

Лановенко О.Г., Чинкіна Т.Б.

# **ВІД МОЛЕКУЛ НУКЛЕЇНОВИХ КИСЛОТ ДО ЛЮДИНИ**

Генетичні задачі з методикою розв'язання

Навчально-методичний посібник  
для учнів X-XI класів середніх учбових закладів з поглибленим  
вивченням біології і студентів середніх та вищих навчальних закладів

Видання друге,  
доповнене і перероблене

Херсон – 2005

Обговорено на засіданні кафедри зоології  
(протокол №5 від 08.11.05 р.)

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту природознавства ХДУ  
(протокол №4 від 21.11.05 р.)

**Відомості про авторів:**

**Лановенко Олена Геннадіївна** – кандидат с.-г. наук, доцент кафедри зоології  
(розділи I, II, III, IV, V) Херсонського державного університету

**Чинкіна Тамара Борисівна** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри  
(розділи VI, VII) соціально-економічної географії Інституту природознавства ХДУ, учитель-методист, Соросівський лауреат, Учитель року-1997, старший викладач біології та природознавства Академічного ліцею при ХДУ, пере-  
можець Всеукраїнського огляду-конкурсу "Панорама творчих уроків – 2005"

**Рецензенти:**

**Спринь О.Б.** – доцент, кандидат біологічних наук,  
доцент кафедри фізіології людини і тварин  
Інституту природознавства ХДУ

**Кошелєва В.Д.** – доцент, кандидат біологічних наук,  
доцент кафедри фізіології людини і тварин  
Інституту природознавства ХДУ

Лановенко О.Г., Чинкіна Т.Б.

Л 22 Від молекул нуклеїнових кислот до людини / Генетичні задачі з методикою розв'язання: Навчально-методичний посібник. Видання друге, доповнене та перероблене. –Херсон: Айлант, 2005. –156 с.

ISBN 966-630-068-3

ISBN 966-630-068-3

© Лановенко О.Г., 2005  
© Чинкіна Т.Б., 2005

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ I.	
Цитологічні основи розмноження і матеріальні основи спадковості. ....	7
1.1. Цитологічні основи нестатевого розмноження. Мітоз. Типи мітозів. Генетичний контроль клітинного циклу. ....	7
Задачі для самостійного розв'язання.....	8
1.2. Цитологічні основи статевого розмноження. Мейоз. Гаметогенез. ....	10
Задачі для самостійного розв'язання.....	13
Розділ II.	
Моногібридне схрещування. Успадкування ознак при повному і неповному домінуванні. Кодомінування. Множинний алелізм. ....	16
2.1. Методика розв'язання задач.....	17
2.2. Приклади розв'язування задач різного типу.....	19
2.3. Варіанти задач для самостійного розв'язання.....	22
Розділ III.	
Аналіз родоводів.....	30
Приклади розв'язування задач.....	33
Задачі для самостійного розв'язання.....	37
Розділ IV.	
Незалежне комбінування ознак. Дигібридне та полігібридне схрещування.....	46
4.1. Методика розв'язання задач.....	47
4.2. Приклади розв'язання задач різних типів.....	48
4.3. Задачі для самостійного розв'язання.....	51
Розділ V.	
Аналіз відхилень від менделівських формул розщеплення.....	60
5.1. Відхилення, що спостерігаються за незалежного успадкування ознак (розщеплення за генотипом не змінюється).....	60
Приклад розв'язування задач.....	61
Задачі для самостійного розв'язання.....	64
5.1.1. Взаємодія неалельних генів.....	68
Методика і приклади розв'язування задач.....	69
Задачі для самостійного розв'язання.....	75

5.2. Відхилення, що пояснюються особливостями успадкування окремих генів.....	84
5.2.1. Зчеплене із статтю успадкування ознак. Біологія статі.....	84
Методика і приклади розв'язання типових генетичних задач .....	85
Задачі для самостійного розв'язання.....	93
5.2.2. Зчеплення генів і кросинговер .....	98
Приклади розв'язання задач.....	99
Задачі для самостійного розв'язання.....	109
Розділ VI.	
Молекулярні основи спадковості .....	117
Методика розв'язання задач з молекулярної біології.....	117
6.1. Приклади розв'язання задач з молекулярної біології: 1 <sup>й</sup> тип задач – структура та властивості нуклеїнових кислот.....	119
Задачі для самостійного розв'язання.....	123
6.2. Приклади розв'язання задач з молекулярної біології: 2 <sup>й</sup> тип задач . Біосинтез білка .....	124
Задачі для самостійного розв'язання.....	128
Розділ VII.	
Генетичні процеси в популяціях.....	130
7.1. Методика розв'язання задач з популяційної генетики.....	130
7.2. Приклади розв'язання задач даного типу .....	131
7.3. Задачі для самостійного розв'язання.....	138
Додатки .....	141
1. Етапи розвитку генетики .....	141
2. Закони і правила генетики.....	144
3. Таблиця генетичного коду.....	147
4. Довідкова таблиця диплоїдної кількості хромосом ( $2n$ ).....	147
5. Характер успадкування деяких ознак у людей, тварин і рослин .....	149

## ВСТУП

В 2000 році генетиці як самостійній науці виповнилося 100 років. За цей відрізок часу генетика пройшла переможний шлях від простого осмислення фундаментальної значущості відкритих Г. Менделем законів до глибокого розуміння явищ спадковості і мінливості на молекулярному рівні, розшифровки структури і функцій геномів різних біологічних об'єктів.

Сьогодні генетика є теоретичною і методологічною основою інших біологічних наук, її справедливо вважають центральною наукою в біології. Разом з тим генетика, успішно розвивається завдяки успіхам і досягненням інших природничих наук – таких як фізика, хімія, математика, молекулярна біологія, ботаніка, зоологія, мікробіологія, вірусологія. Сьогодні не можна уявити кваліфікованого біолога без знання основ генетики.

Успішне засвоєння школярами і студентами основних закономірностей генетики неможливе без вміння розв'язувати генетичні задачі, які сприяють поглибленню знань і дають певну можливість для їх самоконтролю. Розв'язування генетичних задач готує майбутнього спеціаліста до самостійної роботи в різних галузях біології, а також розвиває логіку мислення. Це важливіший, незамінний компонент загальної культури і формування цілісного світогляду. Роздуми по розв'язуванні генетичних задач тренують розум, розвивають кмітливість.

Даний посібник розроблений для студентів біологічних спеціальностей навчальних закладів. Цей збірник може використовуватися також учнями спеціалізованих біологічних класів ліцеїв, гімназій, загальноосвітніх шкіл для підготовки з розділу “Спадковість і мінливість організмів”. Задачник допоможе і в підготовці до вступу у вищі учбові заклади біологічного, медичного, сільськогосподарського профілів, а також при перепідготовці вчителів.

Посібник містить задачі з різних розділів сучасної генетики. Кожний розділ збірника включає: 1) стисле пояснення застосування стандартних термінів, розрахункових даних і формул, необхідних позначень; 2) методику розв'язання задач різних типів, в основі якої ми намагалися дотримуватися основних принципів дидактики (науковість, системність, поступовість); 3) приклади розв'язування типових задач; 4) задачі для самостійного розв'язання з метою самоконтролю знань (з відповідями та без них). Типові задачі знайомлять з основними прийомами генетичних суджень; чисельність варіантів задач забезпечує найкраще оперативне закріплення знань з генетики.

У цьому посібнику аналізуються всі відомі типи взаємодії алельних та неалельних генів, представлені задачі з цитологічних основ спадковості, генетичного аналізу родоходів, молекулярної генетики. Розділ “Генетика популяцій” виходить за рамки шкільної програми і передбачає підвищений рівень математичного мислення. Він є особливо актуальним у зв’язку із загостренням інтересу до екологічних проблем в умовах глобальної екологічної кризи.

Генетичні задачі були підібрані на основі літературних даних або з використанням навчальних посібників:

1. Барабанщиков Б.И., Сапаев Е.А. Сборник задач по генетике (учебно-методическое пособие). –Из-во Казанского университета, 1988. – 190с.
2. Каминская Э.А., Сборник задач по генетике.-Минск: Вышэйшая школа, 1982.-190с.
3. Хелевин Н.В., Лобанов А.М., Колесова О.Ф. Сборник задач по общей и медицинской генетике.-М.: Высшая школа, 1976.-159с.
4. Гуляев Г.В. Задачник по генетике.-М.:Колос, 1980.-78с.
5. Соколовская Б.Х. 120 задач по генетике.-М.:Центр РСПИ, 1991.-88с.
6. Ватти К.В., Тихомирова М.М. Руководство к практическим занятиям по генетике.-М.:Просвещение, 1972.-178с.

Методика, приклади, розв’язування та розв’язання генетичних задач з різних тем і різних ступенів складності є інтелектуальною власністю авторів.

Автори сподіваються, що даний посібник буде корисним для широкого кола читачів, які цікавляться генетикою.

Пропозиції і зауваження щодо змісту даного посібника просимо надсилати за адресою: 73000, м.Херсон, вул. 40 років Жовтня, 27, кафедра зоології державного університету.

