоне, ААаа – рожеве, Аааа – світло-рожеве, аааа – біле.

7. Яке співвідношення фенотипів очікується у потомстві, одержаному при самозапиленні автотетраплоїда ААааВВbb, якщо має місце незалежне успадкування, повне домінування за обидвома генами і випадкове хромосомне розщеплення?

8. Види пшениці (*Triticum*) складають поліплоїдний ряд із основним числом $x=7$. Користуючись ознаками x і n , позначте диплоїдне та гаплоїдне число: а) диплоїдного; б) тетраплоїдного; в) гексаплоїдного; г) октаплоїдного видів.

9. Схрещуються дві автотетраплоїдні рослини ротиків (*Antirrhinum*) із генотипами АААА і аааа. Визначте забарвлення квітки в F_1 і розщеплення за фенотипом у F_2 , якщо має місце кумулятивна дія алелів і випадкове хромосомне розщеплення? АААА – темно-червоне забарвлення квітки, АААа – червоне, ААаа – світло-червоне, Аааа – рожеве, аааа – біле.

10. Вкажіть очікуване співвідношення geno- і фенотипів у потомстві від наступного реципрокного схрещування диплоїдів кукурудзи з трисоміками за умови домінування червоного забарвлення зерна над білим: а) Ааа х аа; б) аа х Ааа; в) Ааа х Аа; г) Аа х Ааа; д) ААа х Аа; е) Аа х ААа. (У материнської рослини життєздатні всі гамети, а у батьківської – лише гаплоїдні гамети).

11. При схрещуванні двох тетраплоїдних рослин дурману з пурпуровими квітками одержали 350 рослин із пурпуровими і 33 – з білими. Визначте генотипи вихідних рослин і поясніть розщеплення (див. таблицю у теоретичній частині).

12. Яке розщеплення за фенотипом буде при аналізуючому схрещуванні тетраплоїда: а) триплекса; б) дуплекса; в) симплекса? Необхідно врахувати, що ген має кумулятивну дію.

13. Яке співвідношення фенотипів очікується отримати від схрещування автотетраплоїда $AAaa$ з диплоїдом Aa за умови повного домінування і випадкового хромосомного розщеплення у поліплоїда?

14. У якому поколінні і з якою імовірністю з'являться білокріткові рослини від схрещування тетраплоїдних гомозиготних пурпуровокріткових і білокріткових рослин дурману за умови повного домінування і випадкового хромосомного розщеплення?

15. Встановлено, що вид слива (*Prunus*) є аллотетраплоїдом, який виникає від спонтанного схрещування терену (*Prunus spinosa*, $2n=32$) із аличею (*Prunus cerasifera*, $2n=16$) через злиття нередукованих гамет цих видів. Скільки хромосом має слива, якщо відомо, що вона гексаплоїд?

16. Види щавлю (*Rumex acetosa*) складають поліплоїдний ряд із основним числом $x = 10$. Користуючись ознаками x і n , позначте диплоїдне та гаплоїдне число: а) диплоїдного; б) тетраплоїдного; в) гексаплоїдного; г) октаплоїдного видів.

17. Топінамбур, або земляна груша (*Helianthus tuberosus*), – гексаплоїдний вид ($2n=102$). Визначте гаплоїдне (n), основне або базове (x) число хромосом.

18. Один із видів картоплі (*Solanum*) – гексаплоїдний вид ($2n=72$). Визначте гаплоїдне (n), основне або базове (x) число хромосом.

19. Автотетраплоїд – триплекс ($AAAA$) схрещується з автотетраплоїдом симплекс ($aaaa$). Яке співвідношення фенотипів буде у покоління, якщо має місце кумулятивна дія гена і випадкове хромосомне розщеплення?

20. При схрещуванні двох тетраплоїдних рослин дурману із пурпуровими квітками одержали 3226 рослин з пурпуровими і 92 з білими. Визначте генотипи вихідних рослин і поясніть розщеплення (див. табл. у теоретичній частині).

21. Тетраплоїдна рослина томату невідомого походження при запиленні пилком рослини з жовтими плодами дала 50 % нащадків із червоними і 50 % нащадків із жовтими плодами. Визначте генотипи батьків і нащадків, враховуючи, що червоний колір плодів домінує над жовтим.

22. При схрещуванні гібридної рослини із пурпуровими квітками з рослиною з білими отримали 430 рослин із пурпуровими і 82 – з білими. Який генотип батьківських форм? Поясніть розщеплення (див. табл. в теоретичній частині).

23. Серія аутополіплоїдів схожа на *Chrysanthemum*, складається із п'яти видів. Основне базове число хромосом моноплоїду в групі дорівнює 5. Яка кількість хромосом може бути очікувана серед цих видів?

24. Фенотипово нормальна жінка має дитину із синдромом Дауна. У жінки знайшли 45 хромосом. Який вид хромосомної аномалії може пояснити такий випадок? Скільки хромосом у хворої дитини? Чим це відрізняється від звичайного числа хромосом і каріотипу дитини із синдромом Дауна?

25. Хромосома має послідовність генів *ABCDEFGH*. Яка послідовність генів на хромосомі в результаті інверсії генів від С до Е? Яка послідовність генів на хромосомі в результаті делеції генів від С до Е? Дві хромосоми з послідовностями *ABCDEFGH* і *MNOPQRSTU* піддаються реципрокній транслокації після розриву в ділянках *E-F* та *S-T*. Які можуть утворюватись продукти транслокації? Які продукти будуть генетично стабільні?

26. Рецесивні гени a, b, c, d, e, f тісно пов'язані між собою в хромосомі, але послідовність їх розташування на хромосомі невідома. Проаналізували три делеції цієї ділянки хромосоми. Одна делеція розкриває a, d , та e ; інша делеція розкриває c, d та f ; і третя – b та c . В якій послідовності розташовані гени на хромосомі?

27. Два види австралійських коників співіснують поруч. У мейозі кожен вид має 8 пар хромосом. При схрещуванні видів між собою хромосоми гібридів утворюють 6 пар хромосом і одну групу з 4-х хромосом. Які зміни в структурі хромосом можуть пояснити ці результати?

28. Закручені крила (Cy) є домінантною мутацією гена, який знаходиться в другій хромосомі *Drosophila*. Самця із закрученими крилами, гетерозиготного за генотипом піддали дії рентгенівського опромінення і надалі схрестили зі самкою дикого типу. Від цього схрещування були взяті гетерозиготні самці з закрученими крилами, які спарювали зі самками дикого типу. В результаті отримали таких нащадків: 146 самців із закрученими крилами, 163 самок дикого типу. Яка аномалія в структурі хромосом є найімовірнішим поясненням отриманих результатів. (Пам'ятайте, що кросинговер у самців дрозофіли не відбувається).

Генетика людини

Теоретична частина

Людина – складова частина біосфери і продукт її еволюції, тому закономірності біологічних процесів, які відбуваються у клітині та мають універсальне значення, повною мірою стосуються і людини.

Проте необхідно враховувати деякі особливості людини як об'єкта дослідження, що змушує шукати нетрадиційні шляхи та методи наукових досліджень.

Основні генетичні закони та закономірності мають універсальне значення та повністю можуть бути застосовані до людини, хоча як об'єкт генетичних досліджень людина має ряд особливостей.

Проте для людини характерні всі відомі в генетиці типи успадкування ознак і взаємодії між генами. У зв'язку з цим вивчення генетики людини базується, в основному, на використанні специфічних методів аналізу спадковості та мінливості. Одним з них є *генеалогічний метод*, основа якого – складання родоводу та його наступний аналіз.

Умовні позначення для складання родоводів

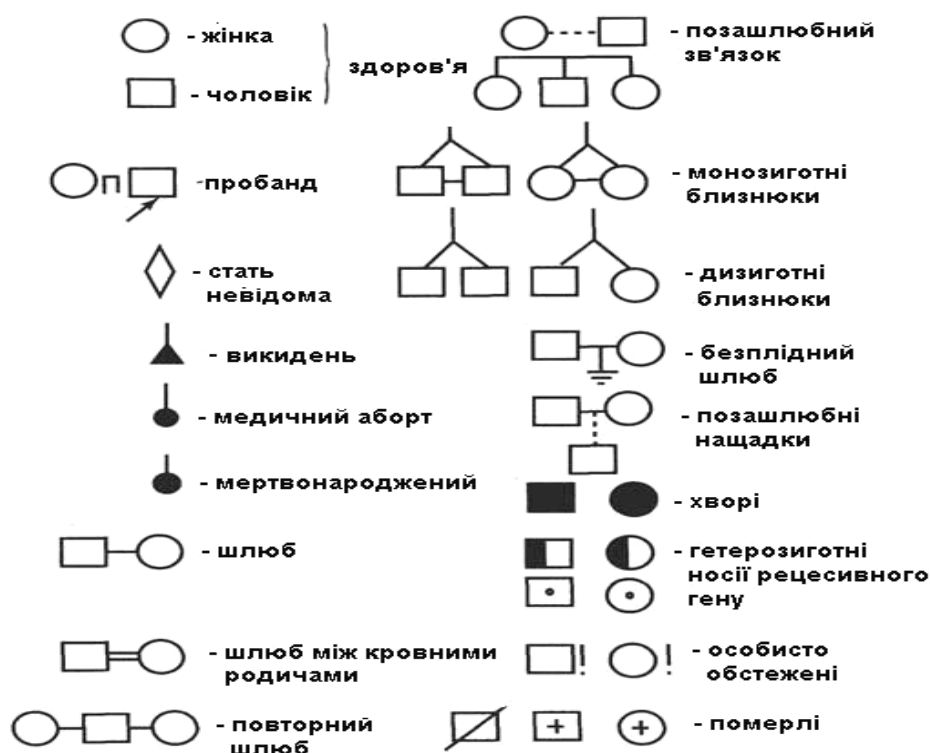


Рисунок 1. Умовні позначення для складання родоводів

Зазначеним методом установлюють спадковий характер ознаки, тип успадкування та взаємодії генів.

Для реалізації генеалогічного методу необхідно застосувати загальноприйняті позначення і скласти родовід, аналіз якого проводити з урахуванням *розміру вибірки, можливості виникнення в людей фенокопій мутацій, вищеплення хворих нащадків, експресивності та пенетрантності окремих ознак.*

Методика складання родоводів

Складання родоводів починається з *пробанда*:

- 1) брати і сестри (сибси) розташовуються в порядку народження зліва направо, починаючи зі старшого;
- 2) всі члени родоуду розташовуються чітко в межах одного покоління в один ряд;
- 3) покоління позначаються римськими цифрами зліва від родоуду зверху вниз;
- 4) арабськими цифрами нумеруються нащадки одного покоління (один ряд) зліва направо;
- 5) оскільки деякі хвороби проявляються в різні періоди життя, вказують вік членів сім'ї;
- 6) помічають членів родоуду, які особисто обстежені.

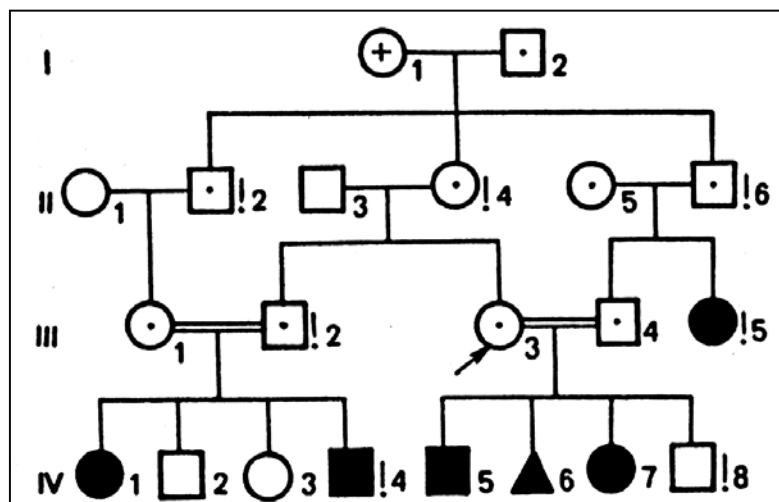


Рисунок 2. Приклад графічного зображення родоуду з альбінізмом

Аналіз родоводів

Генетичний аналіз родоводів – це встановлення спадкового характеру захворювання й типу успадкування, виявлення гетерозиготних носіїв мутантного гена, прогноз народження хворих дітей у сім'ях зі спадковою патологією. Аналіз охоплює такі етапи:

1. Встановлення, чи є захворювання поодиноким у сім'ї чи це «сімейний характер».

2. Визначення типу успадкування ознаки. Для цього треба враховувати: чи однакова частота захворювання в осіб обох статей і в осіб якої статі воно трапляється частіше; особинам якої статі передається ознака від хворого батька чи хворої матері; чи є випадки, якщо в обох здорових батьків народилися хворі діти, або, навпаки, у хворих батьків – здорові діти; чи в усіх поколіннях та у більшості членів родоvodu є захворювання; яка частка нащадків має ознаку, якщо в родині хворіє один із батьків.

Розрізняють кілька типів успадкування ознак у людини, які мають специфічність передачі ознак нащадкам. **Аутосомно-домінантне** – мутантний ген зв'язаний із аутосомою і проявляється як в гомозиготному так і в гетерозиготному стані. Характеризується це такими особливостями:

1. Патологія передається від хворих батьків до дітей.
2. Обидві статі хворіють з однаковою частотою.
3. Здорові члени родини зазвичай мають здорових нащадків.
4. Батько і мати однаково передають мутантний ген донькам і синам.
5. Якщо хворий один із батьків, то можливі варіанти частоти народження хворих нащадків від 100 % (гомозигота) до 50 % (гетерозигота). Якщо хворі обидва батьки, то така варіація може бути 75-100 % залежно від гетерозиготності чи гомозиготності батьків відповідно.
6. За такого типу успадкування часто має місце варіюючи експресивність, пенетрантність і залежність важкості захворювання від гомо- чи гетерозиготного стану особини.

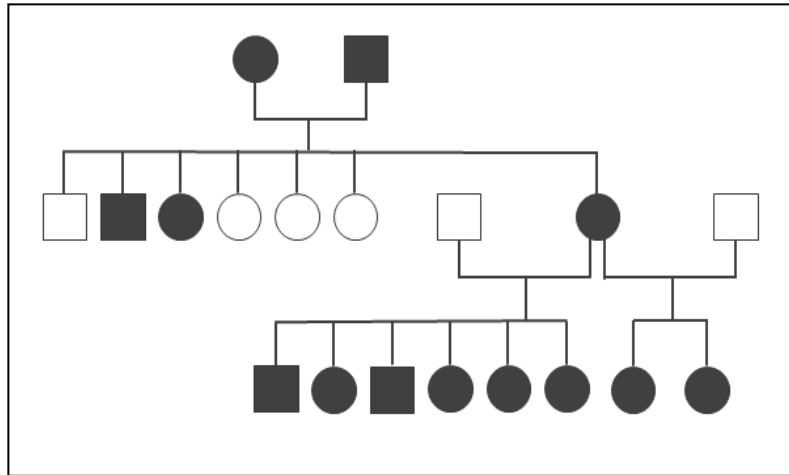


Рисунок 3. Приклад графічного зображення родоводу за аутосомно-домінантного успадкування

Аутосомно-рецесивне успадкування характеризується:

1. Мутантний ген проявляється тільки у гомозигот.
2. Хворіють рідко та не в кожному поколінні.
3. Імовірність прояву хвороби однакова в особин чоловічої та жіночої статі.
4. У здорових батьків можуть бути хворі діти.
5. Частота захворювання залежить від частоти гена в популяції та коливається у різних етносів.
6. Можлива різна експресивність і пенетрантність.

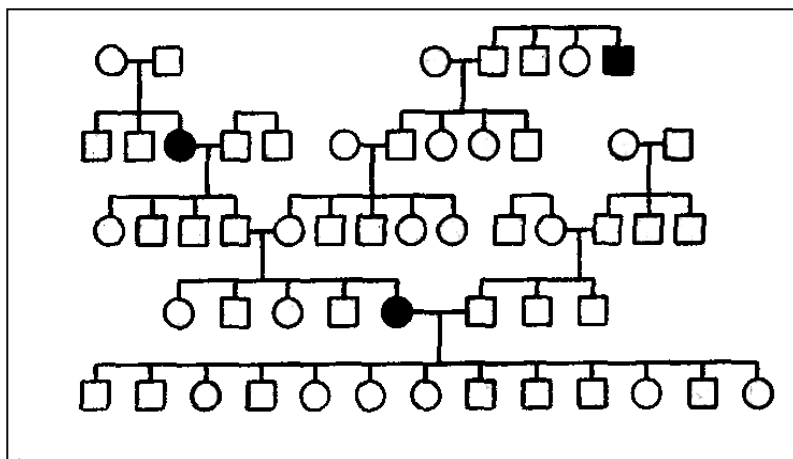


Рисунок 4. Приклад графічного зображення родоводу за аутосомно-рецесивного успадкування

Успадкування захворювань, зчеплених зі статтю, визначається тим, що мутантний ген розташований в Х чи У-хромосомі. Залежно від розташування гена в статевих хромосомах розрізняють Х-зчеплене та У-зчеплене успадкування. Для Х-зчепленого успадкування особливості прояву хвороби залежать від мутації домінантного чи рецесивного гена.

Х-зчеплене рецесивне успадкування характеризується:

1. Захворювання частіше трапляється в особин чоловічої статі.
2. Від здорових батьків можуть народитися хворі діти (за умови гетерозиготності матері за мутантним геном).
3. Хворі чоловіки не передають захворювання своїм синам, але їхні доньки стають гетерозиготними носіями хвороби.
4. Хворі жінки можуть народитися тільки в сім'ях, де батько хворий, а мати гетерозиготна за мутантним геном.

Можлива частота народження дітей у залежності від генетики батьків:

- здорова ♀ і хворий ♂ – 100 % здорові діти, доньки – носії
- носій ♀ і здоровий ♂ – 25 % – хворих синів, 25 % – здорових синів, 50 % – здорових дочок, половина з яких є носіями мутантного гену;
- носій ♀ і хворий ♂ – 25 % - хворих синів, 25 % – здорових синів, 25 % – хворих дочок, 25 % – здорових дочок-носіїв

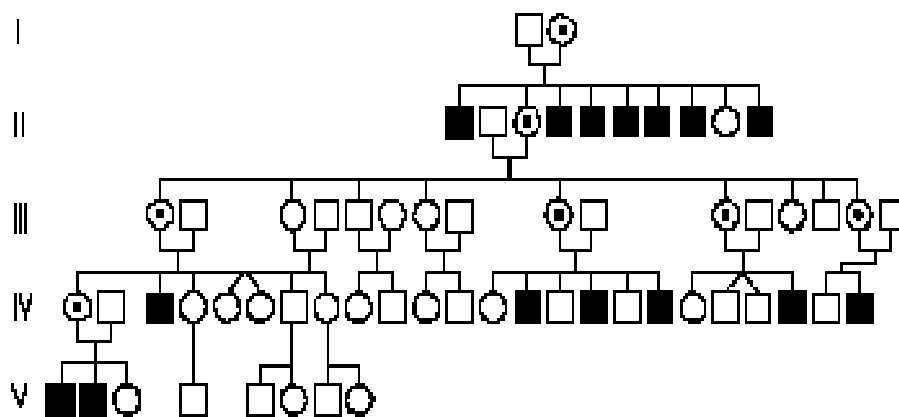


Рисунок 5. Приклад графічного зображення родоводу за Х-зчепленого рецесивного успадкування

Характеристика Х-зчепленого домінантного успадкування

1. Хворіють як чоловіки так і жінки, однак хворих жінок удвічі більше, ніж хворих чоловіків.
2. Захворювання прослідковуються в кожному поколінні.
3. Якщо хворий батько, то всі його доньки будуть хворі, а всі сини здорові.
4. Якщо мати хвора, то імовірність народження хворої дитини дорівнює 50 % незалежно від статі.
5. Хворі діти будуть тільки тоді, якщо хворий один із батьків.
6. У здорових батьків усі діти будуть здорові.

Характеристика У-зчепленого успадкування

1. Хвороба передається від батька до сина (голандричне успадкування).
 2. Хворі всі особини чоловічої статі в кожному поколінні.
- Характеристики різних захворювань людини та типи успадкування наведені у додатку.

Приклади розв'язку задач

Приклад № 1. Віра і Люба – однайцеві сестри-близнюки, які вийшли за однайцевих братів-близнюків – Володю та Євгена. Через певний час у них народилися сини. Чи будуть їхні діти настільки схожими, як однайцеві близнюки?

Р о з в ' я з о к

Батьки у хлопчиків (мами й татусі) однайцеві близнюки. Для того, щоб хлопчики, які народилися в таких сім'ях, були схожі, як однайцеві близнюки, необхідно, щоб вони отримали однаковий набір генів від своїх батьків. Теоретично це можливо. Обчислимо ймовірність цієї події.

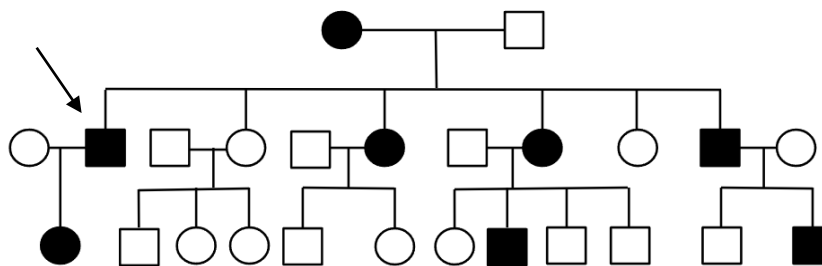
Ймовірність того, що в яйцеклітину відійдуть такі самі хромосоми, що отримав від матері перший хлопчик, дорівнює $(1/2)^{23}$. Ймовірність того, що утвориться сперматозоїд з таким

самим набором хромосом, який отримав від батька перший хлопчик, дорівнює $(1/2)^{22}$ (У-хромосоми ідентичні в обох хлопців, тому ми розглядаємо перекомбінацію інших 22 пар хромосом). Імовірність того, що саме ця яйцеклітина заплідниться саме цим сперматозоїдом – $(1/2)^{23} \times (1/2)^{22} = (1/2)^{506}$, або приблизно з імовірністю $4,77 \times 10^{-153}$. Отже, ймовірність того, що два хлопці будуть схожі, як однайцеві близнюки дуже мала. Явище кросинговеру ще зменшує реальну ймовірність отримання хлопцями однакового набору генів. Ці двоюрідні брати будуть скоріше схожі між собою, ніж рідні.

Приклад № 2. Чоловік, хворий на брахідактилію має доньку з таким самим захворюванням. Його дружина здорова. Відомо, що мати пробанда теж мала цю хворобу. Його брат і двоє з чотирьох сестер, які всі перебувають у шлюбі зі здоровими людьми, хворі на брахідактилію. Одна зі здорових сестер незаміжня, інша має двох здорових дочок та сина. Одна з хворих сестер має здорових дочку і сина. У іншій два сини та дочка здорові й хворий син. Брат має двох синів, один із яких хворий на брахідактилію. Який тип успадкування хвороби? Яка імовірність народження хворих онуків у пробанда, якщо його донька вийде заміж за здорового чоловіка?

Р о з в' я з о к

Складаємо родовід пробанда у загальновживаних символах. Починаємо з пробанда, якого позначаємо стрілкою.



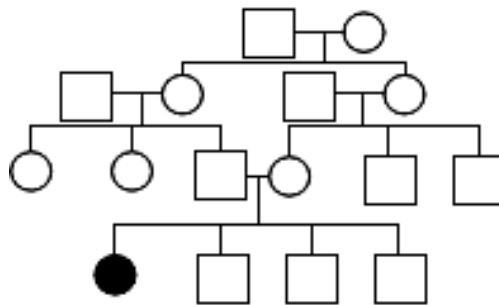
Проводимо аналіз графічного зображення родоводу. Захворювання спостерігається у всіх трьох поколіннях незалежно від статі, що свідчить про його домінантність та аутосомну локалізацію гена, який за нього відповідає. Донька пробанда –

гетерозигота, оскільки її мати здорова. Якщо вона вийде заміж за здорового юнака, то імовірність народження у неї хворої дитини складає 50 %, оскільки половині своїх потомків вона передасть ген, котрий відповідає за брахідактилію.

Приклад № 3. Двоюрідні брат і сестра вступили в шлюб і у них народилося четверо дітей: три здорові хлопчики та дівчинка, хвора на пігментну ксеродерму. Двоє рідних сестер чоловіка та двоє рідних братів жінки, а також їхні матері, які були рідними сестрами, та батьки і дідусь з бабусею по материнській лінії – здорові. Встановіть тип спадкування пігментної ксеродерми. Яка імовірність народження хворих онуків, якщо дівчинка візьме шлюб зі здоровим чоловіком, котрий не має родинних зв'язків із цією сім'єю?

Р о з в' я з о к

Складаємо родовід пробанда у загальновживаних символах.



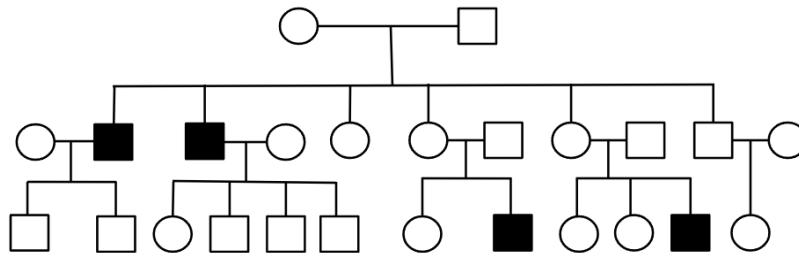
Проводимо аналіз графічного зображення родоvodu. Враховуючи, що батьки хворої дівчинки двоюрідні брат і сестра й протягом чотирьох поколінь не було в сім'ї випадків захворювання пігментною ксеродермою, можна зробити висновок про аутосомно-рецесивне успадкування цієї хвороби та гомозиготність хворої дівчини за алелем, який відповідає за дану патологію. Якщо хвора дівчинка вийде заміж за здорового юнака, що не має родинних зв'язків із цією сім'єю, тобто не буде гетерозиготним за цим геном, усі народжені ними діти будуть здоровими гетерозиготами.

Приклад № 4. Здорові чоловік та жінка мають трьох дочок та трьох синів, два з яких не розрізняють кольорів (дальтоніки). Одна із сестер незаміжня. Всі інші брати і сестри мають здорових

чоловіків і жінок. Здоровий брат має здорову доньку. Один із хворих братів має два здорові сини, інший – три здорові сини і доньку. Одна із сестер має здорову доньку та хворого сина, інша – двох здорових доньок і хворого сина. Як успадковується ознака кольорової сліпоти?

Р о з в' я з о к

Складаємо родовід сім'ї.

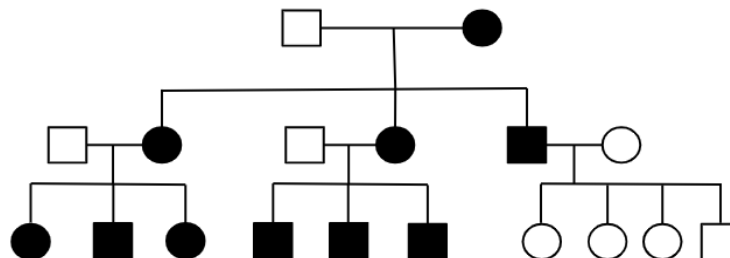


Проводимо аналіз графічного зображення родоvodu. Хвороба є в двох поколіннях, але хворіють тільки чоловіки. Хвороба передається по материнській лінії: хворі дядьки мають хворих племінників. Отже, ген, який відповідає за захворювання, рецесивний, зчеплений зі статтю та розташований в Х-хромосомі.

Приклад № 5. Низькоросла жінка виходить заміж за високого чоловіка. В них народилось троє дітей: двоє хлопчиків і дівчинка, всі – маминого росту. Діти вступили в шлюб з нормальними за зростом людьми. У дочок всі народжені діти були низькорослими (двоє дівчат та хлопчик у одному випадку та троє хлопчиків в іншому), а у сина – нормального зросту. Який тип успадкування ознаки? Якого росту будуть онуки у низькорослого сина?

Р о з в' я з о к

Складаємо половіл сім'ї.



Проводимо аналіз графічного зображення родоводу. Ознака спостерігається у трьох поколіннях, але передається тільки по материнській лінії (діти низькорослого сина всі нормального зросту). Отже, ген, який відповідає за цю ознаку, розташований поза хромосомами і передається з цитоплазмою яйцеклітини. На основі цього можна стверджувати, що онуки низькорослого сина будуть нормальні на зріст, якщо його дружина буде нормального зросту, або низькорослі, якщо його дружина буде низькорослою.

Задачі для самостійного розв'язку

1. Пробанд страждає на легку форму серповидноклітинної анемії. Його жінка здорова. Вона має дочку також із легкою формою анемії. Мати і бабка пробанда страждали на цю ж форму серповидноклітинної анемії, решта сибсів матері і її батько здорові. У жінки пробанда є сестра, на хвора легку форму анемії, друга сестра померла від анемії. Мати і батько жінки пробанда страждали анемію, крім того, відомо, що у батька було два брати і сестра з легкою формою анемії і що в сім'ї сестри батька двоє дітей померли від серповидноклітинної анемії. Визначте ймовірність народження дітей із важкою формою анемії у сім'ї доньки пробанда, якщо вона одружиться з таким же чоловіком, як її батько.

2. Пробанд здоровий. Батько пробанда хворий на булезний епідермоліз. Мати і її родичі здорові. Дві сестри пробанда здорові, один брат хворий. Три дядьки з боку батька і їхні діти здорові, а три дядьки і одна тітка – хворі. У одного хворого дядька від першого шлюбу є хворий син і здорова донька, а від другого шлюбу хворі син і донька. У другого хворого дядька є дві здорові доньки і хворий син. У третього хворого дядька – два хворі сини і дві хворі доньки. Бабка по батькові хвора, а дід здоровий, здорові були і три сестри і два брати бабки. Визначте імовірність народження хворих дітей у сім'ї пробанда за умови, що він одружиться зі здоровою жінкою.

3. Пробанд має дефекти нігтів та колінної чашечки, а його брат нормальний. Цей синдром був у батька пробанда, а мати була здорова. Дід пробанда по лінії мами з синдромом, а бабка здорова. Батько пробанда має трьох братів і чотирьох сестер, з них два брати і дві сестри зі синдромом. Хворий дядько по лінії батька одружений із здоровою жінкою і має двох дочок і сина. Всі вони здорові. Визначте ймовірність появи дітей із захворюванням в сім'ї пробанда, якщо його дружина буде здорова.

4. Пробанд – юнак, який страждає на глухоту. Його сестра з нормальним слухом. Мати і батько пробанда також із нормальним слухом. У матері пробанда 5 сестер з нормальним слухом і один глухий брат. Три сестри матері одружені з нормальними чоловіками. У однієї сестри матері пробанда здорова дочка, у другої – здоровий син, у третьої здорова дочка і глухий син. Бабка пробанда по лінії матері здорова, її чоловік також здоровий. У бабки пробанда по лінії матері три здорові сестри, один здоровий і один глухий брат. Здорові сестри бабки по лінії матері мають здорових чоловіків, а здоровий брат був одружений із здоровою жінкою. У першій сестри бабки пробанда чотири здорові доньки і один глухий син. У другій сестри бабки здорова донька і глухий син. У третій сестри бабки здорова донька, один здоровий і один глухий син. Батько і мати бабки пробанда по лінії матері здорові. Визначте ймовірність народження глухих дітей в сім'ї пробанда за умови, що його дружина буде мати такий же генотип, як і його мати.

5. Пробанд – юнак, який страждає на рахіт. Його сестра здорова. Мати хвора, батько здоровий. У матері пробанда є троє братів, всі здорові. Дід пробанда по лінії матері хворий, бабка здорова. Дід мав двох здорових братів і одного хворого. У здорових братів діда від здорових дружин було п'ятеро синів (у одного – чотири, у іншого – один) . У хворого брата діда дружина була здорова. У них було три хворі доньки і два здорові сини. У двох хворих доньок брата діда пробанда від здорових чоловіків було по одній здоровій доньці. Ще в одній хворій доньки брата діда пробанда, яка було одружена зі здоровим чоловіком було два сини, один з яких хворий і хвора донька. У здорових синів брата діда пробанда дружини здорові, здорові і їхні діти. Визначте вірогідність народження хворих на рахіт дітей у родині пробанда у випадку, якщо він одружиться зі своєю хворою троюрідною сестрою.

6. Пробанд страждає на нічну сліпоту. Двоє його братів також хворі. По лінії батька пробанда, таких хто страждав на нічну сліпоту не було. Мати пробанда хвора. Дві сестри та двоє братів матері пробанда здорові. Вони мають лише здорових дітей. По материнській лінії відомо: бабуса хвора, дід здоровий; сестра бабусі хвора, а брат здоровий; прадідусь (батько бабусі) хворів на нічну сліпоту, сестра і брат прадідуся були хворі; прапрадідусь хворів, його брат, який мав хвору дочку та двох хворих синів, також хворів. Жінка пробанда, її батьки та родичі здорові. Визначте імовірність народження хворих дітей у сім'ї пробанда.

7. Наречені нормально володіють правою рукою. У сім'ї жінки було ще дві сестри, які нормально володіли правою рукою, і три брати – лівші. Мати жінки – правша, батько – лівша. У батька є сестра і брат шульги та сестра і два брати правші. Дід по лінії батька правша, бабця – лівша. У матері жінки є два брата і сестра – всі правші. Мати чоловіка – правша, батько – лівша. Бабки та дідусі з боку матері і батька чоловіка нормально володіли правою рукою. Визначте імовірність народження у цій сім'ї дітей, які володіють лівою рукою.

8. Пробанд – здорова жінка має двох здорових братів та двох братів, які хворі на алькаптонурію (виділення з сечею гомогентизинової кислоти). Мати пробанда здорова і має двох здорових братів. Батько пробанда хворий на акальптонурію і є двоюрідним дядьком своєї жінки. У нього здоровий брат та здорова сестра. Бабця по лінії батька була хворою і одружена зі своїм двоюрідним здоровим братом. Бабця і дід пробанда по лінії матері здорові, батько і мати діда також здорові, при цьому мати діда доводиться рідною сестрою діда пробанда з боку батька. Встановіть імовірність народження хворих дітей у сім'ї пробанда за умови, якщо вона вийде заміж за здорового чоловіка, мати якого страждала на алькаптонурію.

9. Пробанд – здорова жінка має п'ять сестер, дві з яких однайцеві близнюки, дві – двояйцеві близнюки. Всі сестри мають шість пальців на руці. Мати пробанда нормальна, батько шестипалий. З боку матері всі предки нормальні. У батька два брати і чотири сестри – всі нормальні п'ятипалі, бабця по лінії батька шестипала. В неї було дві шестипалі сестри та одна п'ятипала. Дід по лінії батька та всі його

родичі нормально п'ятипалі. Визначте ймовірність народження в сім'ї пробанда шестипалих дітей за умови, якщо вона вийде заміж за нормального чоловіка.

10. Пробанд – здорова жінка. Її сестра також здорова, а двоє братів страждають на дальтонізм. Мати і батько пробанда здорові. Чотири сестри матері пробанда здорові, чоловіки їх також здорові. Про двоюрідних сибсах з боку матері пробанда відомо: в одній сім'ї один хворий брат, дві сестри і брат здорові; в двох інших сім'ях по одному хворому брату та одній здоровій сестрі; в четвертій сім'ї – одна здорова сестра. Бабуся пробанда з боку матері здорова, дід страждав на дальтонізм. З боку батька пробанда хворих на дальтонізм немає. Визначте ймовірність народження в сім'ї пробанда хворих на дальтонізм дітей за умови, якщо вона вийде заміж за нормального чоловіка.

11. Пробанд і п'ять братів його здорові. Мати і батько пробанда глухонімі. Два дядьки та тітка з боку батька також глухонімі, з боку матері чотири тітки і дядько здорові та одна тітка і один дядько глухонімі. Бабця по матері здорова, а дід хворий. Бабця і дід по батькові глухонімі. Бабця по батькові має глухонімого брата та двох глухонімих сестер. Дід по батькові має двох братів, один з яких здоровий, другий – глухонімий, і п'ять сестер, дві з яких глухонімі. Мати і батько дідуся з боку батька – здорові, мати і батько бабусі з боку батька – глухонімі. Визначте ймовірність народження дітей глухонімих у сім'ї пробанда, якщо він одружиться з нормальною щодо глухонімоти жінкою, яка походить зі здорової сім'ї.

12. Пробанд має нормальні за забарвленням зуби. В його сестри зуби коричневі. У матері пробанда зуби коричневі, у батька – нормального забарвлення. Сім сестер матері пробанда з коричневими зубами, а четверо братів – з нормальними. Одна тітка пробанда по лінії матері, яка має коричневі зуби, одружена з чоловіком з нормальними зубами. В них троє дітей: дочка і син з коричневими зубами та дочка з нормальними зубами. Двоє дядьків пробанда по лінії матері одружені із жінками без аномалії в забарвленні зубів. В одного з них два сини і дочка, в другого – дві дочки і син. Всі вони з нормальними зубами. Коричневі зуби мав дід пробанда по лінії матері, а бабка по лінії матері мала нормальні зуби. Два брата діда по лінії матері з нормальним забарвленням зубів.

Прабабуся (мати діда по лінії матері) і прапрабабуся (мати цієї прабабусі) мали коричневі зуби, а їх чоловіки були з нормальним забарвленням зубів. Визначте, які діти можуть бути у пробанда, якщо він одружиться з жінкою, гетерозиготною за даною ознакою.

13. Пробанд – хвора на мозочкову атаксію жінка. Її чоловік здоровий. У них шестеро синів і три дочки. Один син та одна дочка хворі на мозочкову атаксію, решта дітей здорові. Пробанд має здорову сестру і трьох хворих братів. Здорова сестра одружена зі здоровим чоловіком і має здорову дочку. Троє хворих братів пробанда одружені зі здоровими жінками. В сім'ї одного брата два здорових сини і одна здорова дочка, в сім'ї другого брата здоровий син і хвора дочка, в сім'ї третього – два сини і три дочки – всі здорові. Батько пробанда хворий, а мати здорова. Яка імовірність появи хворих дітей у хворої дочки пробанда, якщо вона вийде заміж за здорового чоловіка?

14. Пробанд хворий на вроджену катаракту. Він одружений зі здоровою жінкою і має хвору дочку та здорового сина. Батько пробанда хворий на катаракту, а мати здорова. Мати пробанда має здорову сестру та здорових батьків. Пробанд має по лінії батька здорових рідних тітку та дядька. Дядько одружений зі здоровою жінкою. Троє їхніх синів (двоюрідні брати пробанда по лінії батька) здорові. Яка імовірність появи у сім'ї дочки пробанда хворих онуків, якщо вона вийде заміж за гетерозиготного за катарактою цього типу чоловіка?

15. У пробанда – полідактилія (шестипалість). Батько його також багатопалий, а мати з нормальною будовою кисті. Подальший родовід відомий лише по лінії батька. У батька є брат і сестра з нормальною будовою кисті і брат із сестрою багатопалі. Багатопалий дядько пробанда був двічі одружений на жінках з нормальною будовою кисті. Від одного шлюбу у нього була дочка з полідактилією, від другого було шестеро дітей: дві дочки і один син із полідактилією і два сини і одна дочка здорові. Тітка пробанда з нормальною кистю була одружена з чоловіком без аналізованої аномалії. У них було три хлопчики і три дівчинки здорові. Дід пробанда без аномалії, а бабуся багатопала. Яка імовірність появи у сім'ї пробанда багатопалих дітей, якщо він одружиться з жінкою, у якої нормальна будова кисті?

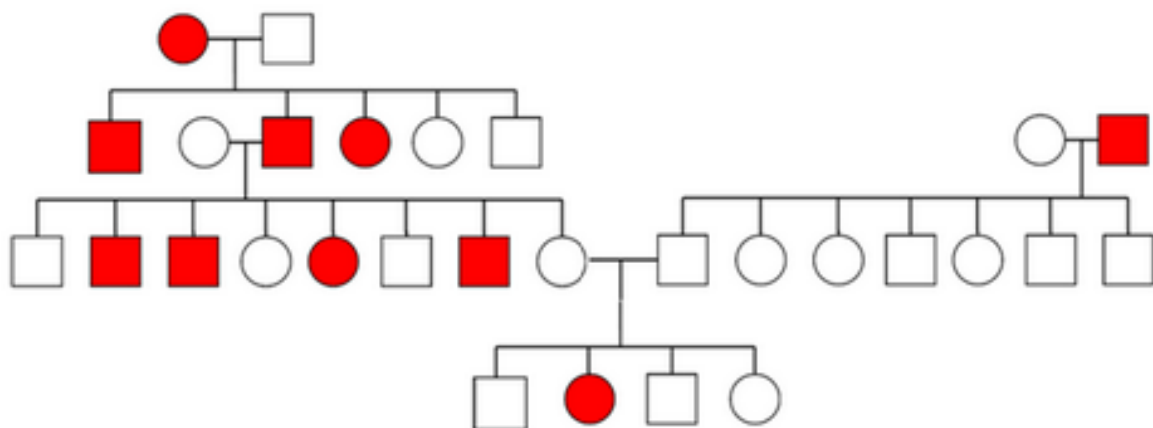
16. Роза і Алла – рідні сестри і обидві, як і їхні батьки, страждають на нічну сліпоту. У них є ще сестра з нормальним зором, а також сестра і брат, хворі на нічну сліпоту. Роза і Алла вийшли заміж за здорових чоловіків. У Алли було дві дочки і чотири сини, які страждали на нічну сліпоту. У Рози – два сини і дочка з нормальним зором, і ще один син, хворий. Визначте генотип Рози і Алли, їхніх батьків і всіх дітей. Яка імовірність появи у Рози і Алли внуків, які страждають на нічну сліпоту, за умови, що всі їхні діти одружаться зі здоровими людьми?

17. Пробанд нормального росту має сестру з ахондроплазією (спадкова карликовість). Мати пробанда нормальна, а батько ахондропласт. По лінії батька пробанд має двох нормальних тіток, одну тітку з ахондроплазією і одного дядька з ахондроплазією. Тітка, яка має ахондроплазію, одружена зі здоровим чоловіком. У них є син-краник. Здорова тітка від здорового чоловіка має два хлопчики і дві дівчинки – всі вони здорові. Дядько-карлик одружений зі здоровою жінкою. У них нормальні дівчинки і син краник. Дідусь по лінії батька – карлик, а бабуся нормальна. Визначте імовірність появи карликів у сім'ї пробанда, якщо його жінка буде мати такий же генотип, як і він сам. Яка імовірність появи карликів у сім'ї сестри пробанда, якщо вона одружиться зі здоровим чоловіком?

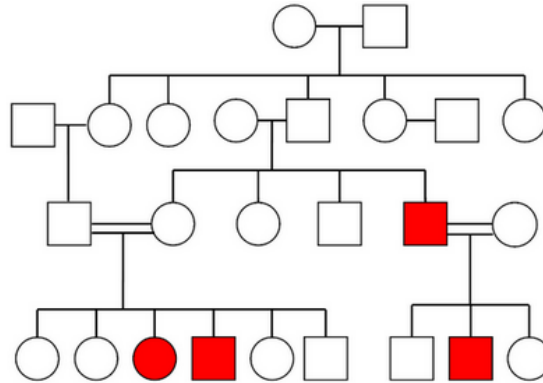
18. Пробанд – здоровий юнак – має чотирьох братів, хворих на м'язову дистрофію типу Дюшенна. Мати і батько пробанда здорові. У матері пробанда дві здорові сестри, один здоровий брат і два брати, хворих на м'язову дистрофію. Бабуся і дідусь з боку матері пробанда здорові. У бабки були три здорові сестри, два здорові брати і один хворий брат. Всі здорові брати і сестри бабусі мали здорових чоловіків. У обох братів було по п'ятеро дітей – всі дівчатка і хлопчики були здорові. У одної із сестер бабусі був хворий на дистрофію син, у другій сестри – три здорові сини і одна здорова дочка. Третя сестра бабусі виходила заміж кілька разів за здорових чоловіків. Від першого шлюбу у неї народився хворий дистрофією син, від другого шлюбу – один син здоровий і один син хворий, від третього шлюбу – один здоровий син, здорова дочка і два хворих на дистрофію сини. Батьки бабусі пробанда по лінії матері були здорові. Яка імовірність появи в сім'ї пробанда хворих дітей, якщо його жінка буде мати такий же генотип, як мати пробанда?

19. Пробанд – юнак, який страждає на нічну сліпоту. Його сестра і брат мають нормальний зір. Мати і батько пробанда також мають нормальний зір. Мати пробанда має п'ятеро братів і одну сестру. У сестри матері нормальний зір. Вона одружена з нормальним за зором чоловіком і має сина з кольоровою сліпотою. Три брати матері страждають одночасно на нічну сліпоту і кольорову сліпоту один брат – тільки на нічну, і один брат – тільки на кольорову. Бабуся пробанда по лінії матері має нормальний зір і одружена з нормальним за зором чоловіком. У бабусі один брат з нічною сліпотою і ще один брат і п'ятеро сестер із нормальним зором. Всі сестри бабусі одружені з чоловіками з нормальним зором. У двох сестер бабусі по одному сину, який страждає одночасно на кольорову і нічну сліпоту. У третьої сестри – два сини з кольоровою сліпотою і дочка з нормальним зором, яка має від шлюбу з чоловіком з нормальним зором сина також із нормальним зором. У четвертій сестри чотири сини з нічною сліпотою.

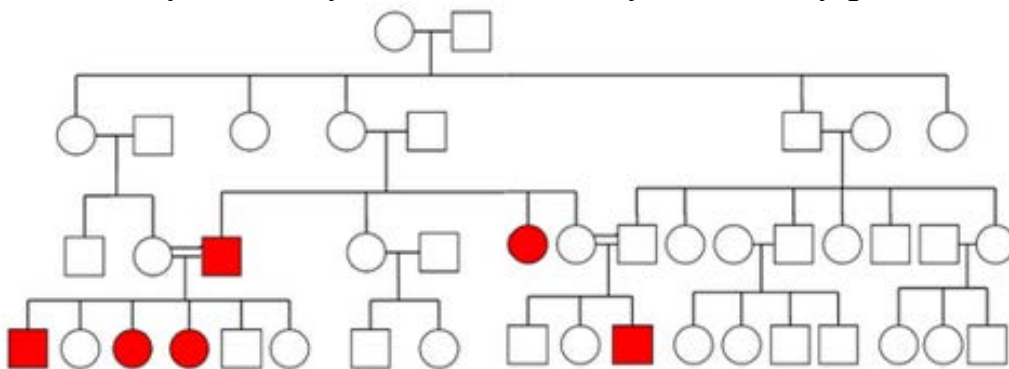
20. Визначте, домінантно чи рецесивно успадковується вада у наведеному родоводі, і запишіть у родовід ймовірні генотипні особливості. Як успадковується хвороба Тея-Сакса у наведеному генеалогічному дереві?



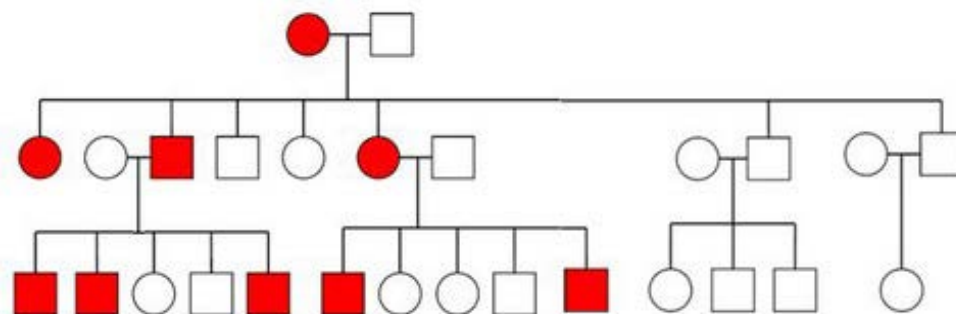
21. Визначте, домінантно чи рецесивно успадковується вада у наведеному родоводі, і запишіть у родовід ймовірні генотипові особливості. Як успадковується м'язова атрофія в наведеному родинному дереві?



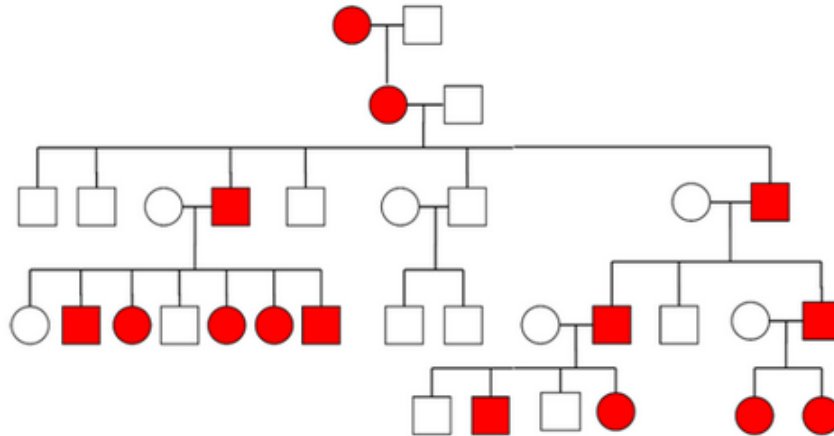
22. Визначте, домінантно чи рецесивно успадковується вада у наведеному родоводі, і запишіть у родовід ймовірні генотипові особливості. Як успадковується альбінізм у згаданому родоводі?



23. Визначте, домінантно чи рецесивно успадковується вада у наведеному родоводі, і запишіть у родовід ймовірні генотипові особливості. Як успадковується полідактилія у згаданому родоводі?



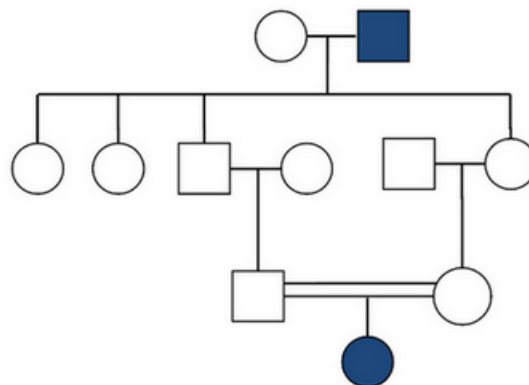
24. Визначте, домінантно чи рецесивно успадковується вада у наведеному родоводі, і запишіть у родовід ймовірні генотипові особливості. Як успадковується сімейна гіперхолестеринемія у згаданому родоводі?