# РОЗДІЛ I. ЦИТОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РОЗМНОЖЕННЯ І МАТЕРІАЛЬНІ ОСНОВИ СПАДКОВОСТІ.

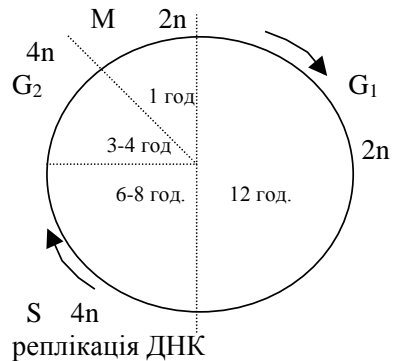
## 1.1. Цитологічні основи нестатевого розмноження. Мітоз. Типи мітозів. Генетичний контроль клітинного циклу.

В основі нестатевого і вегетативного розмноження організмів лежить поділ клітини. Найбільш універсальним способом поділу клітини є митоз, який складається з поділу ядра – каріокінезу і поділу цитоплазми – цитокінезу. В період між поділами клітина знаходиться в стадії інтерфази. Інтерфаза і мітоз складають клітинний цикл. В ході мітозу клітини проходять ряд змін, які поділяються на декілька фаз: профазу, метафазу, анафазу і телофазу.

В інтерфазі, коли клітина не ділиться, відбуваються інтенсивні метаболічні процеси. Інтерфазу поділяють на три періоди, або фази (рис. 1). Після поділу настає пресинтетична фаза  $G_1$  (джи-один); назва походить від англ. слова “*gap*” – інтервал. В цей час в клітині відбувається інтенсивне накопичення нуклеотидів, амінокислот, ферментів – джерел енергії. Ця фаза найтриваліша. Потім настає фаза синтезу ДНК – (S), в результаті кількість ДНК в клітині подвоюється. В цей час синтезується також інші речовини – РНК і білки.

Потім настає фаза  $G_2$  – постсинтетична, яка характеризується продовженням синтезу РНК та інших речовин, клітина накопичує енергію для подальшого мітозу. В залежності від типу тканин та їх функціонального стану розрізняють наступні типи мітозів:

- 1) Симетричний – власно мітоз.
- 2) Асиметричний, при якому сестринські клітини нерівноцінні за розміром та кількістю цитоплазми (так діляться клітини нейробласту коника, яйцеклітини тварин при дозріванні).
- 3) Мітоз із затримкою цитокінезу, при якому ядро поділяється багаторазово, а потім йде поділ цитоплазми, в результаті чого утворюються багатоядерні клітини типу синтиція (так утворюються клітини ендосперму і спор).



Мал.1. Схема мітотичного циклу

4) Ендомітоз – подвоєння або множення кількості хромосом без поділу ядра або клітини (цей тип мітозу спостерігається в диференційованих тканинах).

5) Політенія – багаторазове множення кількості хромосом в межах однієї хромосоми. Так утворюється велетенська хромосома. За рахунок часткової деспіралізації хромосом довжина гігантської хромосоми збільшується в 100-200 разів в порівнянні з метафазною. Гігантські хромосоми містяться в слинних залозах, в клітинах кишечника, мальпігієвих судин у двокрилих комах (личинки мотиля родини *Chironomidae*, личинки дрозозфіли родини *Drosophilidae*, у рослин (в антиподах), у деяких найпростіших.

Всі процеси, що відбуваються в клітині, знаходяться під генетичним контролем. Гени, що контролюють всі процеси клітинного циклу, називаються генами *cdc* (від англ. – *cell division cycle*). Мутації цих генів можуть зупинити клітинний цикл на різних етапах. Вивчення мутантів *cdc* дозволило виявити точку старта, яка співпадає зі стадією  $G_1$ . По досягненні цієї точки клітина може вступити в наступний цикл поділу, або перейти до диференцировки. Встановлено, що у гаплоїдних дріжджів після стадії  $G_1$  клітина в присутності партнера може вступити у парування, у диплоїдних дріжджів після стадії  $G_1$  перейти до мітозу. У багатоклітинних організмів перетворення клітини в ракову (малігнізація) також відбувається після точки старта.

Генетичне значення мітозу полягає :

- 1) в забезпеченні генетичної стабільності соматичних клітин;
- 2) в забезпеченні росту організму. В результаті мітозів кількість клітин організму збільшується – гіперплазія. Таким чином, мітоз – головний механізм росту;
- 3) за рахунок мітозів відбувається нестатеве розмноження, регенерація і заміщення клітин.

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

1. Якщо в клітині помітні хромосоми, а ядерної оболонки і ядерця немає, то яка це стадія мітозу?
2. Якщо в клітині добре помітне веретено поділу, а всі хромосоми знаходяться в одній площині, то яка це стадія мітозу?
3. Які дві стадії мітозу взаємно протилежні за процесами, які в них відбуваються?
4. Під час аномального мітозу в культурі тканини людини в клітині з 46 хромосомами дочірні хромосоми однієї з коротких хромосом (№21) не розійшлися в дочірні ядра, а потрапили в одне ядро. Це явище називається...



вається нерозходженням хромосом. Скільки хромосом стало в ядрах після такого поділу?

5. Під час мітозу в культурі тканини людини відбулося елімінація однієї хромосоми. Скільки хромосом буде в двох клітинах, які утворилися?

6. Якщо на клітину, яка має 14 хромосом, подіяти колхіцином (речовиною, яка заважає розходженню хромосом до полюсів, але не впливає на дуплікацію хромосом), скільки хромосом буде мати клітина?

7. Як називається хромосома, яка складається з багатьох редупліційованих хроматид, які не розійшлися?

8. Як називаються дві половини хромосоми після редуплікації, з'єднані центромером?

9. На якій стадії мітозу зручно вивчати форму і розмір хромосом?

10. Що таке клітинний цикл?

11. На якій стадії клітинного циклу відбувається реплікація ДНК?

12. Замалювати каріотиби скерди, аскариди, дрозофіли. Пронумерувати всі хромосоми, причому однакою за розмірами та формою хромосомам давати однакові номери. Порівняти загальну кількість хромосом в каріотипі з найбільшим номером і пояснити причину їх співвідношення.

13. Назвати стадії клітинного циклу, коли при розгляданні клітини в світовий мікроскоп в ній помітні хромосоми.

14. Сформулюйте поняття : каріотип, каріограма хромосом.

15. Якщо припустити, що хромосоми несуть спадкову інформацію про ознаки і властивості організму, то яка буде ця інформація в двох клітинах, які утворилися шляхом мітотичного поділу з однієї вихідної?

16. Скласти таблицю.

Назва фази	Коротка характеристика поведінки хромосом в цій фазі	Інші зміни в клітині
1. Интерфаза		
2....		

17. Загальна маса всіх молекул ДНК в 46 хромосомах однієї соматичної клітини людини складає близько  $6 \cdot 10^9$  мг. Пояснити, чому дорівнюватиме маса всіх хромосом в одній вихідній та в двох дочірніх клітинах, які утворюються шляхом мітозу.

18. Чи можна визначити, якому організму належить тканина, якщо з неї приготувати мікропрепарат так, щоб в клітинах добре були помітні хромосоми? Чим це можна пояснити?

19. Наводимо ряд компонентів клітини і процесів, що відбуваються в ній.

1 – білок      10 – мембрана      19 – вуглеводи      28 – мітохондрії

2 – жир	11 – анафаза	20 – метафаза	29 – інтерфаза
3 – АТФ	12 – хроматин	21 – фагоцитоз	30 – комплекс Гольджі
4 – ядро	13 – телофаза	22 – піноцитоз	31 – ендоплазматична сітка
5 – ДНК	14 – цитоплазма	23 – ферменти	32 – редуплікація ДНК
6 – РНК	15 – хромосоми	24 – профаза	33 – гаплоїдний набір
7 – мітоз	16 – лізосоми	25 – хлоропласти	34 – диплоїдний набір
8 – амітоз	17 – центріолі	26 – нитки веретена поділу	
9 – ядерце	18 – рибосоми	27 – фотосинтез	

Серед наведених понять знайти правильні відповіді на питання і поставити номер правильної відповіді:

- 1) З молекул яких речовин складається мембрана клітини?
- 2) Які хімічні сполуки входять до складу клітини?
- 3) Які органоїди знаходяться в цитоплазмі?
- 4) З яких структур складається ядро?
- 5) З яких речовин складається хромосома?
- 6) В якій фазі клітинного циклу хромосоми розкручені і не помітні?
- 7) В якій фазі клітинного циклу в ядрі подвоюється маса ДНК?
- 8) В яких фазах хромосоми спіралізовані?
- 9) Який набір хромосом містить одна клітина шкіри?
- 10) Який набір хромосом містить сперматозоїд?
- 11) При якому способі поділу веретено поділу не утворюється?
- 12) При якому способі поділу відбувається рівномірне розподілення спадкової інформації між двома дочірніми клітинами?
- 13) Який процес призводить до синтезу будівельного матеріалу для само подвоєння кожної хромосоми?
- 14) В якій фазі хроматиди відділяються і стають самостійними хромосомами?
- 15) Коли кожна хромосома складається тільки з однієї хроматиди?
- 16) Що змушує хроматиди і хромосоми рухатися від екваторіальної площини до полюсів клітини?
- 17) Що є джерелом енергії для поділу клітини?
- 18) Яка речовина є носієм спадкової інформації?
- 19) Які речовини містяться в каріолімфі?

## 1.2. Цитологічні основи статевого розмноження.

### Мейоз. Гаметогенез.

При поділі соматичних клітин (шляхом мітозу) зберігається постійна кількість хромосом, причому набори хромосом в вихідній та двох дочірніх клітинах ідентичні між собою. Кожному виду властива певна кількість і певний набір хромосом (каріотип). Це можливо лише тоді, якщо при утворенні гамет буде відбуватися редукція, тобто зменшення

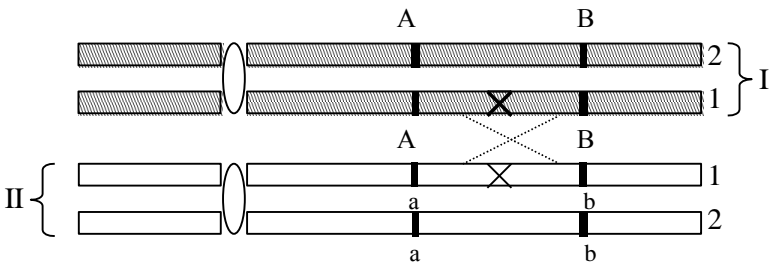
кількості хромосом вдвічі. Дійсно, редукційний поділ має місце при утворенні гамет у тварин (гаметична редукція) і при утворенні спор у рослин (спорова редукція).

При розв'язанні задач з даної теми необхідно пам'ятати, що:

1) У багатьох рослин і тварин в мейозі перший поділ буває редукційним (в результаті з однієї диплоїдної клітини ( $2n$ ) утворюються дві клітини з гаплоїдним набором хромосом – ( $n$ )), а другий – екваційним, який проходить за типом мітозу (в анафазі до полюсів клітини розходяться не хромосоми, а хроматиди, які виконують роль самостійних хромосом; в результаті кількість хромосом в клітинах, що утворилися, залишається гаплоїдною ( $n$ )). Таким чином, продуктом мейозу завжди є чотири статевих клітини (гамети) з гаплоїдним числом хромосом ( $n$ ).

2) В диплотені профазі редукційного поділу мейозу відбувається кросинговер – явище, в результаті якого між кон'югуючими несестринськими хроматидами гомологічних хромосом відбувається обмін рівними гомологічними (ідентичними) ділянками. Зовнішнім проявом кросинговеру є хіази – фігури перехрещених хромосом, що нагадують грецьку літеру  $\chi$  ( $xi$ ). Отже, після мейозу в гаметах будуть не лише хромосоми, ідентичні батьківським (які не обмінялися ділянками), але й хромосоми з новою комбінацією генетичного матеріалу двох гомологічних хромосом (мал. 2).

Хроматиди пари гомологічних хромосом (I)



Хроматиди пари гомологічних хромосом (II)  
(всі хроматиди подвоєні в S – періоді інтерфази)

**Мал.2. Схема кросинговера і утворення кросоверних (1) та некросоверних (2) гамет.**

3) Дві гомологічні хромосоми однієї пари залежать одна від одної, тобто одна йде до одного полюсу, інша – до другого. Але хромосоми різних пар (негомологічні) поводять себе незалежно одна від одної, тобто представники різних пар можуть комбінуватися в гаметах по різному.

Можлива кількість комбінацій хромосом в гаметах розраховується за формулою  $2^n$ , де  $n$  – кількість пар хромосом.

Кількість пар хромосом	Можлива кількість комбінацій
2	$2^2=4$
4	$2^4=16$
23	$2^{23}=8388608$

Якщо врахувати ще й можливий обмін ділянками гомологічних хромосом, то кількість їх комбінацій може досягти астрономічних значень.

4) У тварин на відміну від рослин в онтогенезі дуже рано обособлюються зачаткові клітини, які в подальшому дають початок статевим залозам і статевим клітинам. Зачаткові клітини діляться мітозом і утворюють гонії. Спочатку вони однакові у особин різних статей, а потім диференціюються у самців в сперматогонії, у самок в оогонії. Подальший процес їх формування йде по-різному і носить назву у самців сперматогенезу, у самок – оогенезу.

5) При сперматогенезі в результаті мейозу з одного диплоїдного сперматогонія утворюються чотири сперматозоїди – чоловічі гамети з гаплоїдним набором хромосом. Сперматогенез у тварин (зокрема, у ссавців) починається з моменту закладки статевих залоз в ембріогенезі. Потім після народження самця він припиняється, відновлюється після статевого дозрівання і відбувається постійно протягом всього періоду зрілості. Цей процес проходить в сім'яниках.

6) При оогенезі в результаті мейозу з однієї диплоїдної клітини – оогонію – утворюються теж чотири гамети, але вони різні за розмірами і нерівноцінні – одна велика – яйцеклітина і три маленьких полярних тільця або оотида (всі з гаплоїдним набором хромосом); оотида незабаром гинуть. Таким чином, на відміну від сперматогенезу з одного оогонію утворюється лише одна функціонуюча яйцеклітина. Розходження хромосом в яйцеклітину та оотиду в мейозі носить випадковий характер, тому при враховуванні великої кількості яйцеклітин збереження лише одного з чотирьох продуктів мейозу не змінює загальної картини розщеплення.

7) У рослин процес формування статевих клітин поділяється на два етапи: 1-й етап – спорогенез, який завершується утворенням гаплоїдних спор, і 2-й етап – власно гаметогенез, протягом якого утворюються дозрілі гамети. Процес утворення чоловічих статевих клітин складається з мікроспорогенезу (формування пилкових зерен) і мікрогаметогенезу – дозрівання спермій всередині пилкового зерна; процес утворення жіночих статевих клітин складається з мегаспорогенезу (або макроспороге-

незу) та мегагаметогенезу – формування дозрілого зародкового мішка, в якому утворюється яйцеклітина.

8) Кульмінаційним пунктом статевого розмноження є процес запліднення. В нормі запліднення складається з двох етапів: злиття чоловічої і жіночої статевих клітин (сингамія) та злиття їхніх ядер (каріогамія). В результаті утворюється диплоїдна клітина – зигота, яка ділиться шляхом мітозу з утворенням цілісного організму.

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

1. Яка ймовірність того, що дитина успадкує від бабусі по батьку всі 23 хромосоми? (*Відповідь: 25%*).

2. Яка ймовірність того, що дитина успадкує всі 23 хромосоми від бабусі по матері? (*Відповідь: 25%*).

3. Під час аномального мейозу у вихідній клітині людини з 46 хромосомами одна пара гомологічних хромосом не розійшлася (нерозходження) до різних полюсів. Скільки хромосом буде в кожній клітині, що утворилася в результаті мейозу? (*Відповідь: дві гамети по 24 хромосоми, дві по 22*).

4. Якщо вихідна клітина має 14 хромосом, то скільки хромосом йде до кожного полюсу в анафазі редукційного поділу? Скільки хроматид йде до кожного полюсу?

5. Якщо клітина має 28 хромосом, то скільки хроматид йде до кожного полюсу в анафазі екваційного (другого мейотичного) поділу? (*Відповідь: 14*).

6. Скільки бівалентів утворюються в клітині, якщо  $2n = 14$ ; 28?

7. В результаті елімінації однієї хромосоми в мейоз вступає клітина типу  $XO$ , де  $O$  означає відсутність хромосоми. Які клітини утворюватимуться в результаті мейозу? (*Відповідь: результат мейозу – чотири гамети, дві з яких матимуть  $X$ -хромосому, дві –  $O$* ).

8. Чи можуть в клітині, яка є продуктом мейозу і містить 20 хромосом, 15 з них бути отцовськими?

9. Яку максимальну кількість отцовських хромосом може містити сперматозоїд людини і чому?

10. Якщо диплоїдна клітина містить 8 хромосом, а в процесі мейозу між гомологічними хромосомами однієї пари відбудеться обмін ділянками, то скільки типів клітин (за якістю хромосом, які в них містяться) утвориться в результаті мейозу?

11. У жінок в процесі оогенезу в мейозі може відбуватися нерозходження однієї пари гомологічних хромосом. Скільки хромосом буде мати в цьому випадку дозріла яйцеклітина? (*Відповідь: 22 або 24*).

12. Скільки сперматозоїдів і з якою кількістю хромосом утвориться з одного сперматогонію, який має 46 хромосом?

13. Скільки типів сперми з різними комбінаціями отцовських і материнських хромосом утвориться з одного дозріваючого сперматогонія, який має 2, 4, 46 хромосом?

14. Якщо загальна кількість сперматозоїдів, що утворюється твариною, дорівнює 1000, а кількість хромосом в диплоїдних клітинах дорівнює 2, то скільки типів сперматозоїдів і в якій кількості буде в цій 1000? (Відповідь: 2 типи по 500 сперматозоїдів в кожному).

15. Скільки яйцеклітин утворюється з одного оогонію у людини?

16. Якщо самка, що має одну пару хромосом, продукує 100 яйцеклітин, то скільки типів їх буде? По скільки яйцеклітин кожного типу?

17. Скільки типів яйцеклітин утвориться, якщо організм має 2, 4, 46 хромосом? (Відповідь: 2, 4, 8388608).

18. Скільки типів пилку утвориться, якщо вихідна клітина мала одну пару хромосом? Чотири пари хромосом?

19. Скільки типів яйцеклітин утвориться в пиляку, якщо вихідна клітина має одну пару хромосом? Дванадцять пар хромосом? (Відповідь:  $2^1$ ,  $2^{12}$ ).