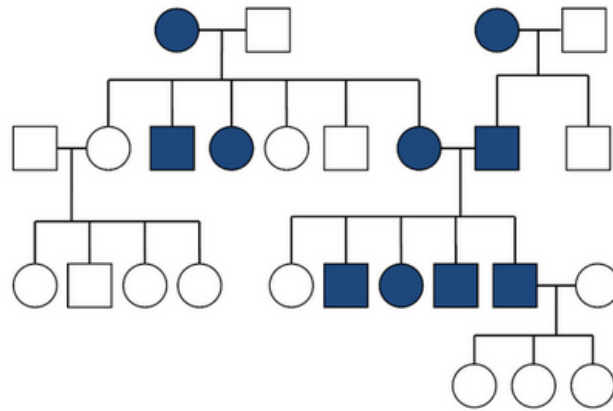
25. Жінка А з нормальними стегнами вийшла заміж за чоловіка В з деформацією стегон. Перші двоє дітей (сини С і D) мали нормальні стегна. Цією вадою хворіла дочка Е. Первісток С одружився з дружиною Ф, яка не була інвалідом. У них було троє синів. Первісток (Г) і третій (І) були здорові, у другого сина (Н) була деформація стегна. Чоловік D одружився з жінкою J, але у них не було дітей. Жінка Е вийшла заміж за здорового чоловіка К. У них було три доньки (Л, М і Н). Постраждала лише первісток, інші були здорові.

Намалюйте родовід і визначте, домінантною чи рецесивною є ця ознака. Як відбувається деформація стегна у цій родині?

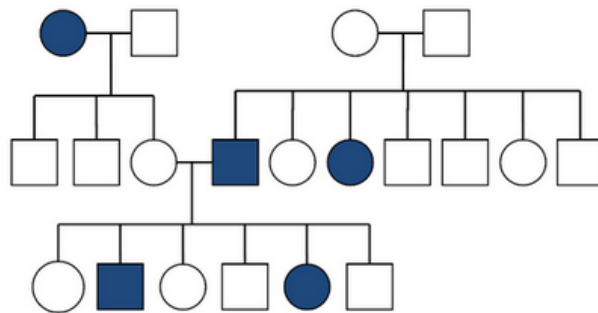
26. Для даного родоводу визначте, домінантно чи рецесивно успадковується ознака і вкажіть причини. Запишіть у родинному дереві ймовірні генотипи.



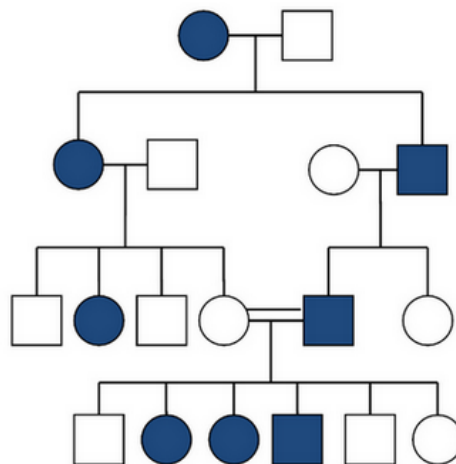
27. Для даного родоводу визначте, домінантно чи рецесивно успадковується ознака і вкажіть причини. Запишіть у родинному дереві ймовірні генотипи.



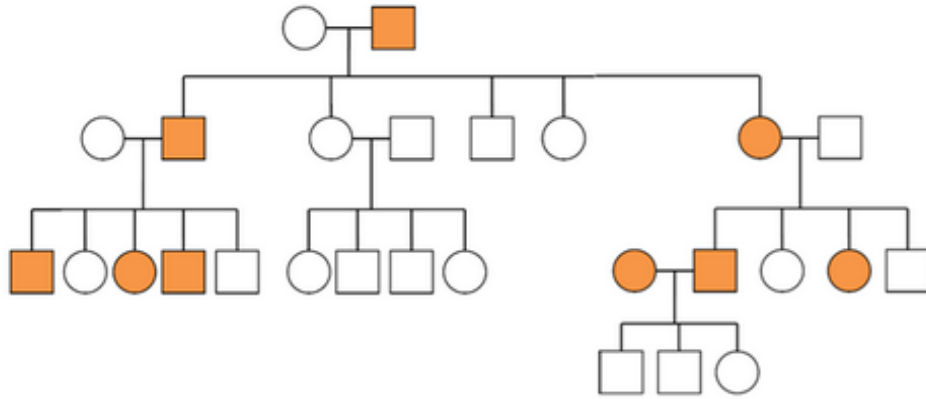
28. Для даного родоводу визначте, домінантно чи рецесивно успадковується ознака і вкажіть причини. Запишіть у родинному дереві ймовірні генотипи.



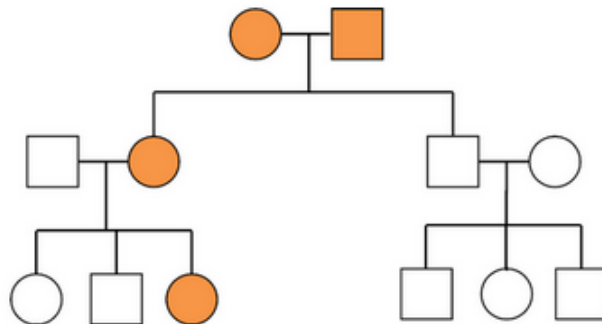
29. Для даного родоводу визначте, домінантно чи рецесивно успадковується ознака і вкажіть причини. Запишіть у родинному дереві ймовірні генотипи.



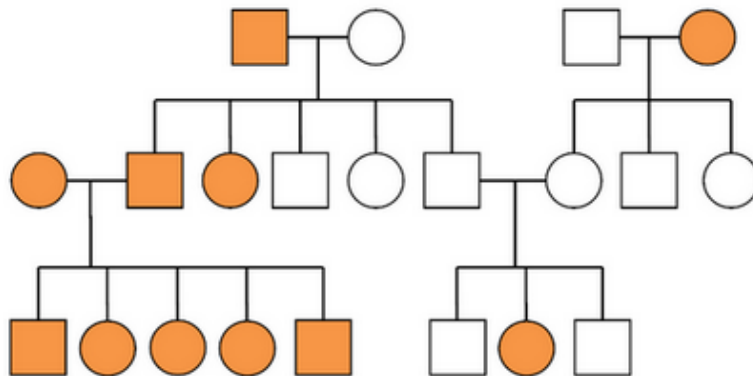
30. Наведений родовід описує рідкісні розлади, які трапляються в популяції людей. Як успадковується спостережувана ознака у згаданому родоводі?



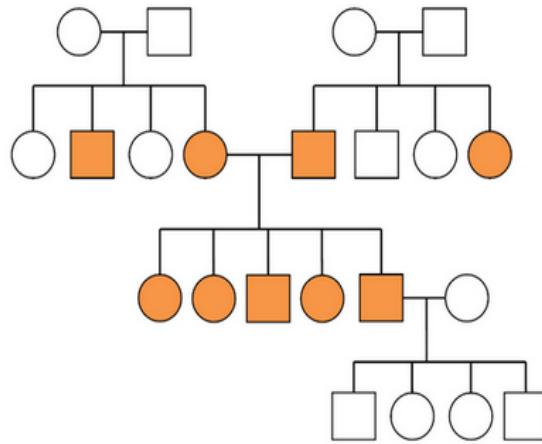
31. Наведений родовід описує рідкісні розлади, які трапляються в популяції людей. Як успадковується спостережувана ознака у згаданому родоводі?



32. Наведений родовід описує рідкісні розлади, які трапляються в популяції людей. Як успадковується спостережувана ознака у згаданому родоводі?



33. Наведений родовід описує рідкісні розлади, які трапляються в популяції людей. Як успадковується спостережувана ознака у згаданому родоводі?





ДОДАТКИ

Кількісні показники за ди- та полігібридного схрещування

	Моно-	Ди-	Три-	Полігібридне
Кількість паралелів у гетерозиготі	1А, а	2А, а, В, в	3А,а,В,в,С,с	n
Кількість типів гамет (їх генотипи)	2^1	$2^2 = 4$	$2^3 = 8$	2^n
Кількість можливих поєднань гамет у гетерозиготі	4^1	$4^2 = 16$	$4^3 = 64$	4^n
Кількість фенотипових класів	2^1	$2^2 = 4$	$2^3 = 8$	2^n
Формули розщеплення за фенотипом	$(3:1)^1$	$(3:1)^2 = 9:3:3:1$	$(3:1)^3 = 27:9:9:9:3:3:3:1$	$(3:1)^n$
Кількість генотипових класів	3^1	$3^2 = 9$	$3^3 = 27$	3^n
Формули розщеплення за генотипом	$(1:2:1)^1$	$(1:2:1)^2$	$(1:2:1)^3$	$(1:2:1)^n$

Формули розщеплення **Моногенне успадкування**

1. *Моногібридне схрещування.*

1.1 Повне домінування:

- 3:1 – розщеплення за фенотипом
- 1:2:1 – розщеплення за генотипом
- 1:1 – розщеплення в аналізуючому схрещуванні

1.2 Неповне домінування:

- 1:2:1 – розщеплення за фенотипом і генотипом

2. *Дигібридне схрещування*

2.1 Повне домінування:

- 9:3:3:1 – розщеплення за фенотипом
- 1:2:1:2:4:2:1:2:1 – розщеплення за генотипом
- 1:1:1:1 – розщеплення в аналізуючому схрещуванні

2.2 Неповне домінування:

- 1:2:1:2:4:2:1:2:1 – розщеплення за генотипом і фенотипом

Дигенне успадкування

1. Комплементарність

- 9:3:3:1 – обидва домінантні гени мають фенотиповий прояв
- 9:7 – обидва домінантні гени не мають фенотипового прояву
- 9:6:1 – обидва домінантних гени мають однаковий фенотиповий прояв
- 9:3:4 – один домінантний ген має, а інший не має фенотипового прояву

2. Епістаз

- 13:3 – домінантний епістаз, при якому домінантний не епістатичний ген має фенотиповий прояв, а рецесивний – ні.
- 12:3:1 – домінантний епістаз, при якому домінантний і рецесивний неепістатичні гени мають фенотиповий прояв.
- 9:3:4 – рецесивний епістаз, криптомерія, гомозиготний рецесив одного гена (ген-супресор) пригнічує фенотиповий прояв іншого гена.

3. Полімерія

- 15:1 – некумулятивна полімерія
- 1:4:6:4:1 – кумулятивна полімерія.

Алгебраїчні формули розщеплення

Кількість фенотипових класів залежить від типу взаємодії в кожній парі алельних генів

➤ Повне домінування в кожній парі алельних генів:

$$(3A- + 1aa)(3B- + 1bb) = 9 A-B- + 3 A-bb + 3aaB- + 1 aabb$$

(4 фенотипових класи)

➤ В першій парі алельних генів – повне домінування, в другій парі – неповне домінування

$$(3A- + 1aa)(1BB + 2 Bb + 1bb) = 3A-BB + 6A-Bb + 3 A-bb + 1 aaBB + 2 aaBb + 1 aabb$$

(6 фенотипових класів)

Характер успадкування деяких ознак у тварин і рослин

Назва	Домінантна ознака	Рецесивна ознака
Тварини		
Шовковичний шовкопряд	Жовті кокони	Білі кокони
Кури	Короткі ноги	Нормальні ноги
	Трояндоподібний гребінь	Простий гребінь
	Горохоподібний гребінь	Простий гребінь
	Біле оперення порід: леггорн, корніш, російські білі	Забарвлене оперення різних порід
	Забарвлене оперення	Біле оперення порід: плімутроки, віандоти, мінорли, дорксенги
	Блакитне забарвлення яєчної шкаралупи	Біле забарвлення яєчної шкаралупи
	Оголена шия	Опірена шия
	Подвійна уропігіальна (сальна) залоза	Одинарна уропігіальна залоза

Індичка	Пригнічена швидкість оперення, пір'їни можуть бути скручені, зігнуті, або й відсутні. Знаходиться в статевій хромосомі	Нормальне оперення
	Одноядерні еритроцити	Двоядерні еритроцити
Велика рогата худоба	Безрогість	Рогатість
	Чорна масть (Неповне домінування) Чала (ряба) –гетерозигота	Червона масть
Миша	Коротка шерсть	Довга шерсть
	Забарвлена шерсть дикого типу	Альбінізм, чорна шерсть
	Чорна шерсть	Коричнева шерсть
	Королівська шерсть (пряма, густа)	Гладенька шерсть
	Довгі вуха	Короткі вуха
	Скручений хвіст	Прямий хвіст
Норка	Коричневе (стандартне) хутро	Платинове, сіро-голубе хутро
Морська свинка	Чорна шерсть	Біла шерсть
	Кошлата шерсть	Гладенька шерсть
Вівця	Сіра шерсть	Чорна шерсть
	Жовте забарвлення жиру	Біле забарвлення жиру
Свиня	Біла щетина	Чорна щетина
	Зрослопала нога	Нормальна нога
Хом'як	Золотисте забарвлення шерсті	Рожеве, біле забарвлення шерсті
	Рожеве забарвлення шерсті	Біла шерсть
Рослини		
Кавун	Темний плід із малюнками	Світлий плід без малюнка
Блекота	Дворічна форма	Однорічна форма
Горох	Високий	Карликовий
	Нормальні стебла	Зрослі стебла

	Листки з вусиками	Листки без вусиків, як у білої акації
	Прилисники нормальні	Прилисники дуже зменшені
	Пурпурові квітки	Фіолетові, жовтуваторожеві, рожево-білі квітки
	Сизі боби	Смарагдові (не сизі) боби
	Гладеньке насіння	Зморщене насіння
	Жовте забарвлення сім'ядолей	Зелене забарвлення сім'ядолей
	Насіннева шкірочка забарвлена рівномірно	Насіннева шкірочка плямиста
	Рубчик чорний	Рубчик непігментований
Дурман	Пурпурові квітки	Білі квітки
	Колюче насіння	Гладеньке насіння
	Лежача форма куща	Пряма форма куща
Чина запашна, горошок запашний	Висока	Карликова
	Темні пазухи листків	Світлі пазухи листків
	Листок з вусиком	Листок акацієподібний
	Пізнє цвітіння	Раннє цвітіння
	Пурпурові квітки	Червоні квітки
	Забарвлені квітки	Білі квітки
	Інтенсивне забарвлення квітки	Слабке забарвлення квітки
	Зрощений кіль	Нормальний кіль (нормальна квітка)
	Прямий парус	Парус у вигляді каптура
	Пиляки фертильні	Пиляки стерильні
	Пилкові зерна довгасті	Пилкові зерна круглі
	Зелені боби	Жовті боби
Суниці	Кругле насіння	Зморшкувате насіння
	Червоні ягоди (неповне домінування)	Білі ягоди

Полуниця	Стійка до фузаріозу	Вразлива до фузаріозу
Левкой	Високий	Карликовий
	Гіллястий тип	Негіллястий тип
	Без залозок на листках	Із залозками на листках
	Синє забарвлення зародка	Жовте забарвлення зародка
	Біла насіннева шкірка	Світло-жовта насіннева шкірка
Ротики	Червоне забарвлення квіток (неповне домінування)	Біле забарвлення квіток
	Нормальні квітки	Квітки пілоричної форми
	Високі рослини	Низькорослі рослини
Мак	Червоні квітки (неповне домінування)	Білі квітки
Троянда	Одноразове цвітіння квітки	Повторне цвітіння квітки
	Махрова (подвійна) квітка	Одинарна квітка
	Лазаючий тип росту	Нелазаючий тип росту
	Наявність колючок на стеблах	Відсутність колючок на стеблах
Персик	Плід опушений	Плід голий
	М'якуш плоду білий	М'якуш плоду жовтий
	Великі квітки (неповне домінування)	Дрібні квітки
	Ниркоподібні залозки на листках (неповне домінування)	Без залозок
Соняшник	Гіллясте стебло	Негіллясте стебло
	Високе стебло	Низьке стебло
	Висока лужність	Низька лужність
	Висока олійність	Низька олійність
	Стійкість до вовчака (неповне домінування)	Вразливість вовчаком

Томати	Високе стебло	Карликове стебло
	Звичайний карликовий	Надто карликовий
	Пурпурове забарвлення стебла	Зелене забарвлення стебла
	Розсічені листки	Цілокраї листки
	Звичайний листок	Картопляний листок
	Зелені листки	Жовті листки
	Нормальне суцвіття	Суцвіття з листками
	Завиток простий	Завиток гіллястий
	Круглі плоди	Грушоподібні плоди
	М'якуш червоний	М'якуш жовтий або жовтогарячий
	Шкірка плоду жовта	Шкірка плоду прозора
	Шкірка плоду гладенька	Шкірка плоду опушена
	Плід із темно-зеленою плямою біля основи	Плід без плями біля основи
	Форма плоду правильна	Фасційований плід
	М'ясистий плід (неповне домінування)	Малом'ясистий плід
	Двогніздні плоди	Одногніздні плоди
	Скоростиглість	Пізнюстиглість
Огірки	Високе стебло	Невисоке стебло
	Стійкі до охолодження розсади	Не стійкі до охолодження розсади
	Стійкі до вірусу огіркової мозаїки	Вразливі до вірусу огіркової мозаїки.
	Вразливі до вірусу жовтої мозаїки цукіні	Стійкі до вірусу жовтої мозаїки цукіні
	Некущистий стовбур	Кущистий стовбур
	Гладкий лист	Зморшкуватий лист
	Суцільний лист	Розділений лист
	Листя з нормальним черешком	Листя з коротким черешком
	Листя з вусиками	Листя без вусиків
	Гладка шкірка плоду	Бородавчаста шкірка
	Товста шкірка плоду	Ніжна шкірка плоду
	Роздільні плоди	Зрощені плоди

Пшениця	Фіолетове забарвлення сходів	Зелене забарвлення сходів
	Карликова форма	Нормальна форма
	Антоціанове забарвлення стебла	Стебло без антоціанового забарвлення
	Яра форма	Озима форма
	Короткий колосок (неповне домінування)	Довгий колосок
	Чорна ость	Біла ость
	Опушений колосок	Гладенький колосок
	Червоне зерно	Біле зерно
	Червоний колосок	Білий колосок
	Звичайний колосок	Гіллястий колосок
	Щільний колосок (неповне домінування)	Пухкий колосок
	Безостість	Остистість
	Зерно склоподібне	Зерно борошнисте
Жито	Фіолетові паростки	Зелені паростки
	Нормальний колос	Гіллястий колос
	Червоні вушка на листках	Білі вушка на листках
Ячмінь	Чорний колосок	Білий колосок
	Фіолетове зерно	Біле зерно
	Вразливість до іржі	Імунність до іржі
	Зерно щільно вкрите квітковими лусками	Голе зерно
	За зублені остюки	Неза зублені остюки
	Яра форма	Озима форма
	Ранньостиглість	Пізнєостиглість
	Дворядний колосок	Багаторядний колосок
	Остистість	Безостість
Кукурудза	Фіолетове зерно	Біле зерно
	Вразливість до іржі	Імунність до іржі
	Зерно щільно вкрите квітковими лусками	Голе зерно
	За зублені остюки	Неза зублені остюки

	Зелене забарвлення рослин	Білі рослини (альбінізм)
	Фертильна волоть	Стерильна волоть (ядерна стерильність)
	Червоний стрижень качана	Білий стрижень качана
	Високий відсоток протеїну в зерні	Низький відсоток протеїну в зерні
	Низький вміст амілопектину	воскоподібна (амілопектиновий крохмаль)
	Нормальний уміст цукрів та крохмалю в зерні	Збільшений уміст водорозчинних цукрів, зменшення крохмалю в зерні
	Нормальний вміст лізину і триптофану в зерні	Збільшений вміст лізину і триптофану в зерні
	Невисокий (25 %) вміст амілази amylase extender в зерні	Збільшений вміст (60 %) амілази amylase extender в зерні
	Світло-зелене або білувате забарвлення центральної жилки листа	Коричневе забарвлення центральної жилки листа
	Звичайна висота стебла	Укорочена висота стебла, скорочені міжвузля
	Безлігульний лист при одночасному скороченні листків та збільшенні ширини пластини	Нормальний лист
	Нормальна куцистість	Сильнокуциста рослина, на бокових пагонах утворюється замість качанів фертильна волоть
Овес	Нормальна висота	Гігантизм
	Ранньостиглість	Пізнюстиглість
	Розлога волоть	Одногрива волоть
	Імунність до іржі	Вразливість іржею
	Імунність до сажки	Вразливість сажкою

Характер успадкування деяких ознак у людини

Ознака	
домінантна	рецесивна
Волосся, шкіра, зуби	
Темне волосся	Світле волосся
Не руде волосся	Руде волосся
Кучеряве волосся	Пряме волосся
Тіло дуже вкрите волоссям	Тіло не дуже вкрите волоссям
Раннє облісіння, домінантне у чоловіків	Нормальний термін облісіння
Біле пасмо у волоссі	Волосся одного кольору
Плямистість (на шкірі й волоссі білі плями)	Однокольоровість
Нормальна пігментація шкіри, волосся й очей	Альбінізм
Чорна шкіра (контролюється двома парами генів, домінування неповне)	Біла шкіра
Іхтіоз (луската шкіра)	Нормальна шкіра
Нормальний розвиток потових залоз). Ген в Х-хромосомі	Відсутні потові залози
Гіпоплазія (темна емаль). Ген в Х-хромосомі	Нормальна емаль
Відсутність емалі на зубах	Нормальні зуби
Нормальна шкіра	Відсутність потових залоз
Очі	
Карі	Голубі або сірі
Світло-карі або зелені	Голубі або сірі
Короткозорість	Нормальний зір
Далекозорість	Нормальний зір
Астигматизм	Нормальний зір
Глаукома	Нормальний стан
Аніридія (відсутність райдужної оболонки)	Нормальні очі

Нормальна пігментація райдужної оболонки	Альбінізм очей (Х-хромосома, зчеплена зі статтю)
Нормальне око	Атрофія зорового нерва (Х-хромосома, зчеплена зі статтю)
Нормальне око	Мікрофтальмія (зменшений об'єм ока)
Нормальне кольоросприйняття	Дальтонізм (Х-хромосома)
Риси обличчя	
Вільні мочки вух	Прирослі мочки вух
Товсті губи	Тонкі губи
Великі очі	Маленькі очі
Довгі вії	Короткі вії
Широкі ніздрі	Вузькі ніздрі
Римський ніс	Прямий ніс
Скелет і м'язи	
Низький зріст (зумовлений багатьма генами)	Високий зріст
Ахондроплазія (карликовість)	Нормальний стан
Полідактилія (більше п'яти пальців на руках або ногах)	Нормальна кількість пальців
Брахідактилія (короткопалість)	Нормальні пальці
Синдактилія (зрощення двох або більше пальців)	Нормальні пальці
Прогресивна м'язова атрофія	Нормальний стан
Системи кровообігу й дихання	
Групи крові А, В, АВ	Група крові 0
Гіпертонія (високий кров'яний тиск)	Нормальний стан
Нормальний стан	Гемофілія (зчеплена зі статтю)
Видільна система	
Багатокамерні нирки	Нормальні нирки
Ендокринна система	
Нормальний стан	Цукровий діабет
Травна система	
Розширення товстої кишки (хвороба Гіршпрунга)	Нормальний стан

Нервова система	
Здатність відчувати смак фенілтіокарбаміду	Нездатність відчувати смак фенілтіокарбаміду
Нормальний слух	Природжена глухота
Нормальний стан	Спинно-мозкова атаксія
Хорея Гентінгтона	Нормальний стан
Нормальний стан	Амавротична ідіотія
Мігрень (головний біль)	Нормальний стан
Нормальний стан	Фенілкетонурія
Дрижачий параліч	Нормальний стан
Злоякісні пухлини (онкозахворювання)	
Нормальний стан	Пігментна ксеродерма
Хвороба Реклінгаузена (нейрофіброматоз)	Нормальний стан
Нормальний стан	Гліома сітківки

Генотипи груп крові людини

Групи крові (фенотип)	ген	генотип	Сироваткові антитіла
О (I)	i^O	$i^O i^O$	Анти А Анти В
А (II)	I^A	$I^A I^A$ $I^A i^O$	Анти В
В (III)	I^B	$I^B I^B$ $I^B i^O$	Анти А
АВ (IV)	I^A, I^B	$I^A I^B$	Відсутні

$$I^A > i^O; I^B > i^O$$

Явище кодомінування характерне для *популяційного рівня*

Деякі з відомих мутацій *Drosophila melanogaster*

№ п/п	Назва гена	Позна- чення	Розташування	Фенотиповий прояв
I (статева пара хромосом – X-хромосома)				
1	<i>yellow</i>	<i>y</i>	0,0	Жовтий колір тіла, ротовий апарат коричневий
2	<i>giant</i>	<i>gt</i>	0,9	Гігантські личинки, лялечки та мухи
3	<i>white</i>	<i>w</i>	1,5	Білі очі; вічка, мальпігієві судини та сім'яники без кольору
4	<i>apricote</i>	<i>w^a</i>	1,5	Очі кольору стиглих плодів абрикоса, алель <i>w</i>
5	<i>cut</i>	<i>ct</i>	20,0	Обрізаний край крила
6	<i>singed</i>	<i>sn</i>	21,0	Присмалений; щетинки й волоски загнуті
7	<i>vermillion</i>	<i>v</i>	33,0	Кіноварні очі; вічка без кольору
8	<i>miniature</i>	<i>m</i>	36,1	Мініатюрний; крила сильно зменшені, темні
9	<i>wavy</i>	<i>wv</i>	41,9	Крила хвилеподібно закручені та загнуті
10	<i>small-wing</i>	<i>sl</i>	53,5	Крила короткі, продовгуваті; очі збільшені
11	<i>Bar</i>	<i>B</i>	57,0	Смужкоподібні очі (дуже звужені), дуплікація
12	<i>short-wing</i>	<i>sw</i>	64,0	Крила вкорочені, очі зменшені, грубі
II пара хромосом				
1	<i>expanded</i>	<i>ex</i>	0,1	Розчепірені крила; очі грубі
2	<i>gigant-4</i>	<i>G t-4</i>	24,0	Гігантські мухи
3	<i>black</i>	<i>b</i>	48,5	Чорний колір тіла; крила, щетинки, ніжки, жилки дуже темні
4	<i>jaunty</i>	<i>J</i>	48,7	Закручені доверху крила
5	<i>bright</i>	<i>bri</i>	54,3	Яскраво-червоний колір очей

№ п/п	Назва гена	Позна- чення	Розташування	Фенотиповий прояв
6	light	lt	55,0	Світлоокі; жовтувато-рожевий колір очей
7	cinnabar	cs	57,5	Очі кольору кіноварі, яскраві, шарлахові (стиглих плодів шипшини)
8	vestigial	vg	67,0	Зачаткові крила; мухи не здатні до польоту
9	chubby	ch	72,5	Личинки, лялечки, дорослі особини дуже вкорочені
10	roof	rf	81,0	Дахоподібний; крила звисають по боках
11	narrow	nw	83,0	Звужені крила. Плодючість знижена
12	speck	sp	107,0	Плямистий. Чорна плямка в основі крила
III пара хромосом				
1	sepia	se	26,0	Коричнево-червоний колір очей, які темніють із віком
2	scarlet	st	44,0	Шарлахово-червоні очі
3	pink	p	48,0	Рожевоокий, блідо-рубіновий колір очей
4	sprineless	ss	58,5	Усі щетинки вкорочені та зменшені
5	eboni	e	70,7	Чорне тіло (кольору ебоніту)
6	crumpled	cr	93,0	Зморшкуватокрилі. Крила зменшені
IV пара хромосом				
1	bent	bt	0,0	Крила вигнуті донизу, ніжки вузлуваті. Оптимум 29°

СТИСЛИЙ ОПИС СПАДКОВИХ ХВОРОБ І АНОМАЛІЙ ЛЮДИНИ

1. ЗАХВОРЮВАННЯ, ЯКІ УСПАДКОВУЮТЬСЯ ЗА АУТОСОМНО-РЕЦЕСИВНИМ ТИПОМ

➤ **Акалазія (акаталаземія)** зумовлена відсутністю каталази у крові та тканинах. У половини носіїв генів у юнацькому віці розвиваються виразки на деснах, у інших каталаземія триває безсимптомно.

➤ **Альбінізм** загальний зумовлений інактивацією тиронази, внаслідок чого меланоцити не здатні утворювати меланін. У таких випадках шкіра має молочно-білий колір, волосся дуже світле, внаслідок відсутності пігменту в сітківці просвічуються кровоносні судини й очі мають червонувато-рожевий колір, підвищену чутливість до світла. Іноді альбінізм – складова частина складних синдромів, наприклад галактоземії.

➤ **Алькантонурія** супроводжується виділенням із сечею гомогентизинової кислоти, підлужена сеча при цьому швидко темніє. Проявляється забарвленням хрящової тканини, у похилому віці розвивається артрит.

➤ **Амавротична сімейна ідіотія** має кілька форм. Форма Тей-Сакса починається у віці до року й закінчується летально у віці 4–5 років унаслідок змін у нервових клітинах, в основному кори великих півкуль і мозочка.

➤ **Афібриногенемія** пов'язана з відсутністю фібриногену у крові. Характеризується кровотечами шлунково-кишкового тракту, сечостатевих шляхів тощо. Відмічаються крововиливи під шкіру і в м'язах, особливо при хірургічних втручаннях. Тяжкі кровотечі часто закінчуються смертю.

➤ **Вільсона хвороба, або гепато-церебральна дистрофія**, пов'язана з порушенням синтезу білка церулоплазміну, який транспортує мідь, яка в надлишку відкладається в печінці, мозку, нирках, рогівці та інших органах. Розвивається цироз печінки, відбуваються дегенеративні зміни тканин мозку, порушується перенесення глюкози, амінокислот, сечової кислоти й фосфату в печінкових каналцях. Захворювання, зазвичай починається у віці 10–15 років.

➤ **Галактоземія** зумовлена нездатністю використовувати галактозу внаслідок зниження активності галактозо-1-фосфатуридилтрансферази. Проявляється комплексом ознак: жовтіння, похудіння, цироз печінки, катаракта та ін.

➤ **Гемералопія** – нічна, або куряча сліпота. Нездатність бачити при нічному освітленні. Переважно є складовою частиною інших синдромів. В основному успадковується як рецесивна, зчеплена з Х-хромосомою ознака. К. Штерн (1965) наводить випадок аутосомно-домінантного успадкування нічної сліпоти.

➤ **Гіпофосфатемія** – захворювання кісткової системи, яке нагадує рахіт. Зумовлена зниженою активністю лужної фосфатази печінки. Із сечею виділяється фосфостаноламін, іноді підвищений вміст кальцію у крові.

➤ **Глікогеноз (I тип – хвороба Гірке)** – порушується синтез та розпад глікогену. Глікоген накопичується в печінці, нирках, слизовій оболонці кишечника, в результаті відсутності ферменту глюкозо-6-фосфатази. Розвивається гіпоглікемія. Симптоми хвороби: гіпоглікемічні судоми та збільшення печінки.

➤ **Глікогеноз (II тип – хвороба Помпе)** – перебіг у важчій формі. Глікоген накопичується в печінці, скелетних м'язах, міокарді, легенях, селезінці, наднирниках, нейронах. Розвивається кардіомегалія, важка форма пневмонії. Діти гинуть на першому році життя.

➤ **Муковісцидоз (кістозний фіброз)** – захворювання екзокринної залози. Воно уражає травну систему, легені та потові залози. Викликає недостатність екзокринної функції підшлункової залози, обструктивний процес у дихальних шляхах, підвищений уміст електролітів в потовій рідині.

➤ **Мукополісахаридоз** – захворювання сполучної тканини. Вражається опорно-руховий апарат, внутрішні органи, очі, нервова система. Сповільнюється ріст, короткі шия та тулуб, знижується інтелект, грубі риси обличчя, порушується психічний розвиток із відставанням від норми. Є вісім основних типів мукополісахаридозів залежно від зниження активності різних ферментів. Ген карбовано на короткому плечі 4-ої хромосоми.

➤ **Парагемофілія** – одна з форм незгортання крові, зумовлена відсутністю проакселерину. Характеризується сильними кровотечами при малих травмах, схильністю до шкірних і носових кровотеч.

➤ **Фенілкетонурія** пов'язана з відсутністю ферменту, який перетворює фенілаланін на тирозин. У результаті порушення у крові різко підвищується вміст фенілаланіну, зате зменшується вміст тирозину. Фенілаланін перетворюється в фенілпіровиноградну кислоту, яка видаляється із сечею. Розвивається недоумкуватість, яка є наслідком враження центральної нервової системи. Переведення немовляти на дієту, позбавлену фенілаланіну, запобігає розвитку захворювання.

➤ **Хвороба Гоше** пов'язана з накопиченням цереброзидів у клітинах нервової та ретикуло-ендотеліальної системи, в результаті дефіциту ферменту глюкоцереб्रोзидази. Є дитяча та ювенільна форми. Дитяча проявляється в перші місяці життя затримкою розумового та фізичного розвитку, збільшується живіт, печінка, селезінка, утруднюється ковтання. Смерть настає на першому році життя. Ювенільна форма виникає у дітей різного віку та має хронічний характер. Характеризується пігментацією шкіри, остеопорозом, переломами, деформацією кісток. Ген локалізований на довгому плечі першої хромосоми.

➤ **Хвороба Німанна-Піка** зумовлена зниженням активності ферменту сфінгомієлінази, що призводить до накопичення сфінголієліну в клітинах нирок, мозку, селезінки, ретикуло-ендотеліальній системі. Відбувається дегенерація нервових клітин та порушується діяльність нервової системи. Хвороба найчастіше проявляється в ранньому дитинстві. Діти гинуть в ранньому віці. Ген картований на 1-й хромосомі

2. ЗАХВОРЮВАННЯ, ЯКІ УСПАДКОВУЮТЬСЯ ЗА АУТОСОМНО-ДОМІНАНТНИМ ТИПОМ

➤ *Ангіоматоз оболонки сітківки* – частина системного захворювання очей і головного мозку. Виражається різким розширенням і новоутворенням судин сітківки та дегенерацією нервових елементів. Успадковується за аутосомно-домінантним типом із пенетрантністю 50 %.

➤ *Анемія*. Існує ряд форм анемії, зумовлених різними порушеннями у ферментативних системах крові:

О *анемія мікроцитарна*, або анемія Кулі, або таласемія, зумовлена розладом синтезу нормального «дорослого» гемоглобіну. Крім порушення морфології еритроцитів, спостерігається різним ступенем виражена жовтяниця, зміни у скелеті та ін. Гомозиготи в 90–95 % випадків гинуть у ранньому віці, у гетерозигот таласемія минає субклінічно;

О *анемія серпоподібноклітинна* зумовлена мутацією гена нормального гемоглобіну на S-гемоглобін. Аномальна молекула гемоглобіну за низьких концентрацій кисню у клітині переходить у стан гелю, еритроцити набувають форми серпа або півмісяця. Виражена гіпоксія, порушений внутрішньоклітинний метаболізм. Гомозиготи рідко доживають до статевої зрілості, у гетерозигот клінічна картина виражена нечітко. Успадковується аутосомно з неповним домінуванням;

О *метгемоглобінемія спадкова* – третя форма анемії, зумовлена порушенням відновлення метгемоглобіну на гемоглобін. Вона має дві форми. Одна пов'язана з мутацією нормального гемоглобіну на гемоглобіни Бостон, Чикаго та деякі інші. Успадковується за аутосомно-домінантним типом і характеризується складними патологіями організму. Друга форма пов'язана з дефіцитом ферменту діафрази в еритроцитах, у більшості випадків не дає чітко вираженої картини.

О *гемолітична анемія Мінковського-Шоффара*, *спадковий мікросфероцитоз* – аномалія еритроцитів пов'язана з порушенням їх ліпідної оболонки. Зростає проникливість мембрани еритроцитів, в них надходять іони натрію, втрачається АТФ. Еритроцити стають сферичні. У людей виникає жовтуха, анемія, зміни скелета. Збільшується

селезінка, печінка. Успадковується аутосомно-домінантно з неповною пенетрантністю. Ген картований у 8-й хромосомі

➤ **Аніридія** характеризується відсутністю райдужної оболонки. Переважно двобічне захворювання. Супроводжується помутнінням рогівки й кришталика, зниженням гостроти зору, іноді катарактою, світлобоязню.

➤ **Аноніхія** характеризується неповним розвитком нігтів, іноді супроводжується аномаліями кісток і стопи з відсутністю одного-двох або більше пальців.

➤ **Арахнодактилія**, або **синдром Марфана**. Поєднання різних скелетних, очних і вісцеральних аномалій: довгі та тонкі кінцівки з дуже довгими й тонкими пальцями, вивих кришталика, аневризми аорти, виведення з сечею певних амінокислот. Астенічна конституція. Аутосомно-домінантне успадкування з пенетрантністю 30 %.

➤ **Ахондроплазія**, або хондріострофія плоду, починається розвиватись у ранньому ембріональному періоді. Характеризується непропорційно короткими кінцівками при нормально розвиненому тулубі, карликовим ростом, ніс часто сидлоподібної форми. Переважна частина дітей гине внутрішньоутробно, а ті, які народилися, життєздатні.

➤ **Близькозорість** має багато проявів. Досить розповсюджена робоча, або шкільна близькозорість, яка розвивається в юнацькому віці, і надалі не прогресує. А.А. Малиновський (1970) вказує, що дві форми цієї близькозорості успадковуються незалежно одна від одної як домінантні аутосомні ознаки. За наявності генів помірної та високої близькозорості фенотипово виявляється лише висока.

➤ **Брахідактилія**, або короткопалість. Проявляється по-різному, часто вкорочуються всі пальці за рахунок певних фаланг. Є форми брахідактилії, коли вкорочуються певні фаланги пальців рук і ніг, або вкорочуються тільки п'ясть і плісна. У більшості випадків короткопалі нижчі на зріст, ніж їхні брати та сестри з нормальними кінцівками.

➤ **Ван дер Хеве синдром** містить три важливі ознаки: підвищену ламкість кісток, блакитну склеру й глухоту. Кожна із трьох ознак, яка визначається цим геном, має свою пенетрантність. Тому збіг усіх трьох аномалій коливається від 7 до 44 %.

➤ **Вивих кульшового суглоба** успадковується як аутосомно-домінантна ознака. Експресивність змінна, середня пенетрантність складає 25 %. У дівчаток вивих стегна трапляється у шість разів частіше, ніж у хлопчиків.

➤ **Гіперхолестеринемія** пов'язана із дефектом обміну холестерину. Біохімічний аналіз крові показує підвищений рівень холестерину, вітаміну D й каротину. Успадковується через аутосоми як домінантна ознака (у гомозиготному стані прояв захворювання різко підвищується).

➤ **Міопатія** – прогресивна атрофія мускулатури – має кілька форм. Плече-лопатково-лицьова форма належить до пізніх форм і супроводжується характерним враженням лицьової мускулатури. Успадковується як аутосомно-домінантна ознака. Міопатія Дюшенна частіше успадковується як рецесивна, зчеплена зі статтю, рідше – як аутосомно-рецесивна ознака.

➤ **Нейрофіброматоз** – хронічне захворювання, яке характеризується численними утвореннями пухлин нервових стовбурів. Такі пухлини можуть локалізуватися в будь-яких органах і тканинах (зокрема і в ЦНС), частіше трапляються на шкірі, де мають вигляд пігментованих бородавок із надлишковим ростом волосся. До симптомів захворювання належать також відставання фізичного та розумового розвитку.

➤ **Подагра** зумовлена порушенням обміну сечової кислоти, внаслідок чого концентрація її в організмі підвищена. Відбувається відкладання уратів у різних тканинах, проявляється нападами артритів і утворенням ниркових каменів. Клінічна картина виявлена не завжди і лише в похилому віці. Передається як аутосомно-домінантна ознака з пенетрантністю 20 % у чоловіків і майже повністю не проявлена у жінок.

➤ **Полідактилія** – багатопалість. Ступінь вираженості ознаки може сильно варіювати; 6 пальців може бути на всіх кінцівках або лише на одній, двох, трьох. Іноді буває по 7 пальців. Успадковується за аутосомно-домінантним типом.

➤ **Синдактилія** – зростання пальців. Ступінь вираженості ознаки варіює. Успадковується за аутосомно-домінантним типом.

3. РЕЦЕСИВНЕ УСПАДКУВАННЯ, ЗЧЕПЛЕНЕ ЗІ СТАТТЮ

➤ **Агамаглобулінемія** має кілька форм. Одна з форм – хвороба Брутона: різке пониження стійкості до бактеріальних захворювань (пневмонія, отити, сепсис), що зумовлено недостатністю гама-глобуліну. Дефіцит гама-глобуліну успадковується як рецесивна ознака, зчеплена зі статтю.

➤ **Ангідрозна ектодермальна дисплазія** характеризується комплексом ознак: відсутністю потовиділення та частини зубів, слабким овоłosінням, порушенням терморегуляції.

➤ **Гемофілія** – незгортання крові. Вона пов'язана з відсутністю різних факторів згортання крові, які беруть участь в утворенні плазматичного тромбопластину. Успадковується як рецесивна, зчеплена зі статтю ознака. На даний момент розрізняють 4 види гемофілії: гемофілія А і В – успадкування рецесивне, зчеплене зі статтю (Х-хромосоною) захворювання. Частіше хворіють чоловіки, а жінки є носіями захворювання. Генетичні дефекти характеризуються недостатнім синтезом чи аномалією факторів VIII (коагуляційна частина) – гемофілія А або фактора IX – гемофілія В. Інші види гемофілії успадковуються за аутосомно-домінантним і аутосомно-рецесивним типами.

➤ **Дальтонізм** (ахроматопія), або часткова кольорова сліпота. Розрізняють протанопію – сліпоту на червоний колір, дейтеронопію – сліпоту на зелений і тританопію – сліпоту на синій колір. Успадковується як рецесивна, зчеплена зі статтю ознака. Існують форми, які успадковуються за аутосомно-рецесивним типом.

➤ **Діабет нецукровий** – гіпофункція гіпофіза – призводить до різкого зневоднення організму, яке у новонароджених сповільнює розвиток, різко порушує стан психіки, викликає кахексію, а іноді – смерть.

➤ **Пігментна ксеродерма** – злоякісні новоутворення; надзвичайна чутливість до УФ-променів, під впливом яких на відкритих ділянках тіла з'являються пігментовані плями спершу у вигляді веснянок, поступово збільшуючися до великих родимих плям на ніжках (папілом) різної величини і форми, і, нарешті, пухлин. Для 2/3 хворих пігментна ксеродерма закінчується летально до настання статевої зрілості.

4. ДОМІНАНТНЕ УСПАДКУВАННЯ, ЗЧЕПЛЕНЕ ЗІ СТАТТЮ

➤ **Гіпоплазія емалі** виявляється різким стиранням емалі, супроводжується зміною кольору зубів. Успадковується як домінантна, зчеплена зі статтю ознака.

➤ **Rachit** (фосфат-діабет). Характерне викривлення довгих трубчастих кісток, гомілкового й колінного суглобів. За відсутності лікування діти втрачають здатність ходити. Спостерігається надзвичайно низький рівень неорганічного фосфору у крові.

➤ **Резус-фактор** – одна з численних антигенних властивостей крові. У простішому варіанті резус-позитивний домінує над резус-негативним. Однак ряд досліджень показали, що резус-фактор визначається рядом тісно зчеплених генів, що зумовлює велику різноманітність варіантів резус-несумісності.

5. ЗАХВОРЮВАННЯ, ЯКІ УСПАДКОВУЮТЬСЯ ЗА ОБОМА ТИПАМИ

➤ **Глаукома** пов'язана з порушенням відтоку внутрішньоочної рідини через куток передньої камери, що веде до різних патологічних змін і в кінцевому результаті до втрати зору. Існує багато форм, різних за характером прояву і за типом успадкування. Частина успадковується за аутосомно-домінантним типом, частина – за аутосомно-рецесивним, існують форми з неповною пенетрантністю. Трапляються неспадкові форми – фенокопії.

➤ **Дегенерація рогівки** – зміни в різних ділянках тканини рогівки, що призводить до втрати зору внаслідок порушення її прозорості. Існує кілька форм захворювання, які відрізняються характером морфологічних змін, термінами настання дегенерації та типом успадкування. Більшість форм успадковується за аутосомно-домінантним типом, рідше трапляються аутосомно-рецесивні.

➤ **Іхтіоз вроджений** характеризується різкими змінами шкірних покривів. Простий та епідермальний іхтіоз успадковується за аутосомно-домінантним типом. Існують форми іхтіозу, які передаються як аутосомно-рецесивні ознаки. Більшість форм летальні. Ген однієї з форм іхтіозу зчеплений з Х-хромосомою та передається як рецесивна ознака.

➤ **Катаракта** – помутніння кришталика, має багато різних форм. Вроджені катаракти успадковуються як за аутосомно-домінантним, так і за аутосомно-рецесивним типом. Трапляються фенокопії вроджених катаракт. Пізні катаракти успадковуються за аутосомно-домінантним типом.

➤ **Міоплегія** – паралічі, які періодично повторюються, пов'язані з втратою м'язовими клітинами калію. Існує кілька форм. Починається у віці 20-40 років, успадковується за аутосомно-домінантним і аутосомно-рецесивним типами. Інша форма починається в дитячому віці та успадковується за аутосомно-домінантним типом.

➤ **Пігментний ретиніт** характеризується прогресуючим звуженням поля зору, що призводить до посилення нічної сліпоти, а потім повної втрати зору. Існує ряд спадкових форм, які передаються за аутосомно-домінантним, аутосомно-рецесивним типами та як зчеплена зі статтю ознака.

ГЕНЕТИЧНИЙ СЛОВНИК

Аутосома – нестатева хромосома.

Аутосомно-домінантне успадкування – тип успадкування ознаки, яка контролюється домінантним геном, розміщеним у нестатевій хромосомі.

Аутосомно-рецесивне успадкування – тип успадкування ознаки, яка контролюється рецесивним геном, розміщеним у нестатевій хромосомі.

Агенезія – повна природжена відсутність органа.

Аденін — пуринова основа нуклеотидів ДНК та РНК.

Акроцефалія – «крута» голова, яка нагадує башту; високий череп конічної форми.

Акроцентрична хромосома – хромосома, у якої центромера знаходиться біля одного з кінців, при цьому одне плече хромосоми довге, інше – коротке.

Алель – форма стану одного гена, який займає ідентичні локуси гомологічних хромосом і зумовлює різні фенотипи.

Алель летальний – зумовлює загибель організму, який є його носієм.

Альбінізм – генетично зумовлена відсутність пігмента меланіну в шкірі, волоссі, райдужній оболонці ока.

Ампліфікація – утворення додаткових копій гена.

Аналізуюче схрещування – схрещування особини з невідомим генотипом із рецесивною гомозиготною особиною (аналізатор). Допомогає встановити генотип.

Анафаза – одна зі стадій мітозу чи мейозу, під час якої хромосоми розходяться до протилежних полюсів клітини

Анеуплоїдія – геномна мутація; некрратне гаплоїдному набору збільшення або зменшення кількості хромосом; наприклад: $2n - 1$ або $2n + 1$, де n — кількість хромосом у гаплоїдному наборі.

Аніридія – відсутність райдужної оболонки ока.

Аномалія – відхилення від нормального розвитку.

Аноніхія – відсутність нігтя на одному, кількох чи на всіх пальцях.

Антиген – речовина, яка сприяє синтезу антитіл в організмі, з якими вона вступає в специфічну реакцію.

Антикодон – ділянка молекули тРНК, яка має три нуклеотиди та впізнає відповідну ділянку з трьох нуклеотидів (кодон) у молекулі іРНК. А. комплементарно взаємодіє з кодоном.

Антипаралельність – протилежна орієнтація двох полінуклеотидних ланцюгів молекули ДНК.

Арахнодактилія – довгі, тонкі пальці кистей та стоп.

Аутосоми – всі хромосоми, крім статевих.

Ахондропластична карликовість – спадкове захворювання, яке супроводжується розвитком коротких кінцівок за нормальної довжини тулуба.

Біваленти – пара кон'югуючих гомологічних хромосом у зиготені I профазі мейозу. У нормі кількість бівалентів дорівнює кількості гаплоїдного набору хромосом.

Близнюки – двоє (і більше) дітей, народжених від однієї вагітності.

Близнюки дизиготні (двояйцеві) – організми, які розвиваються з двох різних зигот унаслідок запліднення двох різних яйцеклітин (можуть бути однієї чи різної статі, генотипи різні).

Близнюки монозиготні (однойцеві, ідентичні) – організми, які розвиваються з однієї зиготи (однієї статі, мають однакові генотипи).

Близнюки з'єднані – організми, з'єднані між собою будь-якою частиною тіла внаслідок їхнього аномального розвитку.

Брахідактилія – короткопалість.

Брахіцефалія – збільшення поперечного розміру голови.

Буфтальм – природжена глаукома.

Галактоземія – спадкове моногенне захворювання, яке супроводжується порушенням обміну галактози.

Гамета – зріла статеві клітина, яка містить гаплоїдний набір хромосом і здатна до запліднення.

Гаплоїдія – явище кратного зменшення в два рази кількості хромосом у каріотипі, який містить $2n$ хромосом.

Гемізиготність – представлення деяких генів у диплоїдній клітині тільки одним алелем. Термін використовують для позначення генотипу чоловіка. Він стосується ознак, зчеплених зі статтю, оскільки чоловік має лише один набір генів, зчеплених з Х-хромосомою.

Геміралопія (куряча сліпота) – нездатність бачити при нічному та сутінковому освітленні. Тип успадкування – найчастіше рецесивний, зчеплений з Х-хромосомою, зрідка – аутосомно-домінантний чи аутосомно-рецесивний.

Гемофілія – спадкове захворювання, за якого порушується механізм згортання крові. Тип успадкування – найчастіше рецесивний, зчеплений з Х-хромосомою.

Ген – це ділянка молекули ДНК (у деяких вірусів РНК), яка кодує первинну структуру поліпептиду, молекул рРНК та тРНК або взаємодіє з регуляторним білком.

Ген-модифікатор – при взаємодії з іншими генами змінює їх фенотипів прояв.

Гени-мутатори – гени, здатні різною мірою (до 10 разів) підвищувати частоту мутацій інших генів, відіграють важливу роль у виникненні мутацій.

Генеалогічний метод – метод вивчення й аналізу родоводів.

Генетичний моніторинг – спостереження за типом та спектром мутаційного процесу.

Генетичний тягар – сукупність генів у популяції, які знижують життєздатність організму та спричиняють хвороби.

Генна терапія – метод лікування моногенних хвороб за допомогою методів генної інженерії.

Генокопії – подібні фенотипи, сформовані під впливом різних неалельних генів.

Геном – сукупність генів, які містяться в гаплоїдному наборі хромосом даного організму

Генотип – сукупність взаємодіючих генів організму.

Генофонд – сукупність генів усіх особин пререпродуктивного та репродуктивного віку даної популяції.