20. Скільки мікроспор або пилкових зерен утвориться з однієї материнської клітини?

21. Скільки типів мікроспор утвориться з однієї материнської клітини, яка має 4 хромосоми?

22. Скільки типів ядер може бути в типовому восьмиядерному зародковому мішку, якщо вихідна клітина мала одну пару хромосом? Чотири пари хромосом?

23. Скільки яйцеклітин дадуть 4000 оогоній в процесі оогенезу? (Відповідь: 4000).

24. Скільки яйцеклітин можуть дати 6000 ооцитів першого порядку в оогенезі?

25. У рослини в процесі мікроспорогенеза утворилося 100 пилкових зерен. Скільки материнських клітин пилку брало участь в їх утворенні?

26. В клітинах корніця рису (*Oryza sativa*) міститься 24 хромосоми. Скільки хромосом містить: а) материнська клітина пилку, б) мікроспора, в) зародок, г) яйцеклітина, д) полярне ядро, е) мегаспора, ж) ядро пилкової трубки, з) ендосперм, і) генеративне ядро, ї) материнська клітина мегаспори? (Відповідь: а) 24; б) 12; в) 24; г) 12; д) 12; е) 12; ж) 12; з) 36; і) 12; ї) 24).

27. У даної рослини утворилося 40 насінин. Скільки материнських клітин мегаспор приймало участь в їх утворенні? (Відповідь: 40).

28. Якщо 100 сперматозоїдів, що продукуються самцем, який має одну пару хромосом, будуть запліднювати 100 яйцеклітин, що продукуються такою ж самкою, то скільки різних комбінацій отцовських і материнських хромосом виникне в зиготах? В якій пропорції вони утворюватимуться?

29. Дрозофіла (*Drosophila melanogaster*) має 4 пари хромосом, з яких 4 хромосоми одержані від матері та 4 від батька. Як часто можна очікувати, що гамета цієї самки буде нести всі материнські хромосоми?

30. У людини 23 пари хромосом. Напишіть формулу, за якою можна розрахувати ймовірність того, що гамета міститиме весь набір отцовських хромосом.

## РОЗДІЛ II. МОНОГІБРИДНЕ СХРЕЩУВАННЯ. УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК ПРИ ПОВНОМУ І НЕПОВНОМУ ДОМІНУВАННІ. КОДОМІНУВАННЯ. МНОЖИННИЙ АЛЕЛІЗМ.

Моногібридне схрещування – це схрещування особин, які розрізняються за однією парою альтернативних ознак. Два гени, що локалізовані в ідентичних ділянках (локусах) гомологічних хромосом і визначають альтернативні ознаки, називаються алельними.

Алельні гени взаємодіють за принципом домінування. Гомозиготні за домінантним ( $AA$ ) або рецесивним ( $aa$ ) алелем даного гена батьки в процесі мейоза утворюють гамету лише одного типу ( $A$  та  $a$  відповідно). Сполучення цих гамет при моногібридному схрещуванні дає зиготу  $F_1$  з генотипом  $Aa$ . Домінантні алелі проявляють свою дію як в гомозиготному ( $AA$ ), так і в гетерозиготному ( $Aa$ ) станах. Рецесивні алелі проявляються фенотипово лише в гомозиготному стані ( $aa$ ).

В процесі мейоза у гібрида першого покоління ( $Aa$ ) утворюються яйцеклітини та спермії двох типів –  $A$  та  $a$ , тобто вони несуть по одному алелю з кожної алельної пари (правило чистоти гамет). Сполучення чоловічих і жіночих гамет при самозапиленні або схрещуванні між собою особин  $F_1$  дає три типи зигот  $F_2$ :

♀	♂	A	a
A		AA	Aa
a		Aa	aa

Як видно, співвідношення генотипів зигот  $F_2$  або розщеплення за генотипом в  $F_2$  при моногібридному схрещуванні відповідатиме формулі  $1:2:1$  –  $\frac{1}{4}$  частина домінантних гомозигот  $AA$ ,  $\frac{1}{4}$  частина рецесивних гомозигот  $aa$  та  $\frac{1}{2}$  частина гетерозигот  $Aa$ .

Домінування буває повним ( $A > a$ ) або неповним ( $A \geq a$ ). У випадку повного домінування зиготи  $AA$  та  $Aa$  фенотипово не розрізняються, так що розщеплення за фенотипом буде йти у відношенні  $3:1$  ( $3A:-:1aa$ ). У випадку неповного домінування ( $AA > Aa$ ) розщеплення в  $F_2$  за фенотипом відповідає розщепленню за генотипом –  $1:2:1$  ( $1AA : 2Aa : 1aa$ ), II-й закон Менделя (закон розщеплення ознак).



## 2.1. Методика розв'язання задач

При розв'язанні генетичних задач необхідно користуватися загальноновизнаною символікою для позначення алелів та генотипів, чоловічих (♂) та жіночих (♀) особин, батьківських форм ( $P$  – від лат. “*parenta*” – батьки), гібридного покоління  $F$  (лат. – “*filii*” – діти). Цифра у літері  $F$  позначає порядковий номер покоління особин, одержаних від схрещування двох батьківських форм ( $F_1, F_2, F_3$  і т.д.). Якщо генотип особин певного фенотипу є невідомим (наприклад  $AA$  чи  $Aa$ ), останній позначають, користуючись фенотиповим радикалом:  $A -$ . Для визначення генотипу гібридної особини її схрещують з рецесивною гомозиготною батьківською формою: 1)  $AA \times aa \rightarrow Aa$ ; 2)  $Aa \times aa \rightarrow 1Aa : 1aa$  (аналізуюче схрещування). Отже, якщо при такому схрещуванні у гібридів  $F_1$  проявляється лише ознака, яка визначається алелем  $A$ , то особина, що аналізується, має генотип  $AA$  (схрещування 1). Якщо в  $F_1$  половина потомства має фенотип рецесивної батьківської форми, а половина материнської, то особина буде гетерозиготною за геном  $A$  ( $Aa$ ) (схрещування 2).

В експериментах Грегора Менделя (1822 – 1886) кожний ген представлений лише двома алелями. Але більшість (а можливо і всі) гени мають декілька алелів (множинні алелі), тобто існують більш ніж в двох алельних формах, хоча кожний диплоїдний організм може бути носієм тільки двох алелів.

Відома велика кількість прикладів множинного алелізму. Декілька алелів одного гена визначають успадкування груп крові системи  $ABO$ , відкритої Карлом Ландштейнером (1868 – 1943) у 1900 році. При переливанні крові необхідно знати групи крові донора та реципієнта, щоб запобігти аглютинації донорської крові у кровотоку реципієнта. В системі  $ABO$  є чотири групи крові:  $O, A, B, AB$ . Вони визначаються трьома алелями:  $I^A, I^B, i^o$ . Алелі  $I^A$  та  $I^B$  є домінантними стосовно алеля  $i$ , але кодомінантними у відношенні один до одного.

Кодомінантність – це незалежне проявлення в гетерозиготі ознак, що контролюються різними алелями. Отже алелі  $I^A$  та  $I^B$  при сполученні їх в зиготі визначають проявлення нової ознаки – групи крові  $AB$  (IV) група.

При існуванні трьох алелів можливе існування шести різних генотипів, але є всього чотири групи крові, оскільки алель  $i$  рецесивний. (табл.1).

Визначення груп крові має велике значення не тільки в медицині, але й в судово-слідчій практиці.

**Таблиця 1. Групи крові системи АВО**

Генотип	Фенотип (група крові)
$I^A I^A, I^A i^o$	<i>A</i>
$I^B I^B, I^B i^o$	<i>B</i>
$I^A I^B$	<i>AB</i>
$i^o i^o$	<i>O</i>

Кількість можливих генотипів у випадку множинного алелізму залежить від кількості алелів даного гена. Якщо ген представлений єдиним алелем *A*, то і генотип за цим алелем може бути лише один – *AA*. Якщо алелів два,  $A_1$  та  $A_2$ , то можливі три генотипи: два гомозиготних,  $A_1 A_1$  та  $A_2 A_2$ , і один гетерозиготний:  $A_1 A_2$ . В загальному випадку, при існуванні *n* алелів, можливе існування  $\frac{n(n+1)}{2}$  генотипів, з яких *n* гомозиготні, а решта  $\frac{n(n-1)}{2}$  – гетерозиготні (табл.2).

**Таблиця 2. Кількість різних генотипів при даній кількості алелів**

Кількість алелів	Кількість генотипів	Кількість типів гомозигот	Кількість типів гетерозигот
<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0</i>
<i>2</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>
<i>3</i>	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>4</i>	<i>10</i>	<i>4</i>	<i>6</i>
<i>5</i>	<i>15</i>	<i>5</i>	<i>10</i>
<i>n</i>	$n(n+1)/2$	<i>n</i>	$n(n-1)/2$

Доля гомозиготних особин за парою алелів в будь-якій популяції з кожним поколінням самозапилення збільшується (табл.3).