Гетерогаметна стать – організм, який продукує статеві хромосоми двох типів. Так, гамети чоловіка містять Х-хромосому або У-хромосому.

Гетерозигота – клітина чи організм, які містять два різні алелі в ідентичних локусах хромосом гомологічної пари; організм дає розщеплення ознак у нащадків, тому що утворює два типи гамет.

Гетерохроматин – генетично інертні, або неактивні хромосоми.

Гібрид – нащадок від схрещування двох генетично різних організмів.

Гіпертрихоз – надмірний ріст волосся. Оволосіння вušних раковин. Голандричний тип успадкування (зчеплений з Y-хромосомою).

Гістон – білок хроматину, багатий на лізин та аргінін, асоційований з ДНК.

Гомогаметна стать – організм, який продукує статеві хромосоми одного типу. Так, у жінок всі гамети містять Х-хромосому.

Гомозигота – клітина чи організм, які мають два однакові алелі в ідентичних локусах пари гомологічних хромосом; організм не дає розщеплення ознаки, бо утворює один тип гамет; синонім — чиста лінія.

Група зчеплення – сукупність усіх генів, локалізованих в одній хромосомі.

Гуанін – пуринова основа в нуклеотидах ДНК або РНК.

Дактилоскопія – вивчення шкірного малюнка пальців.

Дальтонізм – спадкова хвороба, пов'язана з неспроможністю розрізняти деякі кольори (червоний, зелений). Ген, який спричинює хворобу, локалізований в Х-хромосомі.

Дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК) – біополімер, який міститься в хромосомах, мітохондріях і пластидах. У ДНК закодowana спадкова інформація про первинну структуру молекул поліпептидів.

Делеція – хромосомна чи генна мутація, за якої втрачається певна ділянка хромосоми, хроматиди чи гена.

Дерматогліфіка – наука, яка вивчає папілярні лінії та візерунки шкіри.

Диплоїд – клітина тканини чи організм, які мають диплоїдний набір хромосом. У нормі соматична клітина людини містить подвійний набір хромосом (2п), який становить 46 хромосом.

Домінантна ознака – така, яка проявляється в гетеро- та в гомозиготному станах.

Дуплекс (AAaa) – автотетраплоїд, в геномі якого є два домінантні гена А.

Дуплікація – хромосомна аберація, за якої подвоюється частина хромосоми.

Екзон – ділянка молекули ДНК еукаріот, яка містить інформацію про амінокислотний склад білків.

Експресивність – ступінь фенотипового прояву ознаки.

Ензимопатія (ферментопатія) – група моногенних спадкових захворювань, за яких порушується синтез ферментів, що спричинює порушення метаболізму і розвиток хвороби.

Епікантус – вертикальна складка шкіри біля внутрішнього кута ока.

Епістаз – взаємодія неалельних генів, за якої алель одного гена пригнічує дію іншого.

Еукаріот – організм, у якого клітини мають чітко визначене ядро, відмежоване від цитоплазми оболонкою.

Еухроматин – активні ділянки хромосом, які беруть участь у транскрипції.

Збалансована транслокація – структурна реорганізація хромосом, за якої після мейозу та запліднення кількість генетичного матеріалу не змінюється.

Збалансований поліморфізм – два різні генетичні варіанти, стабільно наявні в популяції.

Зворотна транскрипція – синтез ДНК на матриці РНК.

Зворотнє схрещування – схрещування нащадків з одним з батьківських форм.

Зигота – диплоїдна клітина, утворилась унаслідок злиття гамет.

Зчеплення – рівень зв'язку алелів різних генів у мейозі чи генетичному схрещуванні, який виключає можливість їх незалежного успадкування.

Інбридинг – схрещування між спорідненими особами. Крайнім варіантом інбридингу є самозапилення.

Інверсія – вид хромосомної аберації, за якої частина хромосоми перевернута на 180°.

Інсерція – генна мутація, за якої відбувається вставка одного нуклеотиду. Це призводить до зсуву рамки зчитування та порушує всю амінокислотну послідовність.

Інтерфаза – частина клітинного циклу, період між двома мітотичними поділами, протягом якого синтезуються речовини, необхідні для існування клітини та її наступного поділу.

Інтрон – некодуючі нуклеотидні послідовності гену еукаріот, які розташовані між екзонами (внутрішньогенні) чи між генами (міжгенні) в геномі.

Іхтіоз – спадкове захворювання, яке супроводжується тріщинами та лускатістю шкіри.

Каріотип – сукупність хромосом соматичної клітини чи організму із зазначенням їхніх кількості, розмірів і форми; К. індивідуальний для кожного виду живих організмів.

Квадриплекс (AAAA) – автотетраплоїд, у геномі якого є чотири домінантні гени *A*.

Кластери – групи різних генів, які знаходяться в певному локусі хромосом, об'єднані загальними функціями.

Клинодактилія – викривлення пальців.

Клон – усі клітини, які утворюються від однієї клітини через послідовні мітотичні поділи, мають однаковий генотип.

Код генетичний – система запису та збереження генетичної інформації в молекулах нуклеїнових кислот у вигляді послідовності нуклеотидів.

Кодон – три суміжні нуклеотиди в молекулі ДНК, мРНК, які кодують одну з амінокислот або ініціюють початок та закінчення біосинтезу білка.

Кодомінування – фенотиповий прояв одночасно обох алелів гена у гетерозиготних особин.

Комплементарність – просторова відповідність поверхонь взаємодіючих молекул чи їхніх частин. Унаслідок комплементарної взаємодії пуринових і піримідинових основ (А – Т; Г – Ц) утворюється вторинна структура молекули ДНК.

Криптофтальм – природжене недорозвинення або відсутність очного яблука, повік, очної щілини.

Кровноспоріднений шлюб – шлюб між кровними родичами, які мають спільного предка.

Кросинговер – явище перехресту й обміну ділянками гомологічних хромосом, яке відбувається в профазі I поділу мейозу, завдяки чому утворюються унікальні гамети.

Локус – місце розміщення гена в хромосомі.

Макроглосія – патологічне збільшення язика.

Мейоз – тип клітинного поділу, за якого з однієї диплоїдної материнської клітини утворюються чотири гаплоїдні дочірні клітини. Даний поділ має місце при утворенні статевих клітин (гамет).

Метафаза – стадія мітозу чи мейозу, за якої хромосоми розташовуються на екваторі веретена, утворюючи метафазну пластинку.

Мікроаномалії розвитку – морфологічні зміни органів, які не порушують функцію органів; не потребують косметичної корекції.

Мікрофтальм – зменшення всіх розмірів ока.

Мікроцефалія – зменшення розмірів головного мозку і мозкової частини черепа.

Місенс-мутація – генна мутація, за якої відбувається заміна одного нуклеотиду на інший і при цьому змістове значення кодона змінюється. Заміна в кодоні одного нуклеотиду на інший супроводжується амінокислотною заміною в поліпептидному ланцюзі.

Мітоз – основний непрямий спосіб поділу соматичних клітин у еукаріот, унаслідок якого з однієї материнської клітини утворюються дві генетично ідентичні дочірні клітини.

Модифікація – фенотипові неспадкові зміни, які виникають за дії різних факторів довкілля.

Мозаїк – особа, в якій унаслідок соматичної мутації чи мітотичного кросинговеру частина клітин стала генетично й фенотипово відрізнятися від інших клітин. М. може утворитися також унаслідок компактизації Х-хромосоми в особин жіночої статі.

Моносомік – організм або клітина, у каріотипі яких немає однієї хромосоми ($2n - 1$).

Множинний алелізм – різні мутантні стани одного й того самого гена, який займає певний локус у хромосомі. Наприклад, гени, які контролюють різні групи крові у людини, та ін.

Морганіда — одиниця відстані між генами в хромосомах. 1 морганіда дорівнює 1 % кросинговеру.

Мутагени — агенти хімічної, фізичної, біологічної природи, які здатні спричинювати мутації.

Мутація — стійка раптова зміна гена, структури та кількості хромосом.

Нейтральні мутації — генні мутації, за яких відбувається заміна одного нуклеотиду на інший і при цьому змістове значення кодону не змінюється через виродженість коду (завдяки йому одна й та ж АК може кодуватись декількома триплетами).

Неперервна мінливість — такий вид мінливості, за якої особини не діляться на чітко обмежені фенотипові класи. Характерна для кількісних ознак.

Нерозходження хромосом — відбувається в мейозі, в результаті обидві гомологічні хромосоми або сестринські хроматини рухаються до одного полюса поділу, утворюючи анеуплоїдні клітини.

Нонсенс-мутації — генні мутації, за яких відбувається заміна одного нуклеотиду на інший і при цьому кодон перетворюється на один із трьох можливих термінуючих триплетів (УАГ, УАА, УГА).

Норма реакції — відповідь генотипу на конкретні умови середовища; фенотиповий прояв організму, який формується на основі даного генотипу за різних умов середовища.

Нуклеїнові кислоти — фосфоровмісні полінуклеотиди.

Нуклеосома — основна структурна одиниця хроматину еукаріот. Має вигляд дисків діаметром до 10 нм.

Нуклеотиди — фосфорні ефіри нуклеозидів. Складаються з азотної основи (пуринової чи піримідинової) вуглеводу (рибози чи дезоксирибози) і залишків фосфорної кислоти. Н.— мономери нуклеїнових кислот.

Нулліплекс (*aaaa*) – автотетраплоїд, в геномі якого немає домінантних генів *A*.

Нулесомік – організм або клітина, у каріотипі яких немає двох хромосом ($2n - 2$).

Ознаки, зчеплені зі статтю – такі, за яких гени розташовані в статевих хромосомах.

Ознаки, не зчеплені зі статтю – такі, за яких гени розташовані в аутосомах. Фенотиповий прояв їх не залежить від статі.

Оперон – структурна одиниця геному прокаріот, котрий складається із сукупності структурних і регуляторних генів, які здійснюють каскадний характер метаболічних процесів і функціонують як єдине ціле.

Панміксія – вільне, випадкове схрещування особин із різними генотипами в популяції.

Пенетрантність – частота фенотипового прояву гена в його носіїв.

Плейотропія – явище одночасного впливу одного спадкового фактора на кілька ознак.

Полігенні ознаки – такі, які кодуються багатьма генами, кожний з яких окремо незначно впливає на ступінь прояву ознаки.

Полідактилія (багатопагість) – збільшення кількості пальців на кистях чи стопах.

Полімерія – взаємодія неалельних генів, які контролюють одну ознаку. Різні гени подібно впливають на розвиток однієї і тієї ж ознаки.

Поліморфізм – одночасна присутність у популяції кількох форм гена чи ознаки.

Поліплоїдія – явище збільшення кількості хромосом у каріотипі, кратне гаплоїдному числу.

Популяція – сукупність особин певного виду, які достатньо тривалий час (кілька поколінь) населяють певний ареал, всередині

якого здійснюються панміксії і немає помітних ізоляційних бар'єрів. Вона ізольована від сусідніх, таких же особин даного виду.

Пробанд – особа, яка звернулася за допомогою до медико-генетичної консультації та від якої починається складання родоводу.

Прогенія – надмірний розвиток нижньої щелепи, масивне підборіддя.

Прогерія – патологічний стан, який супроводжується передчасним старінням організму.

Прогнатія – надмірний виступ верхньої щелепи.

Птоз – опущення верхньої повіки.

Процесинг – другий етап реалізації генетичної інформації, або експресії генів у еукаріот. П. – «дозрівання» попередника мРНК (первинного транскрипту) і перетворення його на зрілу мРНК. Складається з трьох етапів: кепування (додавання «кепу» на 5' кінці мРНК), поліаденілювання (додавання послідовності полі А на 3' кінці мРНК) та сплайсингу.

Рекомбінація – перегруповання генів при утворенні гамет у гібридів, що призводить до нових поєднань ознак у нащадків.

Репарація – виправлення порушень первинної структури ДНК.

Рецесивна ознака – така, яка пригнічується; проявляється в гомо- та гемізиготному станах.

Реципрокне схрещування – система схрещувань в обох напрямках (пряме та обернене).

Родовід – схема, яка демонструє родинні зв'язки між членами однієї родини в поколіннях.

Розщеплення – поява в потомстві особин, які відрізняються один від одного (різних фенотипових та генотипових класів).

Сайт ділянка молекули нуклеїнової кислоти.

Сибси – брати та сестри пробанда.

Синдактилія — повне чи часткове зрощення двох чи більше пальців на руках чи ногах.

Синдром – стійка сукупність симптомів, об'єднаних єдиним патогенезом.

Скринінг (просіювання) – ідентифікація в популяції осіб із відповідною хворобою або носіїв відповідних генів.

Симплекс (*Aaaa*) – автотетраплоїд, у геномі якого наявний один домінантний ген *A*.

Соматична клітина – нестатева клітина організму.

Сперматогенез – розвиток і дозрівання чоловічих гамет.

Сплайсинг – видалення інтронів і з'єднання екзонів у мРНК. Відбувається в еукаріот під час процесингу.

Статевий хроматин – неактивна деспіралізована X-хромосома соматичних клітин жінок.

Статеві хромосоми – визначають стать: У більшості тварин і рослин, зокрема людини та дрізофіли, це X- та Y-хромосоми.

Стерильність – нездатність організму утворювати гамети в достатній кількості. Якщо вони не утворюються взагалі, або всі аномальні, тоді йдеться про повну стерильність.

Стоп-кодони (УАГ, У А А, УГА) – сигнали припинення транскрипції.

Таласемія – захворювання, викликане відсутністю глобіна в еритроцитах. Аутомне успадкування з неповним домінуванням.

Тератоген – чинник, який спричинює природжені вади.

Транзиції – генні мутації, за яких відбувається заміна одного пуринового (піримідинового) нуклеотиду на інший пуриновий (піримідиновий) нуклеотид.

Трансверсії – генні мутації, за яких відбувається заміна пуринового (піримідинового) нуклеотиду на інший піримідиновий (пуриновий) нуклеотид.

Транслокація – реципрокні обміни між негомологічними хромосомами.

Транспозиції (нереципрокні обміни) – переміщення гена з одного місця хромосоми в інше або з однієї хромосоми в іншу. Такі гени називають мобільними генетичними елементами або стрибаючими генами (МГЕ).

Транскрипція – перший етап реалізації генетичної інформації або експресії генів, за якого відбувається переписування послідовності нуклеотидів із ділянки одного ланцюга молекули ДНК на молекулу РНК. Т. відбувається в ядрі за участю ферменту РНК-полімерази, чотирьох нуклеотидів (АТФ, ЦТФ, ТТФ, ГТФ) і факторів транскрипції.

Трансляція – у прокаріот другий, а у еукаріот – третій етап реалізації генетичної інформації, або експресії генів, під час якого відбувається переведення послідовності нуклеотидів мРНК у відповідну послідовність амінокислот поліпептиду. Т. відбувається у цитоплазмі на рибосомах і матрицею слугує мРНК.

Триплекс (*AAAa*) – автотетраплоїд, у геномі якого є три домінантні гени *A*.

Тетрасомік ($2n+2$) – організм або клітина, у каріотипі яких є дві додаткові хромосоми.

Трисомік ($2n+1$) – організм або клітина, у каріотипі яких є одна додаткова хромосома.

Трисомія – наявність додаткової хромосоми в каріотипі, унаслідок цього в ядрі соматичної клітини є три гомологічні хромосоми.

Фенокопії – неспадкові фенокопічні модифікації, які імітують подібний фенотип спадкової мутації.

Фенотип – сукупність зовнішніх і внутрішніх ознак організму та його властивостей, які формуються внаслідок взаємодії генотипу з умовами середовища.

Фертильність – плодючість.

Хорея Гентінгтона – моногенне спадкове захворювання, яке супроводжується розумовою відсталістю та розладом рухів.

Хроматиди – структурні елементи хромосоми; синтезуються в інтерфазі клітинного циклу. Під час мітозу сестринські хроматиди розтягуються до різних полюсів клітини і стають самостійними хромосомами.

Хроматин – комплекс ДНК з гістоновими та негістоновими білками; в інтерфазному ядрі хроматин перебуває у деконденсованому стані, у мітозному ядрі – у конденсованому стані. Розрізняють транскрипційно активний еухроматин та частково конденсований гетерохроматин (транскрипційно неактивний).

Хромосомна аберація – порушення структури хромосоми, яке призводить до порушення нормального перебігу процесів збереження і передачі спадкової інформації: утворюються незбалансовані гамети, порушується процес кросинговеру, проявляються у зиготі рецесивні гени (гемізиготність).

Хромосомний набір – сукупність хромосом у ядрі соматичної або статевій клітини.

Центромера – первинна перетяжка на хромосомі, яка не має хроматину. З'єднує хроматиди у хромосомі під час поділу клітини. Є місцем приєднання хромосоми до веретена поділу.

Цитоплазматична спадковість – передача ознак, зумовлена генами, розташованими в органелах (мітохондріях, пластидах) чи у вигляді ендосимбіонтів або екстрахромосомних елементів (плазмід) у цитоплазмі клітини. Передається через яйцеклітину.

ВІДПОВІДІ НА ЗАДАЧІ

Моногібридне схрещування

1. Від схрещування гомозиготних ранньо- та пізньостиглих рослин усе потомство буде ранньостиглим. Від схрещування між собою гібридів першого покоління буде отримано фенотипове розщеплення 3:1 (3 частини нащадків будуть ранньостиглі та 1 частина – пізньостиглих), з них $\frac{1}{4}$ гомозиготи ранньостиглі, $\frac{2}{4}$ гетерозиготи ранньостиглі і $\frac{1}{4}$ гомозиготи пізньостиглі. Зворотнє схрещування F_1 з батьківською ранньостиглою формою дасть 100 % ранньостиглих нащадків, 50 % з яких будуть гомозиготами і 50 % – гетерозиготами.
2. Рослини першого покоління від схрещування гомозиготних пурпурових рослин із зеленими будуть одноманітними, за фенотипом – пурпурове забарвлення стебла, за генотипом – гетерозиготами. Від схрещування гібридів F_1 між собою потомство матиме розщеплення за фенотипом 3:1 (3 частини рослин матимуть пурпурове забарвлення стебла та 1 частина – зелене). За генотипом $\frac{1}{4}$ домінантні гомозиготи, $\frac{2}{4}$ – гетерозиготи, $\frac{1}{4}$ – рецесивні гомозиготи. Від схрещування гібридів F_1 з батьківською пурпуровою рослиною все потомство буде з пурпуровим стеблом, серед яких 50 % гомозиготи, а 50 % гетерозиготи. При схрещуванні гібридів F_1 з батьківською зеленою рослиною 50 % нащадків будуть пурпурові гетерозиготи, а 50 % нащадків – зелені гомозиготи.
3. Оскільки у всіх рослин F_1 забарвлення листків зелене (домінантна ознака), то ознака успадковується за типом повного домінування. Генотипи вихідних сортів: AA x aa, F_1 – Aa. А в другому поколінні розщеплення 3,2:0,8, тобто $\frac{3}{4}$ – із зеленими, $\frac{1}{4}$ – з жовтими листками. Для перевірки гіпотези необхідно провести аналізуюче схрещування з рецесивною гомозиготою. Серед 126 рослин 63 рослини будуть з зеленим, а 63 рослини з жовтим листям.
4. 1) покоління буде одноманітне: гетерозиготи темний плід з малюнками. 2) співвідношення генотипів та фенотипів буде 1:1 (50 % темний плід та 50 % світлий плід). 3) співвідношення генотипів буде $1BB : 2Bb : 1bb$, а співвідношення фенотипів – 3:1 (3 темний : 1

світлий). 4) F_1 буде одноманітним: гомозиготи світлого кольору. 5) співвідношення за генотипами буде $1BB : 1 Bb$, а за фенотипом всі плоди будуть темного кольору з малюнком.

5. Під час схрещування між собою томатів із середньом'ясистими плодами розщеплення за генотипами та фенотипами становитиме: $1AA$ (м'ясисті плоди) : $2 Aa$ (середньом'ясисті плоди) : $1 aa$ (малом'ясисті). У зворотньому схрещуванні рослини F_1 з рослинами з м'ясистими плодами буде спостерігатись розщеплення $1:1$ (50 % рослин з м'ясистими плодами та 50 % з середньом'ясистими плодами). При схрещуванні F_1 з рецесивною гомозиготою буде спостерігатись розщеплення $1:1$ (50 % рослин з середньом'ясистими плодами та 50 % з малом'ясистими плодами).

6. Оскільки у F_1 всі рослини одноманітні, а у F_2 розщеплення складе $3,01:0,99$ ($\approx 3:1$), то ми маємо справу з повним домінуванням та моногенним типом успадкування ознаки. Рослини першого покоління мають фіолетовий колір.

7. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Чорний колос – домінантна ознака, білий колос – рецесивна ознака. Рослини F_1 мали генотип Aa , а рослини F_2 дали розщеплення за генотипом: $1AA : 2Aa : 1 aa$. Для перевірки припущення варто поставити аналізуюче схрещування, при цьому можна очікувати розщеплення $1:1$ (50 % з чорним колосом та 50 % з білим колосом).

8. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Червоний колосок – домінантна ознака, білий – рецесивна. Вихідні рослини мали такі генотипи: $AA \times aa$. У F_2 $1/3$ рослин з червоним колоском повинна бути гомозиготною за цією ознакою.

9. Відсоток олійності успадковується за типом повного домінування. Рослини з низькою олійністю серед нормальних могли з'явитись за умов, що деякі рослини були гетерозиготами (Aa), отже, їх нащадки із гомозиготним рецесивним генотипом могли бути з низькою олійністю (в $1/4$ випадків). Щоб з'ясувати, які нормальні рослини з F_2 є гетерозиготами, треба провести аналізуюче схрещування. Рослина з високою олійністю буде гетерозиготою, якщо її схрестити з рослиною з низькою олійністю і серед їхніх нащадків з'являться рослини з низькою олійністю у співвідношенні 1 до 1 (висока олійність до низької).

10. Моногенний тип успадкування, неповне домінування. Генотип батьків Аа, генотип-фенотип курчат: 30 Аа – рябих, 17 АА – чорних, 16 аа – білих, 1АА : 2 Аа: 1 аа
11. Оскільки в F₁ всі ягнята сірі, а в F₂ іде розщеплення 3:1, можна зробити висновок, що сірий колір – домінантна ознака, а чорний – рецесивна. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Для перевірки гіпотези треба поставити аналізуюче схрещування, в якому очікується розщеплення 1:1 (50 % сірих ягнят та 50 % чорних). Генотип батьківських форм барана – аа, а вівці – АА.
12. Кошлата шерсть є домінантною ознакою, а гладка – рецесивною. Успадкування моногенне, відбувається за типом повного домінування. Генотип першої самки Аа, другої самки – АА, самця – аа. При схрещуванні нащадків другої самки між собою будемо спостерігати розщеплення за генотипом 1АА: 2 Аа : 1аа, за фенотипом 3/4 кошлатих : 1/4 гладкошерстних морських свинок.
13. Генотипи батьків – Аа, генотипи приплоду – АА, Аа, аа. Імовірність того, що проданий хом'ячок є гетерозиготою, складає 50 % серед усіх хом'ячків або 2/3 серед хом'ячків рожевого забарвлення.
14. Розщеплення у F₁ можна пояснити тим, що рябі телята є тільки гетерозиготами, отже, спостерігається неповне домінування алельних генів при моногенному типу успадкування ознаки. Рябе забарвлення у великої рогатої худоби спостерігається при схрещуванні чорних корів (бичків) з червоними бичками (коровами) та успадковується за типом неповного домінування та моногенного успадкування.
15. Сріблясто-блакитне забарвлення шерсті успадковується за типом повного домінування та моногенного успадкування. Коричневе забарвлення шерсті – домінантна ознака, а сріблясто-блакитне – рецесивна. Для збільшення кількості сріблясто-блакитних норок у потомстві потрібно поставити схрещування рецесивних – сріблясто-блакитних – гомозигот між собою (всі нащадки будуть сріблясто-блакитними) або рецесивних гомозигот із гетерозиготою (50 % нащадків матимуть коричневу шерсть і 50 % – сріблясто-блакитну).

16. Оскільки за вкорочені ноги відповідає домінантний алель А, і домінантна гомозигота летальна, то генотип батьків може бути тільки Аа. При повному домінуванні розщеплення становить 2 Аа : 1аа, оскільки АА – летальні. Якщо народилося тільки 4000 курчат, з яких $\frac{2}{3}$ коротконогі, то їхня кількість складає 2667 особин.

17. Забарвлення оперення курей успадковується за типом неповного домінування та моногенного успадкування алельних генів. Генотипи батьківських форм: Аа (блакитнопері) та аа (чорні); генотипи F₁: Аа та аа. Від схрещення блакитноперих особин між собою одержано таке розщеплення в потомстві: 183 Аа блакитнопері, 86 аа чорні, 78 АА білі (1АА: 2Аа: 1 аа). Від схрещування білих особин з чорними всі кури будуть гетерозиготи з блакитним оперенням.

18. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Наявність червоного плавника – домінантна ознака. Генотип вихідних риб: АА х аа, генотип гібридів F₁ – Аа; в другому поколінні без плавника повинно з'явитись 104 риби.

19. Ознака успадковується моногенно за типом неповного домінування. Генотипи вихідних рослин: АА х аа. Якщо схрестити гібриди F₁ із суницями, які мали червоні ягоди, отримаємо розщеплення за фенотипом 1:1 (50 % рожеві ягоди і 50 % – червоні ягоди).