**Таблиця 3. Доля гомозигот та гетерозигот за даною парою алелів при самозапиленні вихідної гетерозиготи**

Покоління	Співвідношення генотипів			Процент	
	<i>AA</i>	<i>Aa</i>	<i>aa</i>	гетерозигот	гомозигот
$F_1$	-	<i>1</i>	-	100	<i>0</i>
$F_2$	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	50	50
$F_3$	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>6</i>	25	75
$F_4$	28	<i>8</i>	28	12,5	87,5

При самозапиленні гетерозиготної особини доля гомозигот в *n*-мому гібридному поколінні ( $F_n$ ) розраховується за формулою:  $F_n = 1 - (1/2)^{n-1}$ , де  $(1/2)^{n-1}$  – доля гетерозигот в *n*-мому гібридному поколінні.

При розв'язанні задач спочатку записується їх зміст або у вигляді таблиці, де позначаються гени і ознаки, що ними контролюються, або у вигляді схем схрещування, де приводяться лише генотипи чи фенотипи всіх зазначених особин.

Найчастіше зустрічаються наступні типи генетичних задач з даної теми:

1. Визначення генотипу і фенотипу нащадків за відомим генотипом або фенотипом батьків.
2. Визначення генотипу батьків за відомим фенотипом дітей або за розщепленням за фенотипом в гібридному потомстві.
3. Визначення типу успадкування ознак.
4. Визначення кількості або ймовірності появи особин певного генотипу в гібридному потомстві.

## 2.2. Приклади розв'язування задач різного типу

**Задача 1.** У пацюків відома красива мутація сріблястої шерсті. При схрещуванні з нормальними пацюками самки із сріблястою шерстю завжди приносять нормальних пацюків, а в зворотньому схрещуванні нормального самця  $F_1$  із сріблястою самкою одержали 38 сріблястих і 40 нормальних нащадків. Вирішили перевірити, яке розщеплення буде в  $F_2$  від схрещування нормальних пацюків між собою. Одержали 128 пацюків. Скільки з них буде мати сріблясту шерсть?

Дано:

A – ген нормального забарвлення шерсті

a – ген сріблястої шерсті

P: ♀ aa x ♂ A-

$F_1$  100% A-

P<sub>1</sub>: ♀ aa x ♂ A-

F<sub>зв</sub>: 38aa : 40A-

F<sub>1</sub>: ♀ A- x ♂ A-

n(F<sub>2</sub>) = 128

F<sub>1</sub> - ?

F<sub>зв</sub> - ?

F<sub>2</sub> - ?

nF<sub>2</sub>(aa) - ?

Розв'язання:

1) На основі аналізу генотипу й фенотипу гібридів  $F_1$  визначаємо, що генотипи P:

♀ aa x ♂ AA

Тоді  $F_1$ : Aa (100%)

2) За аналізом розщеплення в F<sub>зв</sub>

P<sub>1</sub>: ♀ aa x ♂ Aa

F<sub>зв</sub>: 1Aa/40 : 1aa/38

3) F<sub>1</sub>: ♀ Aa x ♂ Aa

	♂	A	a
♀			
A		AA	Aa
a		Aa	aa

F<sub>2</sub>: 1AA : 2Aa : 1aa (розщеплення за генотипом).

Розщеплення за фенотипом F<sub>2</sub>:  $\frac{3}{4}$ A-(нормальні) :  $\frac{1}{4}$ aa (сріблясті).

n F<sub>2</sub> (aa) = 128 ·  $\frac{1}{4}$  = 32 пацюка.

**Відповідь:** 32 пацюка потомства F<sub>2</sub> буде мати сріблясту шерсть.

**Задача 2.** У курей розоподібний гребінь визначається геном  $R$ , листкоподібний –  $r$ . Півень з розоподібним гребнем схрещений з двома курками теж з розоподібним гребнем. Перша дала 14 курчат, всі з розоподібним гребнем; друга – 9 курчат, з них 7 з розоподібним і 2 з листкоподібним гребінцем. Визначити генотип всіх трьох батьків.

Дано:

$R$  – ген розоподібного гребня

$r$  – ген листкоподібного гребня

$P'$ : ♀  $R$  - x ♂  $R$  -

$n F'_1$ : 14R-

$P''$ : ♀  $R$  - x ♂  $R$  -

$n F''_1$ : 9(7R- : 2r)

$P'$  ♀ - ?

$P''$  ♀ - ?

$P$  ♂ - ?

Розв'язання:

1) Розщеплення за фенотипом у відношенні 3 : 1 (тобто 7R- : 2rr) відповідає закону розщеплення (II закон Менделя). Тому припускаємо, що генотипи другої пари батьківських особин є гетерозиготними.

Складаємо схему схрещування.

$P''$ : ♀  $Rr$  x ♂  $Rr$

♀ \ ♂	$R$	$r$
$R$	$RR$	$Rr$
$r$	$Rr$	$rr$

$F''_1$ :  $1RR : 2Rr : 1rr$  тобто 3  $R$ - : 1rr або  $n F''_1 = 7R- : 2rr$ . Отже генотип півня  $Rr$ , другої курки –  $Rr$ .

2) Тепер визначимо генотип першої курки. За законом одноманітності гібридів першого покоління (I закон Менделя) в генотипі курки відсутній рецесивний алель  $r$ , інакше в  $F_1$  було б розщеплення. Тому генотип першої курки  $RR$ .

Складаємо схему схрещування.

$P'$ : ♀  $RR$  x ♂  $Rr$

$F'$ :

♀ \ ♂	$R$	$r$
$R$	$RR$	$Rr$

Розщеплення за генотипом:

$F_1$ :  $1RR : 1Rr$  тобто 100% з розоподібним гребнем ( $n F_1 = 14$ )

Відповідь: генотип півня –  $Rr$ , генотип першої курки –  $RR$ , другої –  $Rr$ .

**Задача 3.** У коней є спадкова хвороба гортані. Коли хворий кінь біжить, він видає характерний хрип. Від хворих батьків часто народжуються здорові лоша. Домінантна чи рецесивна ця хвороба? Аргументуйте відповідь.

Розв'язання.

1) Якщо прийняти припущення, що хвороба рецесивна, то у хворих батьків ніколи не з'явиться здорове потомство:

$P: ♀aa \times ♂aa$

$F_1: aa$

За фенотипом – 100% хворі особи. Таким чином, це припущення відкидається. Тоді визначаємо, що хвороба гортані у коней є домінантною ознакою і батьківські особи гетерозиготні. Тоді при схрещуванні двох хворих коней з ймовірністю  $\frac{1}{4}$  або 25% може народитися здорове лоша:

Складаємо схему схрещування

$P: ♀Aa \times ♂Aa$

$F_1:$

♀ \ ♂	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Розщеплення за генотипом  $F_1: 1AA : 2Aa : 1aa$

За фенотипом:  $\frac{3}{4}$  хворі :  $\frac{1}{4}$  здорові.

Відповідь: хвороба гортані у коней домінантна.

**Задача 4.** Чорна кішка з білими плямами на шиї і на животі ( $S$ ) схрещується з подібним за фенотипом котом однакового з нею генотипа. Визначити ймовірність народження у цієї пари чорного кошеня без плям на тілі.

Дано:

$S$  – ген плямистого забарвлення

$s$  – ген суцільного забарвлення

$P: ♀S- \times ♂S-$

$F_2 - ?$

Розв'язання:

1) Чорна кішка з білими плямами може мати два варіанти генотипа –  $SS$  або  $Ss$ . Якщо вона буде гомозиготною за геном  $S$  (генотип  $SS$ ), ймовірність появи у неї чорного кошеня без плям при схрещуванні з котом подібного генотипа дорівнює нулю, тому що батьки будуть продукувати тільки гамети, що несуть домінантний алель:

$P: ♀SS \times ♂SS$

$F_1: SS$ ; за фенотипом всі з плямами.

2) В іншому випадку гетерозиготна кішка буде давати два типи гамет в рівному співвідношенні: ті, що несуть алель  $S$ , і ті, що несуть алель  $s$ , оскільки при мейозі гомологічні хромосоми попадають в різні гамети. Кіт має однаковий з кішкою генотип і теж утворює два типи гамет –  $S$  і  $s$ . У такої пари гетерозиготних особин можливе народження кошеня без білих плям на тілі.

Складаємо схему схрещування.  $P \text{♀} Ss \times \text{♂} Ss (F_1)$ .

$F_2$ :

$\text{♀} \backslash \text{♂}$	S	s
S	SS	Ss
s	Ss	ss

Розщеплення за генотипом:  $1SS : 2Ss : 1ss$

Розщеплення за фенотипом:  $\frac{3}{4}$  плямистих :  $\frac{1}{4}$  без плям

3) %  $F_2$  (плямисте забарвлення) =  $\frac{3}{4} \times 100\% = 75\%$

%  $F_2$  (суцільне забарвлення)  $\frac{1}{4} \times 100\% = 25\%$

*Відповідь: ймовірність народження чорного кошеня без плям на шові складатиме  $\frac{1}{4}$  або 25%.*

### 2.3. Варіанти задач для самостійного розв'язання

1) У вівса імунність до іржі домінує над ураженістю цією хворобою. Якими мають бути гібриди  $F_1$  від схрещування ураженого іржею вівса з гомозиготним імунним? Яким буде друге покоління? Які форми можуть виникати при схрещуванні гібридів  $F_1$  з вихідними батьківськими рослинами?

2) У томатів шкірка плодів може бути гладкою або опушеною. При схрещуванні сортів з гладкими та опушеними плодами  $F_1$  має гладкі плоди, в  $F_2$  – 174 рослини з опушеними, 1520 з гладкими плодами. Як успадковується опушеність? Що буде в обох  $F_{36}$ ? (*Відповідь: опушеність успадковується як рецесивна ознака;  $F_{36}$ : 1AA; 1Aa – всі гладкі,  $F''_{36}$ : 1Aa; 1aa – 50% опушені; 50% – гладкі).*)

3) Ірландські сеттери можуть бути сліпими в результаті дії рецесивного гена  $bl$ . Нормальний алель цього гена можна позначити знаком +. Пара тварин з нормальним фенотипом мала потомство з 5 цуценят. Два з них були сліпими. Встановити генотипи батьків і генотипи цуценят. Одне нормальне цуценя з цього помету має бути проданим для подальшого розмноження. Яка ймовірність того, що він є гетерозиготним за геном сліпоті? (*Відповідь: 1) батьки були гетерозиготними за геном  $bl$ ; генотип цуценят нормальних  $bl+ bl-$ ; сліпих –  $bl bl$ . 2) 50%.*)

4) У томатів нормальний зріст рослини домінує над карликовим. Якими за зростом будуть рослини  $F_1$  від схрещування гомозиготних високих рослин з карликовими? Що одержимо від схрещування гібридів  $F_1$  між собою?

5) У собак жорстка шерсть домінуюча, м'яка – рецесивна. Два жорсткошерстих батька мають жорсткошерстого цуценя. Як перевірити, чи

має він в генотипі алель м'якошерстності? (Відповідь: схрестити його з м'якошерстним).

6) При схрещуванні забарвлених (фіолетові сходи від присутності антоціану) рослин жита з незабарвленими рослинами (зелені сходи внаслідок відсутності антоціану) в  $F_2$  було одержано 4584 забарвлених та 1501 зелених рослин. Як успадкується ознака? Який фенотип мають рослини  $F_1$ ?

7) У курей породи віадонт за стандарт прийнятий трояндоподібний гребінь. Всі птахи з листкоподібними гребнями вибраковуються, але іноді у деяких курей він з'являється. Чому? Як найбільш ефективно позбавитися від небажаного листкоподібного гребня? Аргументувати відповідь.

8) Примули з жовтими квітками утворюють лише жовтоквіткові рослини, з червоними – лише червоні. При схрещуванні цих ліній між собою всі рослини отримали з червоними квітками. Як успадковуються забарвлення квіток у примули? Які схрещування необхідно провести для перевірки цього припущення? Які результати слід очікувати?

9) У великої рогатої худоби вирізка вуха визначається домінантним геном  $N$ , а аномалія вимені – рецесивним геном  $a$ . В стаді у деяких корів є вирізка на вусі, у деяких – аномалія вимені. Як найшвидше очистити стадо від цих спадкових дефектів? Аргументувати відповідь.

10) При схрещуванні двох сортів томатів з жовтими та червоними плодами гібриди  $F_1$  мали червоні плоди, а в другому поколінні -58 червоних та 14 жовтих плодів. Як успадковується забарвлення плодів? Визначити генотипи вихідних сортів і гібридів  $F_1$ . Яке схрещування можна поставити для перевірки вашої гіпотези і який результат ви очікуєте одержати при цьому для 125 рослин?

11) В стаді чорно-пістрявої худоби новий бик. Від нього одержано 26 телят, з них 5 опинилися червоно-пістрявими. Тільки бичок в цьому винен, чи корови теж? Як це з'ясувати? Яка ймовірність того, що кожне з чорних телят, одержаних від нового бика, буде носієм небажаного гена червоного забарвлення?

12) При схрещуванні між собою рослин червоноплідної суниці вони завжди дають потомство з червоними плодами, а рослини білоплідної – з білими плодами. Від схрещування цих сортів отримують гібриди з рожевими ягодами. Яке потомство слід очікувати при схрещуванні між собою рослин суниці з рожевими ягодами, якщо припустити моногенний контроль цієї ознаки? Яке потомство одержимо у зворотніх схрещуваннях рожевоплідних рослин з вихідними батьківськими сортами? (Відповідь:  $P(F_1): Aa \times Aa$ ;  $F_2: 1AA:2Aa:aa$ ;  $P'Aa \times aa$ ;  $F_{36}: 1Aa:1aa$ ;  $P'': Aa \times AA$ ;  $F_{36}: 1AA:1Aa$ ).

13) У одного японського сорта бобів при самозапиленні рослини, яка виросла з світлої плямистої насинини, одержано  $\frac{1}{2}$  світлих плямистих і  $\frac{1}{4}$  насинин без плям. Пояснити розщеплення. Яке потомство слід очікувати від схрещування рослин з темним плямистим насінням з рослиною, що має насіння без плям? Відповідь аргументувати.

14) У нічної красуні при схрещуванні двох рослин з рожевими квітками одержали потомство з червоними, рожевими та білими квітками. Ввести генетичні позначення та написати всі можливі для цього випадку генотипи.

15) Від схрещування рослин ротиків з червоними та білими квітками одержані гібриди з червоними квітками, а в  $F_2$  відбулося розщеплення – 119 рослин мали червоні і 41 – білі квітки. Як успадковується забарвлення квіток у ротиків? Визначити генотипи вихідних форм. Що одержимо в результаті аналізуючого схрещування і яку форму ви будете використовувати в якості аналізатора? Які результати ви очікуєте одержувати в  $F_{36}$ ?

16) Дрозофіла дикої раси має добре розвинені крила, у особин з рецесивною мутацією *Vestigial* крила нерозвинені. 1) Гетерозиготна муха з нормальними крилами схрещена з мухою *Vestigial*. Яке потомство очікується в першому поколінні? 2) Дві гетерозиготних особини з нормальними крилами схрещені між собою. Яке кількісне співвідношення особин з нормальними та нерозвиненими крилами очікується в потомстві?

17) Серед великої кількості нормальних рослин кукурудзи було знайдено декілька карликових. Для з'ясування генетичної природи карликовості ці рослини схрестили з нормальними. В  $F_1$  від цих схрещувань всі рослини опинилися нормальними, а в  $F_2$  – 128 нормальних і 35 карликових. Як успадковується карликовість? Як визначити, які нормальні рослини з  $F_2$  є гетерозиготними? Як пояснити появу карликових рослин серед нормальних вихідних рослин?

18) Стійкі до дії ДДТ самці тарганів схрещувались із самками, чутливими до даного інсектицида. В  $F_1$  всі особини опинилися стійкими до ДДТ, а в  $F_2$  відбулося розщеплення 5768 стійких і 1919 чутливих до ДДТ. При схрещуванні самок, чутливих до ДДТ, з гібридними самцями, вивелося 3583 стійких і 3615 чутливих тарганів. Яка з ознак домінує? Яка частина стійких особин з  $F_2$  при схрещуванні між собою буде завжди вищепляти чутливих нащадків? Як вивести тарганів?

19) У курей нормальне оперіння домінує над шовковистим. Від двох нормальних за фенотипом гетерозигот отримано 98 курчат. Скільки серед них буде нормальних, а скільки шовковистих?

20) Комолість домінує у великої рогатої худоби над рогатістю. Комолій бик схрещений з двома коровами. Від схрещування з рогатою коровою одержано комолого теля і від схрещення з комолою коровою оде-



ржано рогате теля. Визначити ймовірні генотипи всіх батьків. Яке потомство слід очікувати далі від кожного з цих схрещувань?

21) Є півень з нормальним оперінням невідомого походження. Як легше всього визначити його генотип?

22) Якщо дві сестри ідентичні, тобто однойцеві близнюки, вийдуть заміж за двох братів – ідентичних близнюків і у них будуть діти, чи будуть ці діти схожі один на одного, як ідентичні близнюки? Аргументувати відповідь. *(Відповідь: не будуть схожими внаслідок незалежного і випадкового комбінування генів в гаметах).*

23) В одному колгоспному стаді від схрещування чалих (сіро-блакитних) шортгорнів одержано 270 телят. З них 136 телят мали забарвлення батьків. Визначити генотипи і фенотипи решти потомства, якщо відомо, що чалі шортгорни народжуються при схрещуванні чорних і білих тварин.

24) Як легше всього перевірити, чи є півень з домінантним горохоподібним гребінцем гомо- або гетерозиготним (рецесивна ознака – листкоподібний гребінь)?

25) Чоловік із полідактилією (шестипалість) жениться на нормальній п'ятипалій жінці. Вони мають п'ятеро дітей, і всі з полідактилією. Один з них жениться на нормальній жінці і вони мають вісім дітей. Скільки їхніх дітей будуть з полідактилією? *(Відповідь: 1/2 або 50%).*

26) При схрещуванні коричневої норки з сірою – потомство коричневе. Одержано 47 коричневих та 15 сірих. Яка ознака домінує? Скільки буде гомозигот серед 47 коричневих та 15 сірих? Як це визначити?

27) У людини домінантний ген *A* детермінує ахондроплазію-карликовість за рахунок різкого вкорочення скелету кінцівок. Його алель – рецесивний ген *a* – зумовлює нормальну будову скелета. Жінка, яка має нормальну будову скелета, вийшла за чоловіка, гетерозиготного за ахондроплазією. Яка ймовірність того, що їх дитина буде страждати ахондроплазією?