20. Генотипи: матері I^Ai, батька I^AI^B, дітей ii, I^Bi, I^AI^B. Сумнів викликає поява дитини з першою групою крові, оскільки у даної пари не могло б народитись такої дитини, тому цей батько не її рідний.

21. а) Генотипи батьків: I^AI^A і I^BI^B; б) генотипи батьків: I^Ai і I^BI^B; в) генотипи батьків: I^AI^A і I^Bi; г) генотипи батьків: I^Ai і I^Bi.

22. За умови, що ознака контролюється одним геном, колір очей успадковується за типом повного домінування. Зелений колір очей – домінантна ознака, а блакитний – рецесивна, оскільки батьки матері були зеленоокими. З огляду на те, що в Ірини блакитні очі, а у хлопців – зелені, можна зробити висновок, що батько – гетерозиготний із зеленими очима. Генотипи членів родини: дідусь та бабуся – Аа х Аа, мати – аа, батько – Аа, сини – Аа, дочка – аа.

23. Судячи з того, що всі діти народились із темним волоссям, при тому, що батько має світле волосся, мати дітей – гомозиготна

домінантна за цією ознакою. Отже, генотипи матері і батька АА х аа відповідно, генотипи дітей – Аа.

24. Генотипи членів родини: мати – Аа, батько – аа, діти – Аа і аа, батько матері мав генотип АА або Аа.

25. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Гіллясте стебло – домінантна ознака, негіллясте стебло – рецесивна. Вихідні рослини мали такі генотипи: Аа. Від схрещування вихідних рослин із рослинами з негіллястим стеблом 50 % рослин будуть мати гіллясте стебло, а 50 % рослин – негіллясте стебло.

26. Аа х Аа – $\frac{1}{4}$ червоні квіти, $\frac{2}{4}$ рожеві квіти, $\frac{1}{4}$ – білі квіти.

АА х Аа – $\frac{1}{2}$ червоні квіти, $\frac{1}{2}$ рожеві квіти.

аа х Аа – $\frac{1}{2}$ білі квіти, $\frac{1}{2}$ рожеві квіти.

аа х аа – всі білі квіти.

Всі рослини будуть мати рожеве забавлення при схрещуванні рослин маку з червоними квітами з рослинами з білими квітами. АА х аа – Аа.

27. Моногенний тип успадкування ознаки, неповне домінування. Від схрещування рослини зі щільним колоском з рослинами із пухким колоском у всіх рослин колосок буде з середньою щільністю.

28. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Червоний стрижень качана – домінантна ознака. Генотип вихідних рослин – АА х аа, F_1 – Аа. Від схрещування гібридів F_1 з вихідними батьківськими рослинами кукурудзи з червоним стрижнем качана всі рослини мали червоний стрижень качана.

29. Моногенний тип успадкування ознаки, неповне домінування. Від схрещування гібридів F_1 з вихідним батьківським сортом персика з великими квітами 50 % будуть мати великі квіти, 50 % квіти середнього розміру. Від схрещування гібридів F_1 з вихідним батьківським сортом персика з дрібними квітами 50 % будуть мати дрібні квіти, 50 % квіти середнього розміру.

30. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Пурпурові квіти – домінантна ознака, білі – рецесивна. В результаті рецесивної мутації з'явилась біла квітка. Від самозапилення рослин дурману з білими квітами всі квіти будуть білими.

31. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Чубаті – домінантна ознака, нормальні – рецесивна. При схрещуванні нормальних качок між собою каченята з чубчиком не з'являються.

32. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Скручені хвости – домінантна ознака, прямі – рецесивна. Генотип батьків: АА, аа. При проведенні зворотного схрещування: гібридних мишей з першого покоління з вихідними батьківськими особинами зі скрученими хвостами всі миші будуть мати скручені хвости, а при проведенні зворотного схрещування: гібридних мишей з першого покоління з вихідними батьківськими особинами з прямими хвостами $\frac{1}{2}$ мишей буде мати скручений хвіст, а $\frac{1}{2}$ – прямий хвіст. 25 % мишей зі скрученими хвостами в F₂ будуть гомозиготами.
33. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Оголена шия – домінантна ознака, оперена шия – рецесивна ознака. Генотип півня Аа, генотип курки №1 Аа, генотип курки № 2 АА. Курчат з опереною шиєю взяти в ролі аналізаторів.
34. Генотипи: жінки Аа, чоловіка аа, дитини аа. Ймовірність народження в цій сім'ї дитини з зеленими очима 50 %.
35. Моногенний тип успадкування ознаки, неповне домінування. У матері може бути група крові MN або MM.
36. Ймовірність того, що дівчинка має кров груп АВ – 0 %, О – 50 %, В – 25 % та А – 25 %.
37. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Кучеряве волосся – домінантна ознака, пряме – рецесивна. Генотипи: жінки Аа, чоловіка Аа, мати чоловіка – аа, сестра та два брати жінки - аа. Ймовірність того, що діти від цього шлюбу будуть мати пряме волосся 25 %.
38. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Товсті губи – домінантна ознака, тонкі губи – рецесивна. Генотипи: жінки аа, чоловік АА, діти Аа. Дочка з товстими губами одружилася з чоловіком з тонкими губами. Від цього шлюбу ймовірність народження дітей з товстими губами 50 %, а з тонкими теж 50 %.
39. Моногенний тип успадкування ознаки, повне домінування. Короткошерстість – домінантна ознака, довгошерстість – рецесивна. Генотипи кроликів: А – КК, В – кк, С – Кк, D – кк.

Ди- та полігібридне схрещування

1. Моногенний тип успадкування ознак, повне домінування в кожній парі алелів. Всі 488 рослин будуть однакові за генотипом та фенотипом ($AaBb$ – рослини з нормальним стеблом та сизими бобами).
2. $\frac{1}{4}$ всіх нащадків буде гомозиготною за даними ознаками ($aabb$ – з білими квітами і гладкими коробочками). Генотипи вихідних рослин: $AaBb$ і $aabb$.
3. Оскільки всі нащадки були низькі, то можемо зробити висновок, що обидва батьки були рецесивними гомозиготами за даною ознакою. Оскільки ж розщеплення за гіллястістю стебла складає 3:1, то робимо висновок, що обидва батьки гетерозиготи за даною ознакою. Отож генотипи вихідних форм однакові – $AaBb$.
4. Схрестити сорти між собою $aabb$ х $AaBb$. Надалі гібриди першого покоління $AaBb$ схрестити між собою. В другому поколінні отримаємо гомозиготний сорт із прозорою шкіркою плоду та суцвіттям із листками – $aabb$ $\frac{1}{16}$.
5. Генотипи батьківських форм: $AaBb$ х $aabb$. В цьому схрещуванні ще мають бути рослини з гіллястим завитком та опушеною шкіркою плоду. Ймовірність їх появи 25 %.
6. Генотипи батьків: $AaBb$, $aabb$. Треба схрестити рослин кукурудзи, вразливих до іржі, з високим відсотком протеїну в зерні, та генотип $AaBb$, між собою. Отримаємо розщеплення: $\frac{9}{16}$ вразливих до іржі з високим відсотком протеїну в зерні, $\frac{3}{16}$ стійкі до іржі та високим відсотком протеїну в зерні, $\frac{3}{16}$ вразливих до іржі з низьким відсотком протеїну в зерні та $\frac{1}{16}$ стійких до іржі та низьким відсотком протеїну в зерні.
7. Дана рослина утворює 4 типи гамет: DK , Dk , dK і dk . Під час самозапилення цієї рослини буде 9 генотипів у співвідношенні $1DDKK : 2DDKk : 1DDkk : 2DdKK : 4DdKk : 2Ddkk : 1ddKK : 2ddKk : 1ddkk$. $\frac{1}{8}$ частина нащадків від запилення цієї рослини буде гомозиготною за обома генами. При схрещуванні даної рослини з рослиною із генотипом $DdKK$ утворюються нащадки двох фенотипів: $D_K_$ і $ddK_$ із співвідношенням 3:1.

8. Дана рослина утворює 4 типи гамет: dFM, dFm, dfM і dfm. При самозапиленні цієї рослини у F₁ буде отримано 4 фенотипи у співвідношенні 9 ddF_M_ : 3 ddF_mm : 3 ddffM_ : 1 ddffmm. При схрещуванні цієї рослини з рослиною, яка має генотип DdffMm буде отримано 12 генотипів із співвідношенням: 1DdFfMM : 2DdFfMm : 1DdffMM : 2 DdffMm : 2 ddFfMm : 1ddFfmm : 2ddffMm : 1ddffmm : 1ddFfMM : 1ddffMM : 1DdFfmm : 1 Ddffmm.
9. Від даного шлюбу всі нащадки будуть зеленоокі, проте за іншою ознакою розщеплення складає 1:1 (50 % широкі ніздрі і 50 % вузькі ніздрі).
10. Генотипи батьків: aaBb і AABb. Якщо схрестити свиноматку з нащадком, який має білу щетину і нормальні ноги, отримаємо розщеплення у потомстві за генотипом і фенотипом 1:1:1:1 (1AaBb : 1aaBb : 1Aabb : 1aabb) $\frac{1}{4}$ біла щетина та зрослопалі ноги, $\frac{1}{4}$ чорна щетина та зрослопалі ноги, $\frac{1}{4}$ біла щетина та нормальні ноги, $\frac{1}{4}$ чорна щетина та нормальні ноги.
11. Оскільки серед нащадків є діти з першою групою крові, то обидва батьки мають бути гетерозиготами. Також, оскільки з'являється 3 та 4 група крові, то батько має 3 групу крові. Також, позаяк частина дітей має руде волосся, а частина – ні, то батько має бути гетерозиготою за цією ознакою. Отже, генотипи батьків: I^Aiaa і I^BIAa.
12. Дана рослина утворює 8 типів гамет: ABC, ABc, Abc, AbC, aBC, aBc, abC, abc. При самозапиленні цієї рослини, за умови, що ознаки успадковуються за повним домінуванням, утвориться 8 фенотипів рослин за таким співвідношенням: 27A_B_C_ : 9aaB_C_ : 9A_bbC_ : 9A_B_cc : 3aabbC_ : 3A_bbcc : 3aaB_cc : 1aabbcc. Під час самозапилення цієї рослини буде 27 генотипів у такому співвідношенні: 1AABVCC : 2AABVCC : 1AABVcc : 2AaBVCC : 3AaBVCC : 2AaBVcc : 3AABbCC : 4AABbCC : 2AABbcc : 3AaBbCC : 8 AaBbCC : 5AaBbcc : 2AabbCC : 1Aabbcc : 4AabbCC : 2Aabbcc : 1AabbCC : 2AabbCC : 1aaBVCC : 2 aaBVCC : 2aaBbCC : 4aaBbCC : 1aaBbcc : 2aaBbcc : 1aabbCC : 2aabbCC : 1aabbcc. При самозапиленні цієї рослини, за умов, що ознаки успадковуються за неповним домінуванням над геном B, утвориться 12 фенотипів рослин за таким співвідношенням: 18A_BbC_ : 9A_BBC_ : 9 A_bbC_ :

$6aaBbC_ : 6A_Bbcc : 3A_BVcc : 3A_bbcc : 3aabbC_ : 3aaBBC_ : 1aaBbcc : 1aaBVcc : 1aabbcc.$

13. * Успадкування ознак моногенне, незалежне. Наявність рогів успадковується за повним домінуванням, а колір шерсті – за неповним. Різниця результатів виникла тому, що у першій половині корів, як і у бика, генотип $AaBb$, а у іншій половині корів – $AABb$. При цьому фенотипово вони однакові. Якщо рогатого бика чорної масті схрестити з першою половиною вихідних корів, то вийде розщеплення: $1AaBV : 1AaBb : 1aaVb : 1aabb$. Якщо ж його схрестити з другою половиною вихідних корів, розщеплення буде: $1AaBV : 1AaBb$. Якщо рогатого бика білої масті схрестити з першою половиною вихідних корів, то вийде розщеплення: $1AaBb : 1Aabb : 1aaVb : 1aabb$. Якщо ж його схрестити з другою половиною вихідних корів, розщеплення буде: $1AaBb : 1Aabb$.

14. Моногенне, незалежне успадкування ознак. За всіма трьома парами алелів розщеплення відбувається за повним домінуванням. Ознаки: висока рослина – домінантна, а карликова – рецесивна. Гілляста рослина – домінантна ознака, негілляста – рецесивна. Біла насінева шкірка – домінантна ознака, світло-жовта насіннева шкірка – рецесивна. Генотип вихідних рослин: $AaBBCc$ та $AabbCc$.

15. Генотипи вихідних рослин: $AaBb$ та $aaBb$.

16. Генотипи вихідних рослин: $AABb$ та $aaBb$.

17. У F_2 потрібний генотип будуть мати $9/16$ рослин. $1/16$ частина з них буде гомозиготною за трьома ознаками. Для перевірки треба провести аналізуюче схрещування.

18. Генотипи вихідних рослин: $AAbb \times aaBV$. Домінантними ознаками є махрові квіти та колючі стебла. У F_2 розщеплення за фенотипом становить: $9A_V_ : 3A_bb : 3aaV_ : 1aabb$; за генотипом: $1AABV : 2AABb : 1AAbb : 2AaBV : 4AaBb : 2Aabb : 1aaBV : 2aaBb : 1aabb$.

19. Генотипи вихідних рослин: $AAbb \times aaBb$. У F_1 співвідношення фенотипів буде: $3A_V_ : 3A_bb : 1aaV_ : 1aabb$; співвідношення генотипів: $1AABb : 2AaBb : 1AAbb : 2Aabb : 1aaBb : aabb$.

20. Рослини вівса з одногривою волоттю імунні до іржі з'являться у другому поколінні з імовірністю $3/16$ (18,75 %).

21. Ознаки успадковуються моногенно, незалежно та за повним домінуванням. Генотипи вихідних рослин ААВВ х аabb. Генотип F₁: АaВb. З усіх нащадків серед F₂ 1/16 частина рослин буде пізньостиглі з розсіченими листками гомозиготами. Серед усіх пізньостиглих із розсіченими листками рослин кількість гомозигот складатиме 1/3.
22. Ознаки успадковуються незалежно, моногенно. Ярість – за повним домінуванням, а довжина колоса – за неповним. Генотипи вихідних форм: aaВВ х АAbb. Генотип F₁ – АaВb. У F₂ 1/16 частина з усіх рослин буде яrimi з довгим колоском.
23. Ознаки успадковуються моногенно, незалежно та кожна за повним домінуванням. Яра форма, зазублені остюки та зерно щільно вкрите квітковими лусками – домінантні ознаки. Генотип вихідних форм aaВВСС х ААввсс. Генотип гібридів першого покоління АaВbCc.
24. Ознаки успадковуються незалежно за повним домінуванням, моногенно. Генотипи вихідних рослин: ААВВ х aabb. 1/4 частина усіх рослин у F₂ буде гетерозиготною за обома ознаками. При аналізуючому схрещуванні гібридів F₁ отримаємо розщеплення за генотипом і фенотипом 1АaВb : 1Аabb : 1aaВb : 1aabb. Як аналізатор необхідно взяти рецесивну гомозиготу за двома алелями, тобто пізньостиглими з багаторядним колоском рослину ячменю.
25. Генотипи батьків: АaВb х Аabb, генотип F₁ – АaВb, генотипи F₂: ААВb : 2АaВb : АAbb : 2Аabb : aaВb : aabb. Зазначені ознаки успадковуються незалежно за повним домінуванням, моногенно. Чорне тіло та закручені крила – рецесивні ознаки.
26. Генотипи батьків: самка ААвв, самець ААВВ, нащадків F₁ ААВв, нащадків F₂ ААВ-, ААвв. Щоб виявити короткошерстих гетерозигот треба взяти довгошерстих мишенят, тобто провести аналізуюче схрещування.
27. Ознаки успадковуються моногенно, незалежно за повним домінуванням. Одноядерні еритроцити та чорне оперення – домінантні ознаки. Генотипи батьків АaВв.
28. Ознаки успадковуються моногенно, незалежно за повним домінуванням. Чотирипалість та простий гребінь – рецесивні ознаки. При схрещуванні вихідним п'ятипалих курей з

горохоподібним гребнем з півнями такого ж генотипу буде розщеплення 9/16 п'ятипалих курей з горохоподібним гребнем, 3/16 п'ятипалих курей з простим гребнем, 3/16 чотирипалі кури з горохоподібним гребнем та 1/16 чотирипалі кури з простим гребнем.

29. Генотипи батьків: самки Аавв, самця ааВв. Генотипи цуценят АаВв, ааВв, Аавв, аавв. Якщо буро-білих нащадків зворотно схрестити з чорно-білою самкою 50 % цуценят буде буро-білі, а 50 % чорно-білі.

30. Генотип чоловіка $iiL^M L^M$. У матері дитини за системою АВО може бути третя або четверта група крові, а за системою MN – М або MN.

31. Ознаки успадковуються моногенно, незалежно за повним домінуванням. Гігантського розміру тіло, шарлахово-червоні очі та крила, вигнуті донизу – рецесивні ознаки. Генотип батьків ААВВСС х ааввсс. Генотип гібридів першого покоління – АаВвСс. Генотипи нащадків від схрещування гібридів першого покоління з тригетерозиготою: АаВвСс, ааВвСс, АаввСс, АаВвсс, ааввСс, ааВвсс, ааввСс, ааввсс.

32. Фенотип особин першого покоління грубошерсті чорні, другого покоління 9/16 грубошерсті чорні, 3/16 гладкошерсті чорні, 3/16 грубошерсті білі, 1/16 гладкошерсті білі. 1/16 частка грубошерстих чорних особин у другому поколінні згаданого схрещування, гомозиготна за обома ознаками.

33. Від нащадків ми можемо очікувати морських свинок з білою або чорною грубою шерстю, гладкошерстих чорних. Свинки з гладкою білою шерстю у потомстві можуть бути з ймовірністю 1/8.

Дигенне успадкування. Взаємодія неалельних генів

1. А – пурпурове забарвлення, а – біле забарвлення; І – не дає змоги проявитись забарвленню, і – дає змогу проявитись; В – гладкі зерна, в – зморшкуваті зерна. Оскільки співвідношення білих квітів до пурпурових становить 13:3, то робимо висновок про дигенне успадкування ознак та епістатичну взаємодію неалельних генів. Гладкість успадковується за повним домінуванням, моногенно. Генотипи батьків: ІААВВ х ііааbb, генотипи F₁ – ІіАаВb, генотип аналізатора – ііааbb.
2. Такі результати можуть бути в тому разі, якщо є комплементарність. Наявність одночасно в генотипі А і В призводить до утворення червоного кольору. Оскільки у першому випадку (схрещування №1 х №2) немає червоного кольору, то батьки рецесивні за алелем В. Їхній генотип: ААbb і ааbb. Щодо другого випадку (схрещування №1 х №3) в F₂ розщеплення складає 9:3:4 (16 зигот) – то там є дигенне успадкування ознак, отже, з'являється комплементарна взаємодія ознак. Це значить, що цибуля №3 має домінантний ген В. Оскільки червоних цибулин найбільше, то генотип цибулі №3 – ааВВ.
3. Результати схрещувань свідчать про дигенне успадкування ознак, комплементарну взаємодію неалельних генів. Оскільки у F₁ є рослини з пурпуровим забарвленням, генотипи батьків: ААbb х ааВВ. Якщо рослини з F₁ схрестити з першою батьківською формою (ААbb), то отримаємо розщеплення за співвідношенням 1:1 (50 % з пурпуровими квітами та 50 % з рожевими). Якщо ж гібрид F₁ схрестити з другою батьківською формою (ааВВ), то отримаємо розщеплення із співвідношенням 1:1 (50 % з пурпуровими квітами та 50 % з білими).
4. Перевірка Н₀ про дигенне розщеплення у співвідношенні 9:7 за методом χ^2 гіпотезу не заперечує. Отже, забарвлення контролюється двома генами, дигенне успадкування ознаки, комплементарна взаємодія генів. Генотипи батьків: мати – ААВВ, батько – ааbb. Генотипи нащадків: F₁ – АаВb, F₂ – 9А_В_ : 3А_bb : 3ааВ_ : 1 ааbb. Фенотипи F₂ – 9 пурпурових : 7 зелених – кожен із домінантних генів окремо не дає забарвлення. В аналізуючому схрещуванні

використовують зелені рослини $aabb$, розщеплення в $F_{ан}$ становитиме: $\frac{1}{4}$ – фіолетові рослини, $\frac{3}{4}$ – зелені.

5. Результати схрещування свідчать про дигенний тип успадкування ознаки, взаємодія неалельних генів за типом некумулятивної полімерії. Генотипи вихідних рослин однакові – $A_1a_1A_2a_2$. Мутантні рослини, за умови життєздатності, можна використати як рослини-аналізatori для встановлення генотипу.

6. Оскільки від схрещування червоної рослини №1 з червоною рослиною №2 вийшло розщеплення 15:1, то робимо висновок, що тип успадкування – дигенне, незалежне, некумулятивна полімерія. Для того, щоб вийшло таке розщеплення, необхідно, щоб обидва батьки були дигетерозиготами. Отже, їхній генотип – $A_1a_1A_2a_2$. При схрещуванні кожної з червоних рослин з білою в обидвох випадках співвідношення буде 1:3, значить біла рослина була подвійним рецесивом і її генотип – $a_1a_1a_2a_2$.

7. Ознаки успадковуються незалежно. Оскільки розщеплення за кольором показує співвідношення 15:1, то маємо справу з некумулятивною полімерією; дигенне успадкування. Співвідношення розщеплення за щільністю – 1:2:1 – моно генне, неповне домінування. Генотипи вихідних рослин: $A_1A_1A_2A_2BB$ і $a_1a_1a_2a_2bb$. Для перевірки результатів варто провести аналізуюче схрещування з використанням рецесивної гомозиготи за двома ознаками.

8. Висота стебел у батьківських форм – 60 і 240 см. Висота рослин в F_1 – 150 см. Межі мінливості росту рослин в F_2 коливаються від 60 до 240 см. Середня висота рослин у F_2 – 150 см.

9. Таке розщеплення (9:4:3) можливе за умови комплементарності. При цьому генотипи вихідних рослин – $AaBb$. Для перевірки правильності даного припущення необхідно оцінити величину відхилення за методом χ^2 .

10. Ознаки успадковуються незалежно. Колір вушок за повним домінуванням, моногенне успадкування: червоне забарвлення – домінантна ознака, біле – рецесивна. Колір зерна – дигенне успадкування, комплементарна взаємодія генів. Генотипи вихідних рослин – $AABVcc$ і $aabbCC$. Правильність припущення можна перевірити за допомогою схрещування з рецесивною гомозиготою.

11. У F_2 у 45 рослин з 192 буде генетично зумовлений ріст 44 см.
12. Ознаки успадковуються незалежно. Ознака час дозрівання – моногенно, за повним домінуванням: озимі – домінантна ознака, ярові – рецесивна. Наявність вусиків – дигенне успадкування, комплементарна взаємодія генів. Генотипи вихідних рослин: AABVcc x aabbCC.
13. Дана ознака успадковується дигенно, за типом некумулятивної полімерії. Генотипи вихідних курей – AAbb x aaBB.
14. Ознака успадковується дигенно, за типом комплементарної взаємодії генів. Оскільки маємо розщеплення 9:3:3:1, то робимо висновок, що батьки – дигетерозиготи за двома парами алелів, а отже, їхній генотип – AaBb. 1/3 частина серед курей з трояндоподібним гребенем буде гомозиготна (1/16 серед усіх курей).
15. Дигенне успадкування, домінантний епістаз. Півень – дигетерозигота – AaIi, курка – Aaіі. А – забарвлене пір'я, а – біле, I – інгібує прояв забарвлення, і – дозволяє.
16. Забарвлення вівса: а) світле, б) біле, в) темне, г) темне, д) темне, е) світле.
17. Тип успадкування масті – дигенне, епістаз. Забарвлення визначається взаємодією двох генів за типом домінантного епістазу. Генотипи вихідних форм – AAII x aaіі.
18. Колір зерна у рослин: а) 1 червоне: 2 рожеве : 1 світло-рожеве; б) 1 рожеве : 2 світло-рожеве : 1 біле; в) 1 рожеве: 1 світло-рожеве; г) 1 червоне : 2 рожеве : 1 світло-рожеве.
19. а) Генотипи: $A_1a_1A_2a_2$: $A_1a_1a_2a_2$: $a_1a_1A_2a_2$: $a_1a_1a_2a_2$ (3 ярі : 1 озимі); б) $A_1a_1A_2A_2$: $A_1a_1A_2a_2$: $a_1a_1A_2A_2$: $a_1a_1A_2a_2$ (всі ярі); в) $A_1A_1A_2a_2$: $A_1a_1A_2a_2$ (всі ярі); г) $a_1a_1A_2A_2$: $a_1a_1A_2a_2$ (всі ярі).
20. Такі результати можна отримати за умови дигенного успадкування ознаки, комплементарної взаємодії генів. Гени, які визначають платиновий колір не є алельними. Для перевірки гіпотези треба провести аналізуючі схрещування – з подвійним рецесивом – платинове забарвлення.
21. Дигенний тип успадкування ознаки, алельні гени взаємодіють за типом комплементарності. Генотипи батьків: aaBB x AAbb, F_1 – AaBb.