28) Припускають, що у людини хвилясте волосся – домінантна ознака. В сім'ї троє дітей: дівчинка Катруся з прямим волоссям і два її брати – Сашко з прямим волоссям та кучерявий Мишко. У матері цих дітей, а також у її батька волосся хвилясте, у батька дітей волосся пряме. Скласти родовід цієї сім'ї та визначити генотипи всіх членів сім'ї.

29) Від чого легше позбавитись в стаді курей: від рецесивної ознаки листкоподібного гребеня, або від домінантної – оперених ніг? Відповідь аргументувати. *(Відповідь: від домінантної ознаки).*

30) У Володі та його рідного брата Миколи очі сірі, а у їх сестри Наталки – блакитні. Мати цих дітей блакитноока, її ж батьки мали сірі очі. Як успадковується блакитне та сіре забарвлення очей? Який колір

очей у батька дітей? Визначіть генотипи всіх членів сім'ї і дати аргументовану відповідь.

31) У вівса рання стиглість домінує над пізностиглістю. На дослідній ділянці від схрещування пізностиглого вівса з гетерозиготним ранньостиглим одержано 69134 рослин раннього дозрівання. Визначте кількість пізностиглих рослин.

32) В Норвегії відомий випадок, коли матір дитини, яка страждає брахідактилією (короткопалість) пред'явила позов до суду чоловіку, який заперечував своє батьківство. Суд попросив чоловіка показати руки і опинилося, що в нього брахідактилія. Суд визнав його батьком дитини. На основі чого суд зміг зробити подібний висновок? Домінантна чи рецесивна брахідактилія? Відповідь аргументувати.

33) В сім'ї народилося двоє безчерепних дітей, які померли відразу ж після народження, і одна нормальна дитина. В подальшому у них народилася безчерепна дитина. Дати генетичне пояснення цьому явищу.

34) Велетенський зріст рослин вівса – рецесивна ознака. Що можна сказати про генотипи батьківської пари, якщо половина потомства має нормальний, а половина – велетенський зріст? А якщо тільки чверть потомства відрізняється гігантизмом? Які форми вівса треба схрестити, щоб потомство було однорідним за даною ознакою?

35) Сірий колір тіла дрозофіли домінує над чорним. В серії дослідів при схрещуванні сірої мухи з чорною одержано 117 сірих особин та 120 чорних. Визначити генотипи батьківських форм. При схрещуванні сірих мух у потомстві опинилися 1392 особини сірого кольору та 467 особин чорного кольору. Визначити генотипи батьківських форм.

36) Анірідія (відсутність райдужної оболонки, яка звичайно супроводжується помутнінням рогівки й кришталика і зниженим зором), успадковується як аутосомна домінантна ознака. Яка ймовірність народження здорових дітей в сім'ї, де один з батьків страждає анірідією, а інший нормальний, якщо відомо, що у хворого батька цю аномалію мав лише батько? (Відповідь: 50%).

37) Альбінізм (відсутність пігмента меланіна в шкірі, сітківці ока та волоссях) успадковується у людини як аутосомно-рецесивна ознака. В сім'ї де один з подружжя альбінос, а другий нормальний, народилися дизиготні близнюки, один з яких нормальний у відношенні аналізуємої хвороби, а інший – альбінос. Визначити ймовірність народження наступної дитини-альбіноса.

38) Ахондроплазія (спадкова карликовість) передається як домінантна аутосомна ознака. В сім'ї де обидва подружжя страждають ахондроплазією, народилася нормальна дитина. Яка ймовірність того, що наступна дитина буде теж нормальною? (Відповідь: 25%).

39) Кохінурові норки (світле забарвлення з чорним хрестом на спині) одержуються в результаті схрещування білих норок з темними. Схрещування між собою білих норок дає біле потомство, а схрещування між собою темних норок – темне. 1) Яке потомство одержиться від схрещування кохінурових норок з білими? (Відповідь: 50% білих, 50% кохінкрових). 2) На зверофермі від схрещувань кохінурових норок одержано нащадків – 74 білих, 77 чорних, 152 – кохінурових. Скільки особин з них і які будуть гомозиготними? (Відповідь: гомозиготними будуть 74 білих і 77 чорних).

40) Колір волосяного покриву морських свинок залежить від вмісту темного пігмента меланіна. Білі свинки (альбіноси) при схрещуванні між собою дають біле потомство. Гібриди альбіносів і темних мають проміжне (напівтемне) забарвлення. Яке потомство буде при схрещуванні напівтемної свинки із білою? При схрещуванні напівтемних морських свинок між собою серед потомства опинилося 23 білих та 20 темних особин. Визначити кількість особин серед решти потомства, яке буде схожим на своїх батьків.

41) В пологовому будинку переплутали двох дівчинок. Батьки однієї з них мають  $A$  та  $O$  групи крові, батьки іншої –  $A$  та  $AB$ , дівчинки мають  $A$  та  $O$  групи крові. Визначити, хто чия дочка і генотипи батьків і дітей. (Відповідь: дівчина з групою крові  $O$  є дитиною першої пари батьків).

42) У підозрюваного в батьківстві –  $IV$  група. Чи можна встановити справжнє батьківство? Чи допоможе в цьому той факт, що у матері  $I$  група крові, і якщо так, то яким чином?

43) У матері  $II$  група крові, у дитини –  $III$ , група крові батька невідома. Чию кров (батька чи матері) можна перелити дитині? Чи можна перелити кров батька, не визнаючи її групу?

43) Дитина має групу крові  $AB$ , на неї претендують дві пари батьків. Група крові батька в одній з них  $A$ , матері –  $B$ , в другій у матері –  $AB$ , у батька –  $O$ . Претензія якої пари батьків виключається? (Відповідь: другої пари батьків).

44) У кролів в одній з хромосом є локус  $C$ , представлений серією множинних алелей, які визначаються забарвленням шерсті. Ці алелі розміщуються в певному порядку домінантності:  $C$  (агуті)  $> C^{ch}$  (шиншила)  $> C^h$  (гімалайський)  $> C$  (альбінос). Різним фенотипам відповідають наступні генотипи:  $CC$ ,  $Cc^{ch}$ ,  $Cc^h$ ,  $Cc$  – дикий тип,  $c^{ch}c$  – шиншилове забарвлення,  $c^{ch}c^{ch}$ ,  $c^hc^h$  – світло-сіре забарвлення,  $c^hc^h$ ,  $c^hc$  – гімалайське забарвлення,  $cc$  – альбінос. Самка дикого типа схрещена з самцем гімалайського забарвлення. В потомстві спостерігалось розщеплення: 41 дикого типа, 19 гімалайських та 21 альбінос. Вказати ймовірні генотипи обох батьківських форм і нащадків. Яким буде потомство від схрещування

шиншили і альбіноса; особин дикого типу і альбіноса? Скільки може бути різних генотипів за участю цих алелів?

45) У кішок є серія множинних алелів за геном  $C$ , який визначає колір шерсті:  $C$  – дикий тип,  $C^S$  – сіамські кішки (кремові з чорними вухами і чорними лапками),  $c$  – білі кішки з червоними очами (альбіноси). Кожний з алелів повно домінує над наступним ( $C > C^S > c$ ). Від схрещування сірої кішки з сіамським котом народилося два кошеня: сіамський та альбінос. Які ще фенотипи могли б вищепитися в цьому схрещуванні? Яке розщеплення слід очікувати в потомстві від схрещування даного сіамського кота з білою червоноокою кішкою? (Відповідь: *дикого типу; 50% сіамських : 50% альбіносів*).

46) Кров більшості людей містить антиген  $Rh$ , який успадковується як домінантна ознака (резус-позитивні люди). Які групи крові можуть з'явитися у дітей, що народилися від шлюбу двох резус-негативних батьків? У випадку, якщо один з батьків резус-негативний, а інший – резус-позитивний? Від шлюбу двох резус-позитивних батьків?

47) Резус-фактор – це особливий білок, який міститься в крові. Якщо він є, таких осіб називають резус-позитивними, якщо нема – резус-негативними. У випадку, коли плід резус-позитивний, а мати резус-негативна, виникає резус-конфлікт, який здебільшого не проявляється за першої вагітності, а тільки за наступних. Резус-негативна жінка виходить заміж за гетерозиготного резус-позитивного чоловіка. Визначити ймовірність резус-конфлікту між організмами матері та плоду при другій вагітності. (Відповідь: *50%*).

48) Серпоподібноклітинна анемія (зміна нормального гемоглобіну  $A$  на  $S$ -гемоглобін, в результаті чого еритроцити приймають форму серпа) успадковується як неповністю домінантна аутосомна ознака. Захворювання у гомозиготних особин призводить до смерті, звичайно до статевого дозрівання, Гетерозиготні особини життєздатні. Цікаво, що малярійний плазмодій не може використовувати для свого живлення  $S$ -гемоглобін. Тому люди, які мають цю форму генотипу, не хворіють малярією. Визначити ймовірність народження дітей, стійких до малярії, в сім'ї, де один з батьків є гетерозиготним щодо серпоподібноклітинної анемії, а інший нормальний у відношенні цієї ознаки. Яка ймовірність народження дітей, нестійких до малярії, в сім'ї, де обидва батьки є стійкими до малярійного плазмодію?