22. Дигенний тип успадкування ознаки, алельні гени взаємодіють за типом домінантний епістаз. Генотипи вихідних рослин: $AAII \times aaii$.
23. Ознака успадковується дигенно, неалельна взаємодія генів, за некумулятивною полімерією. Генотип вихідних рослин однаковий – $A_1a_1A_2a_2$; фенотип F_1 – 15:1.
24. Ознака успадковується дигенно, неалельна взаємодія генів за типом некумулятивної полімерії. Генотипи вихідних рослин: $A_1A_1A_2A_2 \times a_1a_1a_2a_2$. Якщо схрестити гібридів F_1 з білозерною рослиною, то буде розщеплення за співвідношенням 3:1 (3 рослини з червоними зернами : 1 – з білими).
25. Аналіз розщеплення другого покоління 9:3:3:1 свідчить про те, що успадкування ознаки за дигенним типом, неалельна взаємодія генів за типом компліментарності, коли обидва домінантні гени мають фенотипів прояв. Генотип вихідних птахів $AAвв, aaВВ$.
26. Аналіз розщеплення другого покоління при схрещуванні чорних курей першого покоління між собою 9:3:4 свідчить про те, що успадкування ознаки за дигенним типом, неалельна взаємодія генів за типом комплементарності, коли один домінантний ген має, а інший не має фенотипового прояву. Генотип вихідних курей: світла порода брама $AAвв$, білі кури породи плімутрок – $aaВВ$. Генотип чорних курей першого покоління $AaВв$.
27. Аналіз розщеплення другого покоління 12:3:1 свідчить про те, що успадкування ознаки за дигенним типом, неалельна взаємодія генів за типом домінантного епістазу, при якому домінантний та рецесивний неепістативні гени мають фенотипів прояв. В – чорне забарвлення, в – блакитне забарвлення. І – пригнічує прояв, і – дозволяє проявитись. Генотипи: батьків – самка $ввII$, самець $ВВii$, гібриди першого покоління $ВвIi$, гібриди другого покоління 136 – агуті ($В-I- + ввI-$), 34 чорні $В-ii$, 12 блакитних $ввii$.
28. Аналіз розщеплення другого покоління 9:3:3:1 свідчить про те, що успадкування ознаки за дигенним типом, неалельна взаємодія генів за типом компліментарності, коли обидва домінантні гени мають фенотипів прояв. Генотип вихідних рибок $aaВВ, AAвв$. При схрещуванні яскраво-червоних рибок із лимонними відбудеться таке розщеплення: якщо яскраво-червоні рибки гетерозиготи, тоді 50 % рибок буде яскраво-червоних, а 50 % лимонних; якщо яскраво-

червоні рибки гомозиготи, тоді все потомство буде яскраво-червоне.

29. Аналіз розщеплення другого покоління 9:3:4 свідчить про те, що успадкування ознаки за дигенним типом, неалельна взаємодія генів за типом епістазу, криптомерії, коли гомозиготний рецесив одного гена (ген-супресор) пригнічує фенотиповий прояв іншого гена. А – блакитний колір, а – білий, С – дозволяє проявитись, сс – пригнічує прояв. Генотипи батьків: самка ААСС, самець аасс. 1/16 забарвлених рибок у другому поколінні буде гомозиготною.

30. Аналіз розщеплення 9:7 свідчить про те, що успадкування ознаки за дигенним типом, неалельна взаємодія генів за типом компліментарності, коли обидва домінантні гени не мають фенотипового прояву. Генотипи батьків АаВв. Генотипи дітей альбіносів А-В-, неальбіносів А-вв, ааВ-, аавв.

32. Аналіз розщеплення другого покоління 9:3:3:1 свідчить про те, що успадкування ознаки за дигенним типом, неалельна взаємодія генів за типом комплементарності, коли обидва домінантні гени мають фенотиповий прояв. Генотип вихідних кролів ааВВ, ААвв, гібридів першого покоління АаВв. Жовто-гарячих схрещувати між собою.

33. №1 – 9/16 горіхоподібний, 3/16 горохоподібний, 3/16 трояндоподібний, 1/16 – простий гребінь.

№ 2 – $\frac{3}{4}$ горіхоподібний, $\frac{1}{4}$ трояндоподібний.

№ 3 – $\frac{1}{2}$ горіхоподібний, $\frac{1}{2}$ горохоподібний

34. № 1 – Rrpp x RrPp, № 2 – RrPp x rrpp, № 3 – RR pp x rrPp

35. Курка № 1 - RrPp, № 2 – RrPP, півень – rrPP.

36. Курка була дигетерозигота.

37. Батьківська форма СсRrpp утворює 4 типи гамет. Частка особин із білим алейроном у потомстві батьків № 1 = 5/8. У потомстві від схрещування № 2 особини з червоним алейроном не буде. Частка фіолетових алейронових особин у нащадках схрещування № 2 = 3/8.

38. Генотипи батьків: кукурудза з фіолетовим алейроном СсRrPp, кукурудза з білим алейроном ссrrpp.

39. Аналіз розщеплення 9:3:4 свідчить про те, що успадкування ознаки за дигенним типом, неалельна взаємодія генів за типом: 1) рецесивного епістазу. *Криптомерія* – гомозиготний рецесив одного

гена (ген-супресор) пригнічує фенотиповий прояв іншого гена. 2) комплементарності, коли один домінантний ген має, а інший не має фенотипового прояву. Очікується: 242.4375 : 80.8125 : 107.75

$$\chi^2 = (225 - 242,4375)^2/242,4375 + (92 - 80,8125)^2/80,8125 + (114 - 107,75)^2/107,75 = 1,25 + 1,55 + 0,36 = 3,16$$

Критичне значення при 5% рівні значущості для 2 ступенів свободи становить 5,99. Отже, спостережувані цифри збігаються з очікуваними і можна сказати, що це взаємодія типу рецесивного епістазу.

40. Аналіз розщеплення 15:1 свідчить про те, що успадкування ознаки за дигенним типом, неалельна взаємодія генів за типом некумулятивної полімерії. Очікується: 157,5 : 10,5. $\chi^2 = 0,002 + 0,024 = 0,03$

Критичне значення при 5 %-му рівні значущості для 1 ступеня свободи становить 3,84. Тобто спостережувані числа збігаються з очікуваними.

41. Аналіз розщеплення 9:7 свідчить про те, що успадкування ознаки за дигенним типом, неалельна взаємодія генів за типом комплементарності, коли обидва домінантні гени не мають фенотипового прояву. Очікується: 136.6875 : 106.3125

$$\chi^2 = 0,14 + 0,18 = 0,32$$

Критичне значення при 5% рівні значущості для 1 ступеня свободи становить 3,84. Таким чином, спостережувані числа збігаються з очікуваними.

42. Аналіз розщеплення 9:6:1 свідчить про те, що успадкування ознаки за дигенним типом, неалельна взаємодія генів за типом комплементарності, коли обидва домінантні гени мають однаковий фенотиповий прояв, очікується: 540 : 360 : 60

$$\chi^2 = 0,15 + 0,07 + 0,27 = 0,49$$

Критичне значення при 5 % рівні значущості для 2 ступенів свободи становить 5,99. Також спостережувані числа збігаються з очікуваними.

Зчеплене успадкування. Кросинговер

1. Моногенний тип успадкування ознак. Гени знаходяться на одній хромосомі. Такі результати розщеплення відбуваються за умови неповного зчеплення генів. Відстань між генами = 24,2 %. Генотип вихідних рослин: АВ//ав х ав//ав. Фенотип вихідних рослин: однотонне листя, вразливі до кобилок х смугасте листя, стійкі до кобилок.

2. Моногенний тип успадкування ознак. Гени розміщені на одній хромосомі. Такі результати розщеплення відбуваються за умови неповного зчеплення генів. Відстань між генами = 33,8 %. Генотип вихідних рослин – АВ//Ав х аВ//аВ. Генотип рослин першого покоління – АВ//ав, фенотип – високі з білим ендоспермом зерна. Для проведення аналізуючого схрещування використовують карликові рослини з блідо-жовтим ендоспермом зерна та отримують таке розщеплення: 33,1 % – АВ//ав – високих із білим ендоспермом зерна, 33,1 % – ав//ав – карликових із блідо-жовтим ендоспермом, 16,9 % – високих з блідо-жовтим ендоспермом зерна, 16,9 % – карликових з білим ендоспермом зерна.

3. Моногенний тип успадкування ознак. Гени знаходяться на одній хромосомі. Такі результати розщеплення відбуваються за умови неповного зчеплення генів. Відстань між генами: $K_{AB}=18\%$, $K_{BC}=17\%$, $K_{AC}=31,4\%$. З урахуванням подвійних рекомбінантів $K_{AC}=35\%$. Розташування генів таке: АВс//авС, де А – ген кількості хлорофілу, В – ген чутливості до *Cladosporium fulvum*, С – ген забарвлення епідермісу.

4. В першому поколінні всі самки були з червоними очима та нормальними крилами $X^A_n X^a_N$, всі самці з білими очима та нормальними крилами $X^a_N Y$. В другому поколінні відбулося таке розщеплення: 25 % самок із червоними очима та нормальними крилами, з яких $X^A_N X^a_N = 8,65\%$, $X^A_n X^a_N = 16,35\%$; 25 % самок із білими очима та нормальними крилами, з яких $X^a_N X^a_n = 8,65\%$, $X^a_N X^A_n = 16,35\%$; 16,35 % $X^a_N Y$ самців з білими очима та нормальними крилами, 16,35 % $X^A_n Y$ самців з червоними очима та мініатюрними крилами, 8,65 % $X^A_N Y$ самців з червоними очима та нормальними

крилами, 8,65 % X_n^aU самців з білими очима та мініатюрними крилами.

5. У цієї пари ймовірність народження дітей з обома аномаліями одночасно становить 2,5 %. Це буде лише хлопчик.

6. Ймовірність народження дітей одночасно з обома аномаліями у цієї пари становить 30 %, з яких 15 % у хлопчиків, а 15 % – у дівчат.

7. Моногенний тип успадкування ознак. Гени розміщені на одній хромосомі. Такі результати розщеплення відбуваються за умови неповного зчеплення генів. Відстань між генами: $R_{LN} = 29,25 \%$, $R_{KN} = 27,78 \%$, $R_{KL} = 48,2 \%$, з урахуванням подвійного кросинговеру $R_{KL} = 56,97\%$. Розташування генів таке: KNL

8. Моногенний тип успадкування ознак. Гени знаходяться на одній хромосомі. Такі результати розщеплення відбуваються за умови неповного зчеплення генів. Відстань між генами: $R_{AC} = 20 \%$, $R_{BC} = 15 \%$, $R_{AB} = 30 \%$, з урахуванням подвійного кросинговеру $R_{AB} = 35 \%$. Розташування генів таке: ACB.

9. В другому поколінні буде наступне розщеплення: 50 % червоні очі, сіре тіло, 25 % червоні очі, чорне тіло, 25 % рожевоокі, сіре тіло. В аналізуючому схрещуванні, якщо аналізатором буде самець, отримаємо наступне розщеплення: 38,5 % $Av//av$ - червоні очі, чорне тіло, 38,5 % $aV//av$ - рожевоокі, сіре тіло, 11,5 % червоні очі, сіре тіло $AV//av$, 11,5 % $av//av$ - рожевоокі, чорне тіло. Якщо як аналізатор взяти самку, розщеплення буде таке: 50 % рожеві очі, сіре тіло та 50 % червоні очі, чорне тіло.

10. Гени успадковуються зчеплено. $K_{BC} = 16 \%$.

11. $K_{BC} = 6 \%$. Відстань між геном В та центромерою 2 %, між геном С та центромерою 4 % гени розташовані на різних плечах.

12. l-e-b-d-a-c-k

13. В першому поколінні самки та самці будуть із сірим тілом та нормальними крилами. При схрещуванні самки з першого покоління із самцем, рецесивним за обома ознаками, отримали таке розщеплення: 20 % самок та 20 % самців були з сірим тілом та нормальними крилами, 20 % самок та 20 % самців були жовтого кольору з обрізаним краєм крила, 5 % самок та 5 % самців були із сірим тілом та з обрізаним краєм крила, 5 % самок та 5 % самців були жовтого кольору та з нормальними крилами. Від схрещування

самця з першого покоління з самкою, у якої жовтий колір тіла та обрізаний край крила, отримали таке розщеплення: всі самки були дигетерозиготами (сірими з нормальним краєм крила), всі самці були подвійні рецесиви – жовтий колір тіла та крила з обрізаним краєм.

14. Моногенний тип успадкування ознак. Гени знаходяться на одній хромосомі. Такі результати розщеплення відбуваються за умови неповного зчеплення генів. Відстань між генами = 34,7 %. Генотип вихідних рослин – $Av//Av \times av//av$. Генотип F_1 $Av//av$. У другому поколінні відбудеться таке розщеплення: 52,96 % – гіркі без затримки цвітіння, 3 % – негіркі із затримкою цвітіння, 21,98 % – гіркі із затримкою цвітіння, 21,98 % – негіркі без затримки цвітіння.

15. Моногенний тип успадкування ознак. Гени розміщені на одній хромосомі. Такі результати розщеплення відбуваються за умови неповного зчеплення генів. $DN//dn$. $K_{DN} = 16$ %. Гени знаходяться у фазі притягання.

16. Генотип рослин першого покоління – $DNM//dnm$. Розщеплення за фенотипом у аналізуючому схрещуванні: $DNM=25$ %, $dnm=25$ %, $dNM=8,5$ %, $Dnm=8,5$ %, $DNm=13,5$ %, $dnM=13,5$ %, $DnM=3$ %, $dNm=3$ %.

17. Моногенний тип успадкування ознак. Гени знаходяться на одній хромосомі. Такі результати розщеплення відбуваються за умови неповного зчеплення генів. Відстань між генами – 24 сМ. Генотип гетерозиготи – $Ab//aB$. Якщо б початково схрещували гомозиготних особин $AABB$ та $aabb$, то надалі в аналізуючому схрещуванні, співвідношення фенотипів наступне: $38AB//ab : 38ab//ab : 12Ab//ab : 12aB//ab$.

18. Моногенний тип успадкування ознак. Гени розміщені на одній хромосомі. Такі результати розщеплення відбуваються за умови неповного зчеплення генів. Відстань між генами = 13,9 сМ. У другому поколінні відбудеться таке розщеплення: 68,5 % – AB , Av – 6,5 %, aB – 6,5 %, av – 18,5 %.

19. Моногенний тип успадкування ознак. Гени знаходяться на одній хромосомі. Такі результати розщеплення відбуваються за умови неповного зчеплення генів. Відстань між генами = 5,6 %.

Генотипи вихідних рослин – АВ//АВ, ав//ав, генотип гібридів першого покоління – АВ//ав. В другому поколінні буде таке розщеплення: 73,6 % – червоні очі і нормальні крила, 23,6 % – яскраво-червоні очі та закручені доверху крила, 1,4 % – яскраво-червоні очі і нормальні крила, 1,4 % – червоні очі і закручені доверху крила.

20. В другому поколінні повинно бути таке розщеплення: 52,56 % – рослини зі складними листками та одногнізовими плодами, 22,44 % – зі складним листком та багатогніздними плодами, 22,4 % – з простим листком та одногнізовими плодами, 2,56 % – з простим листком та багатогнізовими плодами.

21. Моногенний тип успадкування ознак. Гени знаходяться на одній хромосомі. Такі результати розщеплення відбуваються за умови неповного зчеплення генів. Відстань між генами = 3 %. Генотипи вихідних рослин – АВ//АВ, ав//ав, генотип гібридів першого покоління – АВ//ав.

22. Моногенне успадкування ознак. Гени знаходяться на одній аутосомній хромосомі. Таке розщеплення в другому поколінні відбувається за умови неповного зчеплення генів. Генотип вихідних рослин АВ//АВ, ав//ав. Генотип рослин першого покоління – АВ//ав, фенотип – забарвлене гладке насіння. Відстань між генами = 23,8 сМ.

23. Генетична карта *se-sc-p-ss-e-cr*24.

24. Моногенне успадкування ознак. Гени знаходяться на одній аутосомній хромосомі. Таке розщеплення при аналізуючому схрещуванні відбувається за умови неповного зчеплення генів. $K_{AB} = 10$ %. Генотипи вихідних птахів Ав//Ав, аВ//аВ, гібридів першого покоління Ав//аВ. У другому поколінні відбудеться розщеплення: 50,25 % – білі з чубчиками, 24,75 % – білі без чубчиків, 24,75 % – чорні з чубчиками, 0,25 % – чорні без чубчиків.

25. Моногенне успадкування. Гени знаходяться на одній хромосомі, відбувається їх неповне зчеплення. $K_{AB} = 13,87$ %. Генотип вихідних форм – кролиця Ав//Ав, кріль аВ//аВ. Генотип гібридів першого покоління Ав//аВ. В аналізуючому схрещуванні буде таке розщеплення: 43,07 % короткошерстих біло-плямистих, 43,07 % ангорських однотонних, 6,9 % ангорських плямистих, 6,9 % короткошерстих однотонних.

26. У другому поколінні відбудеться таке розщеплення: 65 % – жовті, небліді, 15,8 % – бліді, агуті, 9,2 % – жовті, бліді, 9,2 % – агуті, небліді. Результати аналізуючого схрещування такі: 39,8 % АВ//ав – жовті, небліді, 39,8 % ав//ав – бліді, агуті, 10,2 % Ав//ав – жовті, бліді, 10,2 % – агуті, небліді.

27. Порядок генів на хромосомі *an-f-br*. Відстань між генами: *f-br* = 4,78 сМ, *an-f* = 16,73 сМ.

28. i) Порядок генів на хромосомі *bat*. Відстань між генами:

b-a=43,65 сМ, *b-m* = 52,75 сМ, *a - m* = 9,1 сМ.

ii) Порядок генів на хромосомі *tab*. Відстань між генами: *m-a* = 7,35 сМ, *a-b* = 43,2 сМ.

29. Порядок генів на хромосомі *v-b-lg*. Відстань між генами: *v-b* = 18 сМ, *b-lg* = 28 сМ. Коефіцієнт коінциденції = 1,19

30.

Пара генів-відстань між генами, сМ	Загальна кількість особин	Кількість рекомбінованих особин
black – curved -22,71	62 679	14 237
black – purple -6,18	48 931	3 026
black – speck - 47,59	685	326
black – star -37,86	16 507	6 250
black – vestigial -17,75	20 153	3 578
curved – purple - 19,96	51 136	10 205
curved – speck - 30,24	10 042	3 037
curved – star -45,91	19 870	9 123
curved – vestigial -8,198	1 720	141
purple – speck - 45,67	11 985	5 474
purple – star -43,67	8 155	3 561
purple – vestigial- 11,83	13 601	1 609
speck – star - 48,33	7 135	3 448
speck – vestigial - 35,93	2 054	738
star – vestigial - 43,33	450	195

Гени розташовані на хромосомі в такому порядку: *morula* - *speck* - *arc*- *curved*- *vestigial*- *purple*- *black*- *star*.

Зчеплене зі статтю успадкування

1. Здатність розрізняти смак ФТК – аутосомно домінантна ознака. Захворювання на гемофілію – рецесивна ознака. Ген, який відповідає за її прояв, розміщений у статевій Х-хромосомі. Обидві ознаки успадковуються моногенно. Генотипи батьків: $AaX^H X^H$; $aaX^h Y$. Генотипи дітей: $AaX^H X^h$, $AaX^H Y$, $aaX^H Y$.
2. Генотипи батьків: $X^D X^{dii}$; $X^D Y I^A I^B$. Серед нащадків цього поручжя можна отримати такі фенотипи: всі дівчатка будуть здоровими, при цьому половина з них матиме другу групу крові, а половина – третю. Серед хлопчиків половина буде здоровою, а половина – не здатна розрізняти кольори. При цьому у 50 % з них буде друга група крові, а у 50 % – третя.
3. Ознака успадковується моногенно, зчеплено зі статтю. Рябе оперення – домінантна ознака. За реципрокного схрещування всі півні будуть рябими, а у курочок буде розщеплення: 50 % – рябі, а 50 % чорні.
4. Колір ніг успадковується зчеплено зі статтю, а кучерявоперість – моногенно, за аутосомно-домінантним успадкуванням. Генотипи F_1 за оберненого схрещування: $z^B z^B Aa$; $z^B w Aa$. Фенотипи F_2 за оберненого схрещування: всі самці матимуть жовті ноги, при цьому $\frac{3}{4}$ матимуть курчаве пір'я, і $\frac{1}{4}$ – нормальне. Розщеплення самок становитиме: $\frac{3}{8}$ – жовті ноги та кучеряве пір'я, $\frac{1}{8}$ – жовті ноги та нормальне пір'я, $\frac{3}{8}$ матимуть зелені ноги та кучеряве пір'я та $\frac{1}{8}$ – зелені ноги та нормальне пір'я.
5. Черепахове забарвлення з'являється за неповного домінування. Ознака зчеплена зі статтю. Генотипи батьків: кішки $X^a X^a$, кота $X^A Y$. Генотип кошенят: чорні котики – $X^a Y$, кішечка – $X^A X^a$.
6. Моногенний тип успадкування за обома ознаками. Колір очей успадковується за аутосомним типом, а довжина крил – зчеплено зі статтю. Коричневе забарвлення очей та обрізані крила – рецесивні ознаки. Генотип вихідних мух: $aaX^B X^B$; $AA X^B Y$, генотипи F_1 – $AaX^B X^b$; $AaX^B Y$. За оберненого схрещування фенотипи в F_1 будуть самки з червоними очима і нормальними крилами, самці з червоними очима і обрізаними крилами. У самок і самців фенотипи F_2 будуть мати співвідношення: 3 з червоними очима і нормальними

крилами : 3 з червоними очима й обрізаними крилами : 1 з коричневими очима і нормальними крилами : 1 з коричневими очима й обрізаними крилами.

7. Ознака успадковується зчеплено зі статтю. Генотипи вихідних риб: $X^A X^A$; $X^a Y$. Внаслідок зворотного схрещування у F_2 серед 200 нащадків розщеплення буде таким: 50 червоних самок : 50 білих самок : 50 червоних самців : 50 білих самців.

8. Всі дочки в F_1 будуть здоровими, але 50 % з них будуть носіями хвороби. 50 % синів будуть здоровими, інші – хворітимуть. У випадку **а** і **б** всі діти будуть здоровими. Випадок **в** аналогічний до батьків. І розщеплення буде таке ж. У випадку **г** всі діти будуть здоровими, проте 100 % дівчат будуть носіями рецесивного гена.

9. Генотипи батьків чоловіка: $AaX^D X^D$ х $AaX^D Y$. Генотипи батьків жінки: $AaX^D X^d$ х $AaX^D Y$. Генотип чоловіка: $aaX^D Y$, генотип жінки: $AaX^D X^d$, генотипи їх дітей: $aaX^D Y$, $aaX^d Y$ і $AaX^D X$.

10. Іван успадкував гемофілію від мами, яка є носієм рецесивного гену (як і бабуся Івана). Генотипи батьків жінки: $iiX^H X^h$ х $I^A I^B X^H Y$. Генотипи батьків чоловіка: $I^B iX^H X^H$ х $I^A iX^H Y$. Генотип жінки: $I^A iX^H X^h$; чоловіка: $I^B iX^H Y$; Ірини: $I^A iX^H X^-$; Дмитра: $iiX^H Y$; Івана: $I^A iX^h Y$.

11. Генотип жінки $X^{D_h} X^{d_h}$, чоловіка $X^{d_h} Y$, батька жінки $X^{d_h} Y$, братів та дядька жінки $X^{D_h} Y$, сина $X^{d_h} Y$, дочки $X^{d_h} X^{d_h}$. Імовірність того, що донька – дальтонік-носій гемофілії складає в загальному 12,5 %, за умови, що гени знаходяться на відстані більше 50 сМ на X-хромосомі, або, якщо дальтонізм аутосомно-рецесивна ознака.

12. Генотипи батьків: $X^B X^b Aa$ х $X^B Y Aa$. Імовірність того, що у другого сина також з'явиться 2 аномалії, становить $1/8$ (12,5 %). Імовірність того, що третя дитина буде нормальною дівчинкою, становить $7/8$ (87,5 %).

13. Генотип жінки – $X^D X^{d_i}$, чоловіка – $X^d Y I^A I^B$. Імовірність народження у цих людей дітей-дальтоніків становить 50 %. Діти з групою крові батьків народитись не можуть.

14. Генотипи курей: $W^g Z Ss$: $W^g Z ss$; генотипи півнів: $W^G W^g ss$: $W^G W^g Ss$. Фенотипи півнів будуть такими: 50 % срібних зі звичайним пір'ям і 50 % золотистих із шовковистим пір'ям. Всі

кури матимуть золотисте пір'я, при цьому 50 % з них будуть з шовковистим пір'ям, а 50% – ні.

15. Співвідношення статей буде 2:1 (2 самки : 1 самець).

16. У F_1 хлопчик буде здоровим, а дівчинка – носієм гена дальтонізму. Якщо ця дівчинка вийде заміж за здорового чоловіка, то ймовірність народження хворого хлопчика складає $\frac{1}{2}$ і дівчинки-носія – $\frac{1}{2}$. Якщо хлопчик з F_1 вступить у шлюб зі здоровою жінкою, то всі їхні діти будуть здоровими і не будуть носіями.

17. Ознака успадковується зчеплено зі статтю. Генотипи батьків: $X^A X^A \times X^a Y$; F_1 - $X^A X^a$ і $X^A Y$; F_2 - $X^A X^A$: $X^A X^a$: $X^A Y$: $X^a Y$.

18. Ознака зчеплена зі статтю. Ген, який детермінує прояв ознаки, знаходиться в X-хромосомі. Генотипи батьків: самка $X^A X^a$, самець $X^A Y$.

19. Ознака зчеплена зі статтю. Ген, що детермінує прояв ознаки знаходиться в X-хромосомі. Генотипи батьків: самка $X^A X^a$, самець $X^A Y$.

20. В потомстві від зазначеного схрещування з'явиться кошеня тигрового кольору. У потомстві від зазначеного схрещування буде таке розщеплення за забарвленням шерсті: 50 % тварин чорного кольору, серед яких самці та самки в співвідношенні 1:1, 25 % тварин рудого кольору - всі самці, та 25 % тварин тигрового кольору – всі самки.

21. В потомстві від зазначеного схрещування буде 50 % тварин чорного кольору, серед яких самці та самки у співвідношенні 1:1.

22. Батько був рудого кольору, його генотип $X^A Y$.

23. Батько був чорного кольору, його генотип $X^a Y$, генотип матері $X^A X^A$. У приплоді рудої кішки рудий колір шерсті був тільки у самців $X^A Y$.

24. Кішка ХО може бути рудого або чорного кольору. Від схрещування рудої кішки з рудим котом всі кошенята будуть рудими, серед яких $\frac{2}{3}$ самочки та $\frac{1}{3}$ самці. Від схрещування чорної кішки з чорним котом всі кошенята будуть чорними, серед яких $\frac{2}{3}$ самочки та $\frac{1}{3}$ самці. Від схрещування чорної кішки з рудим котом в приплоді буде $\frac{2}{3}$ самочки, серед яких 50 % тигрові, 50 % руді та $\frac{1}{3}$ чорних самців. Від схрещування рудої кішки з чорним котом в приплоді буде $\frac{2}{3}$ самок, серед яких 50 % тигрові,

50 % чорні та 1/3 рудих самців. Для того, щоб довести, що особини ХО фенотипово жіночої статі необхідно схрестити котів різного кольору між собою, тоді ми побачемо, що ознака передається кріс-крос, від матері до сина, а від батька до дочки. Отже, особини ХО фенотипово належать до жіночої статі.

25. Жінка за генотипом гетерозигота – $X^D X^d$. Ймовірність того, що її перша дитина буде сином-дальтоніком – 25 %. 50 % дітей від цього шлюбу (незалежно від статі) були б нормально зрячими. Ймовірність того, що її дочки будуть дальтоніками – 25 %.

26. Генотип нащадків першого покоління – $VgvgX^W X^w$; $VgvgX^W Y$. Фенотипи нащадків першого покоління: самки – нормальні крила, червоноокі, самці – нормальні крила, білі очі.

Фенотип нащадків другого покоління: самочки – 3/16 червоноокі, з нормальними крилами, 1/16 червоноокі з рудиментарними крилами, 3/16 білоокі з нормальними крилами, 1/16 білоокі з рудиментарними крилами; самці – 3/16 червоноокі з нормальними крилами, 1/16 червоноокі з рудиментарними крилами, 3/16 білоокі з нормальними крилами, 1/16 білоокі з рудиментарними крилами.

Від схрещування самки з першого покоління із самцем батьківських форм отримали нащадків з таким розщепленням: самочки – 1/4 червоноокі з нормальними крилами, 1/4 червоноокі з рудиментарними крилами; самці – 1/8 червоноокі з нормальними крилами, 1/8 червоноокі з рудиментарними крилами, 1/8 білоокі з нормальними крилами, 1/8 білоокі з рудиментарними крилами.

Від схрещування самця з першого покоління із самкою з батьківських форм всі нащадки були білоокі з нормальними крилами.

27. У дрозофіли ознака смугоподібні очі є домінантною зчепленою зі статтю, а ген який її детермінує, знаходиться в Х-хромосомі. Генотипи батьків в 1) схрещуванні: самка $X^b X^b$, самець $X^B Y$. Генотипи батьків в 2) схрещуванні: самка $X^B X^b$, самець $X^b Y$.

Генетика популяцій

1. Генетична структура: $q^2=0,0025$; $p^2=0,9025$; $2pq=0,095$. Частота рецесивного алеля такої популяції складає $0,05 = 5 \%$.
2. Частота гетерозигот у популяції складає $0,163$ або $16,3 \%$.
3. Частота алеля $q=0,007$; алеля $p=0,993$. Частота генотипів $aa=0,005 \%$; $Aa=1,3 \%$; $AA=98,6 \%$.
4. Частота алеля $p=0,54$; алеля $q=0,46$. Частота генотипів $MM=29 \%$; $NN=21,3 \%$; $MN=49,7 \%$.
5. Частота алеля $a=0,0145$; $A=0,985$. Частота генотипів $aa=0,0212 \%$, $Aa=2,8683 \%$, $AA=97,0225 \%$.
6. Один альбінос припадає на 14285 населення. Один носій гена альбінізму припадає на 60 людей.
7. Частота генотипу $ThTh=95,96 \%$, $Thth=3,9\%$, $thth=2,04 \%$.
8. Частота алеля $f=0,0026$; $F=0,9974$.
9. Частота алеля $R=0,4=40 \%$.
10. Чорно-бурих лисиць $13,19 \%$, сиводушок – $0,5 \%$.
11. Частота алеля $A=0,452$; $a=0,548$. Частота генотипу $AA=20,4 \%$, $aa=30 \%$.
12. Частота алеля $A=0,9929$, $a=0,007$. Кількість гетерозигот складає 280 , а гомозигот – 19718 .
13. Частота генів $A=0,696$, $a=0,304$.
14. Кількість гетерозигот у популяції складає $1,39 \%$ або 278 людей на 20000 населення.
15. Кількість гетерозигот у популяції складає $0,89 \%$ або 445 осіб на 50000 населення.
16. а) $p=0,8888$, $q=0,1111$; б) $p=0,4762$, $q=0,5238$; в) $p=0,83333$, $q=0,16667$; г) $p=0,6$, $q=0,4$.
17. Генетична структура: $AA=90,25 \%$, $Aa=9,5 \%$, $aa=0,25 \%$. Кількість рослин-носіїв гена альбінізму складає $9,5\%$ або 7980 рослин на 84000 .
18. Число носіїв мутантного гена складає $6,81 \%$ або $54,48$ людей на 800 населення. Якщо частота рецесивного гена зменшиться в 2 рази, то число носіїв мутантного гена складатиме $3,458 \%$.
19. а) $p=0,6$, $q=0,4$; б) $p=0,848$, $q=0,152$; в) $p=0,489$, $q=0,511$.

20. Частка здорових чоловіків $p = 0,992$. Частота жінок-дальтоніків: $q^2 = 0,0064 \%$, а частота здорових жінок: $p^2 + 2pq = 99,99 \%$.
21. $p(I^A) = 0,1954$; $q(I^B) = 0,078$; $r(I^O) = 0,7211$.
22. Частота гена $A = 0,7549$, $a = 0,245$.
23. а) $p = 0,7764$, $q = 0,2236$; $AA = 60,27 \%$, $Aa = 37,72\%$, $aa = 5 \%$;
 б) $p = 0,9293$, $q = 0,0707$; $BB = 86,35 \%$, $Bb = 13,14\%$, $bb = 0,5 \%$;
 в) $p = 0,9777$, $q = 0,0223$; $CC = 95,58 \%$, $Cc = 4,36\%$, $cc = 0,05 \%$;
 г) $p = 0,9929$, $q = 0,00707$; $DD = 98,58 \%$, $Dd = 1,4\%$, $dd = 0,005 \%$;
 д) $p = 0,9978$, $q = 0,0022$; $EE = 99,56 \%$, $Ee = 0,43\%$, $ee = 0,0005 \%$.
24. У першій популяції 160 особин є гомозиготами за рецесивним геном і 480 – носії цього гена. У другій популяції гомозигот за рецесивним геном є 640 і 320 особин є носіями цього гена.
25. Частота поширення рецесивного алеля $q(a) = 0,04$; частота поширення домінантного алеля $p(A) = 0,96$. Частка гетерозигот – $2pq(Aa) = 0,0768$.
26. Частота наявності рецесивного алеля в досліджуваній популяції $= 0,005$. Частота гетерозиготних носіїв захворювання $= 0,00995$.
27. $p(A) = 0.866$ $q(a) = 0.134$ $2pq(Aa) = 0.232$ Один носій захворювання припадає на 4 новонароджених.
28. $p(F) = 0.2$ $q(S) = 0.8$ $FF = 12$; $FS = 96$; $SS = 192$
29. $p(A) = 0.14$ $q(B) = 0.56$ $r(C) = 0.3$.
30. Частота наявності фенотипів у цій популяції : I група - 0,5476; II група 0,2624; III група 0,158; IV група 0,032.
 Частота наявності генотипів: $I^O I^O = 0,5476$, $I^A I^A = 0,0256$; $I^A I^O = 0,2368$; $I^B I^B = 0,01$; $I^B I^O = 0,148$; $I^A I^B = 0,032$
31. $p(A) = 0,24$ $q(B) = 0,76$
 AA $p^2 - 2$ рослини, AB $2pq - 12,8$ рослини, $BB - q^2 - 20,2$ рослини.
32. Ймовірність того, що його дружина буде носієм алеля муковісцидозу $= 0,0468 * 100\% = 4,68 \%$.
 Ймовірність того, що їхня перша дитина буде хвора $= 1,17 \%$.
33. $p(A) = 0,603$ $q(a) = 0,397$
34. Тільки а) та с).
35. Частота алеля резистентності $= 0,37$. Частота домінантних гомозигот $= 0,14$. Частка гомозигот серед рослин, які проросли $0,14/0,60 = 0,23$.

36. У жінок-особин, які облісіли, є гомозиготи, їх частота наявності = 0,09, частота особин, які не облісіли, = 0,91. У чоловіків-особин, які не облісіли, є гомозиготами, частота натрапляння на них 0,49, а частота особин, які облісіли, = 0,51.

37. Частота наявності алеля у чоловіків $q = 0,02$. Частота наявності цієї ознаки у жінок $q^2 = 0,0004$. Частота генотипу, носія рецесивного алеля у жінок $2pq = 0,0392$.

38. У самок частота поширення особин дикого типу (сіре тіло) $0,8^2 + 2(0,80)(0,2) = 0,96$, а самок з жовтим тілом $0,2^2 = 0,04$. Отже, серед 1000 самок 960 будуть мати сіре тіло, а 40 особин з жовтим тілом. У самців частота трапляння особин з жовтим тілом 0,2, та з сірим тілом 0,8. Серед 1000 самців мушок було 800 особин з сірим та 200 самців із жовтим тілом.

Мінливість

1. Співвідношення фенотипів $17A : 1a$.
2. За прямого схрещування у нащадків будуть фенотипи $1A : 2a$, за зворотного – $1A : 1a$.
3. Серед нащадків будуть 50 % трисомиків і 50 % дрозифіл з 2-ма алелями. При цьому співвідношення за фенотипом буде: 5 червонооких : 1 білооких.
4. Співвідношення фенотипів: $11A:1a$, генотипів: $1AAAa : 5AAaa : 5Aaaa : 1aaaa$.
5. Фенотипово всі будуть А. Співвідношення генотипів: $1AAAa : 2AAaa : 1Aaaa$.
6. Співвідношення фенотипів у F_1 : 1 темно-червоне : 8 червоне : 18 рожеве : 8 світло-рожеве : 1 біле.
7. *Співвідношення фенотипів буде $64AB : 8A : 8B : 1ab$.
8. а) $2n=2x=14$; б) $2n=4x=28$; в) $2n=6x=42$; г) $2n=8x=56$.
9. Фенотипове співвідношення у F_1 – світло-червоне забарвлення; у F_2 – 1 темно-червоні : 8 червоні : 16 світло-червоні : 8 рожеві : 1 білі.
10. а) генотипи: $1AA : 1aaa : 2Aaa : 2aa$; фенотипи: $1A : 1a$; б) генотипи: $2Aa : 4aa : Aaa : 2aaa$; фенотипи: $1A : 1a$; в) генотипи: $1AA : 2AAa : 3Aaa : 3Aa : 2aa : 1aaa$; фенотипи: $3A : 1a$; г) генотипи: $1A : 3Aa : 1AAa : 2Aaa : 2aa$; фенотипи: $7A : 2a$; д) генотипи: $1AAAa : 3Aa : 3AAa : 2AA : 2Aaa : 1aa$; фенотипи: $11A : 1a$; е) генотипи: $2AA : 3Aa : 2AAa : 1aa : 1Aaa$; фенотипи: $8A : 1a$.
11. Генотипи вихідних рослин $AAaa \times Aaaa$. Розщеплення за фенотипом $11A : 1a$
12. а) $1AAaa : 1Aaaa$; б) $1AAaa : 1aaaa : 4Aaaa$; в) $1Aaaa : 1aaaa$.
13. Співвідношення фенотипів становитиме $11A:1a$.
14. Рослини з білими квітами з'являються у другому поколінні у співвідношенні $35A:1a$.
15. Слива має 48 хромосом.
16. а) $2n=2x=20$; б) $2n=4x=40$; в) $2n=6x=60$; г) $2n=8x=80$.
17. $2n=6x=102$; $n=51$; $x=17$.
18. $2n=6x=72$; $n=36$; $x=12$.
19. Співвідношення фенотипів: $1AAAa : 2AAaa : 1Aaaa$.

20. Генотипи вихідних рослин однакові – ААаа, Розщеплення за фенотипом 35А : 1 а
21. Генотипи батьків та нащадків однакові: Аааа і аааа.
22. Генотипи вихідних рослин пурпурова – ААаа, біла – аааа. Розщеплення за фенотипом 5А : 1 а.
23. Автополіплоїдний ряд утворюється поєднанням однакових наборів хромосом. Кількість хромосом повинні бути парною до кратного числа моноплоїдів 10 (диплоїд), 20 (тетраплоїд), 30, 40 і 50.
24. Мати має Робертсонівську транслокацію, яка містить 21 хромосому. Дитина з синдромом Дауна має 46 хромосом, включно з двома копіями нормальної 21-ої пари хромосом плюс додаткову копію іншої хромосоми (Робертсонівську транслокацію). Цей випадок відрізняється від звичайної ситуації, у якій синдром Дауна у дітей виникає, коли вони мають трисомію по 21 хромосомі (каріотип 47, +21).
25. В результаті інверсії утворюється така послідовність генів на хромосомі *ABEDCFG*. В результаті делеції виникає така послідовність генів на хромосомі *ABFG*. В результаті транслокації утворюються хромосоми: а) *ABCDETUV* та *MNOPQRSFG*; б) *ABCDESQRQPON* та *VUTFG*. Один з них, можливо, включає дві моноцентричні хромосоми, інший включає дицентричну та ацентричну хромосому. Генетично стабільними продуктами будуть дві моноцентричні хромосоми, які утворюються в результаті транслокації.
26. Послідовність розташування генів на хромосомі *a e d f c b* або навпаки.
27. Група з чотирьох з'єднаних хромосом означає, що відбулася реципрокна транслокація. Група з чотирьох хромосом включає обидві частини реципрокної транслокації та їхні нетранслоковані гомологи.
28. У цих самців відбулася реципрокна транслокація між хромосомою з мутацією, закручені крила, та Y-хромосомою. Оскільки у самців не відбувається кросинговеру, всі спермії, що мають Y-хромосоми, які дають початок життєздатному потомству і містять мутантний ген *Sy*, а всі спермії, з X-хромосомою, які дають початок життєздатному потомству містять ген *Sy*⁺.

Генетика людини

1. Серпоподібноклітинна анемія передається за аутосомно-домінантним типом успадкування. Якщо людина народжується гетерозиготою – вона живе, якщо домінантною гомозиготою – гине. Імовірність того, що у дочки пробанда від шлюбу з хворим чоловіком народиться дитина з важкою формою анемії, складає $\frac{1}{4}$ або 25 %.

2. Бульозний епідермоліз – захворювання, яке успадковується за аутосомно-домінантним типом. Якщо пробанд і його дружина здорові, то їхні генотипи – aa. Імовірність народження у цієї пари хворих дітей складає 0 %.

3. Дефект нігтів і колінної чашечки успадковується за аутосомно-домінантним типом. Якщо пробанд одружиться зі здоровою жінкою, то імовірність народження дитини із захворюванням становить 50 %.

4. Глухота успадковується зчеплено зі статтю. Глухими є люди, рецесивними генами (чоловіки) або з 2-ма генами (жінки). Імовірність того, що у пробанда в сім'ї народяться глухі діти складає 50 % (як для дівчат, так і для хлопчиків).

5. Рахіт – хвороба, яка успадковується зчеплено зі статтю за домінантним типом. Якщо пробанд одружиться зі своєю хворою двоюрідною сестрою, то імовірність народження хворої людини становить 75 % з усіх дітей. При цьому всі дівчатка будуть хворі, а хлопчики – 50 % хворих і 50 % здорових.

6. Нічна сліпота успадковується за аутосомно-рецесивним типом. Імовірність того, що у пробанда будуть хворі діти складає 0 %.

7. Імовірність того, що в сім'ї пробанда народяться діти-шульги – 25 %.

8. Алькаптонурія – хвороба, яка передається за аутосомно-рецесивним типом. Імовірність того, що в сім'ї пробанда народиться дитина з такою хворобою, дорівнює 25 %.

9. Полідактилія – захворювання, котре передається за аутосомно-домінантним типом. Імовірність того, що в сім'ї пробанда народяться хворі діти, становить 0 %.

10. Дальтонізм – рецесивне захворювання, зчеплене зі статтю. Якщо у дівчинки генотип $X^D X^D$, то всі її діти будуть здоровими. Якщо ж її генотип $X^D X^d$, то 50 % хлопчиків будуть хворими. Всі дівчатка будуть здоровими, але 50 % з них будуть носіями гена дальтонізму.

11. Глухонімота передається за аутосомно-домінантним типом. Якщо пробанд одружиться зі здоровою жінкою, всі їхні діти будуть здоровими.

12. Коричневе забарвлення зубів передається домінантно зчеплено зі статтю. Якщо пробанд одружиться на гетерозиготі за цією ознакою, то їхні діти будуть мати такий фенотип: 50 % хлопчиків хворих і 50 % здорових, 50 % дівчаток будуть гетерозиготами за даною ознакою і 50 % з нормальними зубами.

13. Мозочкоподібна атаксія – аутосомно-рецесивне захворювання, тобто генотип хворої дочки пробанда – aa . Якщо вона вийде заміж за здорового чоловіка з генотипом AA , всі її діти будуть здоровими носіями гена. Якщо ж чоловік буде гетерозиготою за даною ознакою, то 50 % дітей будуть хворими і 50 % – носіями рецесивного гена.

14. У даному випадку катаракта успадковується за аутосомно-домінантним типом. Дочка пробанда – гетерозигота за даною ознакою, її чоловік – також. В такому разі імовірність народження в їхній сім'ї дитини з катарактою становить 75 %.

15. Полідактилія – захворювання, яке передається за аутосомно-домінантним типом. Якщо пробанд одружиться зі здоровою жінкою, то ймовірність народження дитини з полідактилією буде 50 %.

16. В даному випадку нічна сліпота успадковується за аутосомно-домінантним типом. Тому, якщо хворий син Рози одружиться зі здоровою жінкою – імовірність народження хворої дитини складає 50 %, а якщо інші її діти одружаться на здорових людях – всі їхні діти будуть здорові. Якщо всі діти Алли одружаться на здорових людях, то 50 % її онуків будуть хворими на нічну сліпоту.

17. Андрохоплазія – захворювання, котре передається за аутосомно-домінантним типом. Якщо пробанд одружиться із жінкою з таким самим генотипом, то всі їхні діти будуть здоровими.

Якщо сестра пробанда вийде заміж за здорового чоловіка, то імовірність народження в них хворої дитини становитиме 50 %.

18. М'язова дистрофія Дюшена – рецесивне, зчеплене з Х-хромосоною захворювання. Якщо пробанд одружиться із жінкою з таким самим генотипом, то всі їхні діти будуть здорові.

19. Нічна і кольорова сліпота – хвороби, які передаються з Х-хромосоною і проявляються у рецесивних гомозигот. У пробанда генотип $X^{aD}Y$ і якщо він одружиться зі здоровою гомозиготою, то всі їхні діти будуть здоровими, але 50 % дівчаток будуть носіми гена нічної сліпоти.

20. Аутомно-рецесивне успадкування вади розвитку: удвох здорових батьків у третьому поколінні народжується хворе потомство.

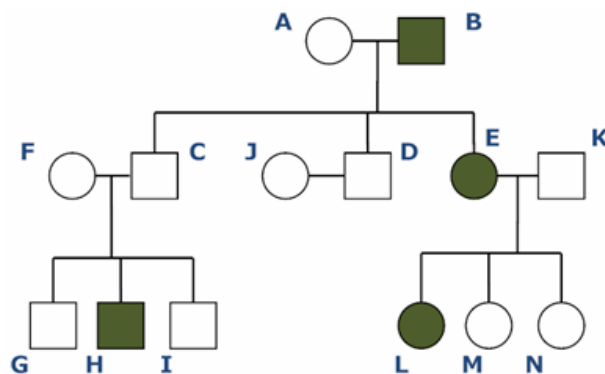
21. Аутомно-рецесивне успадкування вади розвитку: удвох здорових батьків після кровноспорідненого шлюбу народилися хворі діти.

22. Аутомно-рецесивне успадкування вади розвитку: у двох здорових батьків після кровноспорідненого шлюбу народжуються альбіноси.

23. Аутомно-домінантне успадкування вади розвитку – це, як правило, дуже рідкісний дефект, який трапляється в кожному поколінні, після одруження одного з хворих батьків у сім'ї народжується приблизно половина хворих нащадків.

24. Аутомно-домінантне успадкування вади розвитку – це дуже рідкісний дефект, який трапляється в кожному поколінні, після одруження одного з хворих батьків народжується приблизно половина хворих нащадків.

25. Ознака успадковується рецесивно – у двох здорових особин F і C народжується потомство з деформацією стегна.



26. Аутосомно-рецесивний тип успадкування ознаки: двоє здорових батьків у третьому поколінні мають уражене потомство після кровноспорідненого шлюбу.
27. Аутосомно-домінантний тип успадкування ознаки: у двох хворих батьків у другому поколінні народжується здорове потомство.
28. Аутосомно-рецесивний тип успадкування ознаки: двоє здорових батьків мають хворих дітей.
29. Аутосомно-домінантний тип успадкування ознаки: повторюється в кожному поколінні, завжди після шлюбу здорової та хворої особини.
30. Аутосомно домінантний тип успадкування ознаки: у двох хворих батьків у третьому поколінні народжується здорове потомство.
31. Аутосомно домінантний тип успадкування ознаки: у двох хворих батьків народжується здорове потомство.
32. Аутосомно рецесивний тип успадкування ознаки: двоє здорових батьків (друге покоління) мають хворе потомство, двоє хворих батьків мають п'ятьох лише хворих дітей.
33. Аутосомно рецесивний тип успадкування ознаки: у двох здорових батьків є хворе потомство (перше покоління), у двох хворих батьків (друге покоління) п'ятеро тільки хворих дітей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

Основна література

1. Тоцький В.М. Генетика. – Одеса: Астропринт, 2008. – 710 с.
2. Ніколайчук В.І., Вакерич М.М. Генетика. – Ужгород: Гражда, 2013. – 504 с.
3. Терновська Т.К. Генетичний аналіз: Навч. посібник з курсу "Загальна генетика". – К.: Вид. дім "Києво-Могилянська академія", 2010. – 335 с.
4. Сиволоб А.В., Рушковський С.Р., Кир'яченко С.С., Афанасьєва В., Безруков Ф. Генетика; за ред. А.В. Сиволоба. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. – 320 с.
5. Голда Д.М., Демідов С.В., Решетняк Т.А. Задачі з генетики. – Київ: Фітосоціоцентр, 2004. – 173 с.
6. Федоренко В.О., Черник Я.І., Максимів Д.В., Боднар Л.С. Задачі та справи з генетики: Навч. посібник. – Львів: Оріяна-Нова, 2008. – 598 с.

Додаткова література

7. Андріанов В.Л. Біологія: Розв'язування задач з генетик. – 2-ге вид. – К.: Либідь, 1966. – 127 с.
8. Стрельчук С.І., Демідов С.В., Бердишев Г.Д., Голда Д.М. Генетика з основами селекції. – К.: Фітосоціоцентр, 2000. – 292 с.
9. Ткачук З.Ю., Морозова М.М., Пилипчук О.Я. Основи загальної генетики. Навчальний посібник для вузів. – К.: Вища школа, 1995. – 178 с.
10. Graw J. Genetik. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 852 S.
11. Snustad D.P., Simmons M.J. Principles of genetics, 6th ed. – John Wiley & Sons, Inc, 2011. – 767 p.
12. Brooker R. Genetics: analysis and principles, 5th ed. - McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2014. – 864 p.
13. Hartwell L., Goldberg M. Genetics: From Genes to Genomes, 5th ed. – McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2014. – 816 p.

ДЛЯ НОТАТОК

[illegible]

Навчальне видання

Роман Анатолійович **Волков**
Людмила Степанівна **Язловицька**

ГЕНЕТИКА

Збірник задач

Відповідальний за випуск Язловицька Л.С.

Літературна редакторка Ряднова В.П.

Технічна редакторка Кудрінська О.М.

Для дизайну обкладинки використано зображення зі сайту Freepik

Підписано до друку 29.12.2023. Формат 60 x 84/16.

Папір офсетний. Друк різнографічний.

Ум.-друк. арк. 11,2. Обл. вид. арк. 12,0. Зам. Н-099.

Видавництво та друкарня Чернівецького національного університету
58002, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №891 від 08.04.2002 р.



978-966-423-825-7



9 789664 238257