49) Сімейна гіперхолестеринемія успадковується як аутосомно-домінантна ознака. У гетерозигот це захворювання виражено у високому вмісті холестерина в крові. У гомозигот, крім того, розвиваються ксантоми (доброякісна пухлина) шкіри та сухожиль, атеросклероз. Визначити можливий ступінь розвитку гіперхолестеринемії у дітей в сім'ї, де обидва батьки мають лише високий вміст холестерину в крові. Визначи-

ти ймовірність народження дітей з аномалією та ступінь її розвитку в сім'ї, де один з батьків, крім високого вмісту холестерину в крові має розвинені ксантоми і атеросклероз, а інший нормальний у відношенні ознаки, що аналізується. (Відповідь: 1) 25% – ксантоми з атеросклерозом, 50% – підвищений вміст холестерину в крові, 25% – нормальний. 2) Всі вони будуть гетерозиготними і мати підвищений вміст холестерину в крові).

50) Рослина-самоzapильовач гетерозиготна (генотип  $Cc$ ) і має забарвлені квітки (ген  $C$  домінує над геном  $c$ ). Яке співвідношення генотипів і співвідношення нащадків із забарвленими і білими квітками буде в  $F_5$ ? в  $n$ -ному поколінні?

Відповідь: за повного домінування розщеплення за фенотипом

в  $F_5$ :

$$\left[ \frac{1}{2} - \left(\frac{1}{2}\right)^5 + \left(\frac{1}{2}\right)^{5-1} \right] \text{ червоних; } \left[ \frac{1}{2} - \left(\frac{1}{2}\right)^5 \right] \text{ білих або } \frac{15}{32} CC : \frac{1}{16} Cc : \frac{15}{32} cc$$

в  $F_n$ :

$$\left[ \frac{1}{2} - \left(\frac{1}{2}\right)^n \right] CC : \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} Cc : \left[ \frac{1}{2} - \left(\frac{1}{2}\right)^n \right] cc$$

## РОЗДІЛ III. АНАЛІЗ РОДОВІДІВ

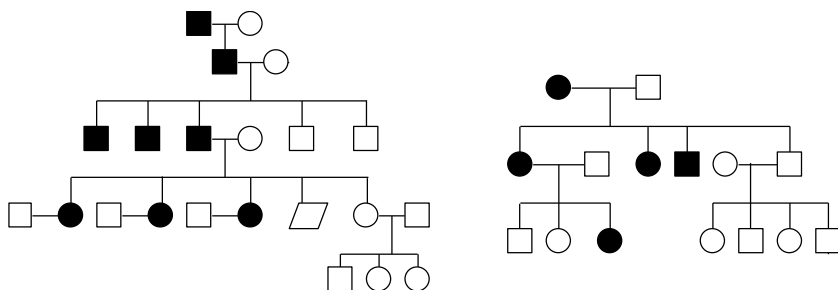
Основним методом вивчення характеру успадкування ознак є гібридологічний аналіз. Але в генетиці людини його не можна використовувати, оскільки проведення схрещувань для вивчення успадкування ознак для людини є неможливе. Тому в антропогенетиці застосовують специфічний метод-аналіз родоводів, або генеалогічний метод. Для складання родоводу використовуються спеціальні символи (мал.1).

	чоловік
	жінка
	стать не в'ясна
	власник ознаки, що вивчається
	дизиготні (різнойцеві) близнюки
	монозиготні (однойцеві) близнюки
	шлюб чоловіка з двома жінками
	гетерозиготний носій рецесивного гена, що вивчається
	шлюб
	родинний шлюб
	батьки,
	діти і порядок їх народження
	інтерсекс
	дитина з вадами розвитку.

*Мал. 1. Символи, які найчастіше використовуються при складанні родоводів людини*

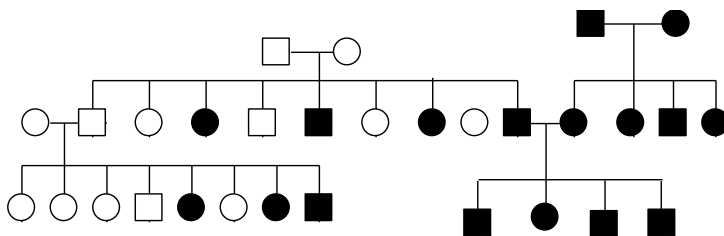
Персона, з якої починають складання родоводів, називається пробандом. Якщо родовід складається таким чином, що від пробанда спус-

каються до потомства, то його називають генеалогічним древом (генеалогія); якщо від пробанда простежують успадкування до батьків та інших більш віддалених предків, такий родовід називається таблицею предків. Генеалогії більш зручні для генетичного аналізу, тому що в цьому випадку все потомство походить від однієї подружньої пари. При аналізі родоводів можна визначити, чи успадковується певна ознака, і якщо успадковується, то як – за домінантним чи рецесивним типом. Для визначення кількісних співвідношень при розщепленні аналізують декілька подібних родоводів. Дуже часто в якості ознаки, що вивчається, у людини фігурує те чи інше захворювання. На мал. 2 зображені родоводи, в кожній з яких пробанд – носій певної аномалії. В усіх випадках захворювання спостерігається в кожному поколінні; кожний хворий має хоча б одного батька з тією ж самою ознакою. Це характерні риси успадкування домінантних ознак.



**Мал. 2. Приклад родоводів людини з домінантними аномаліями**

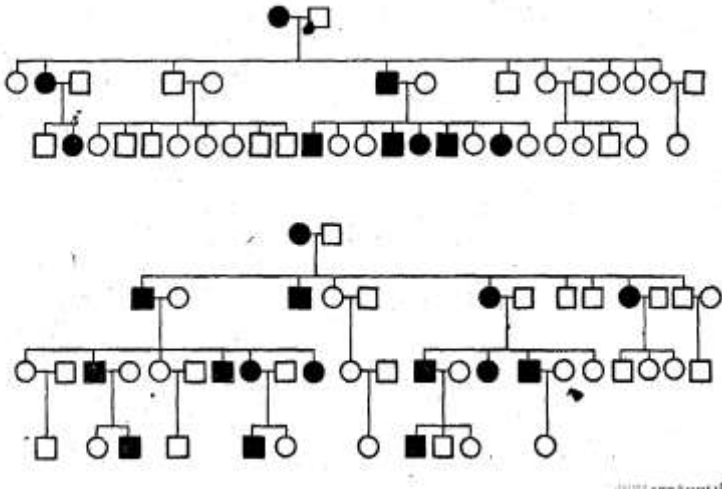
На малюнку 3 зображені родоводи, для яких характерний інший тип успадкування. Ознаки, які аналізуються, в деяких поколіннях не зустрічаються, хоч в попередніх вони були. Відбувається немов би “перестрибування” ознаки через покоління. Діти, які мають ознаку, що аналізується, можуть з’явитися у батьків, які такої ознаки не мали. Це характерні риси успадкування рецесивних ознак.



**Мал. 3. Приклад родоводів людини з рецесивними ознаками**

Поява одного або двох здорових дітей в сім'ї ще не виключає можливості появи хворої, якщо батьки гетерозиготні. Це змушує одночасно аналізувати декілька родоводів з тією ж самою ознакою.

Для аналізу кількісних закономірностей підсумовують декілька генеалогій, а матеріал обробляють статистично. Для людини, на відміну від рослин і тварин, походження яких відомо, труднощі складаються в доказі генотипової однорідності батьків – родоначальників генеалогій. На малюнку 4 зображені 2 генеалогії.



**Мал. 4. Родоводи людини, на яких можна провести кількісний аналіз розщеплення**

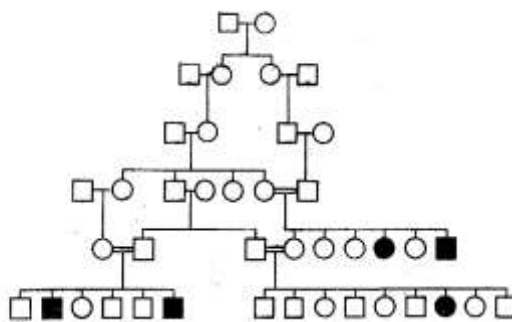
При розгляданні їх помітно, що в потомстві хворих батьків майже завжди з'являються хворі діти, причому у кожного хворого хоча б один з батьків обов'язково хворий. Отже, хвороба, що аналізується, успадковується як домінуюча ознака. Для аналізу кількісних співвідношень при розщепленні необхідно підсумовувати нащадків в шлюбах хворого та здорового батьків. В генеалогіях на малюнку 4 таких шлюбів 11. Але в двох родоначальних шлюбах походження хворих невідомо, були чи ні їх батьки хворими або здоровими; тому для вирівнювання матеріалу їх з аналізу виключають.

В дев'яти шлюбах, де точно відомо, що хворий батько походить від шлюба хворого і здорового (тобто гетерозиготний), налічується 16 хворих та 16 здорових дітей. Це співвідношення точно співпадає з відношенням 1 : 1, тобто відповідає співвідношенню при схрещуванні Аа х аа.



Вивчення успадкування рецесивних ознак більш важке, оскільки в цьому випадку можливе “перестрибування” ознаки через покоління, тобто складається враження раптової появи ознаки. Зручні для цієї мети генеалогії з родинними шлюбами. Ймовірність того, що родичі мають в гетерозиготному стані однакові гени, значно більша, ніж у неродичів. Отже, ймовірність появи рецесивних гомозигот в родинних шлюбах також збільшується.

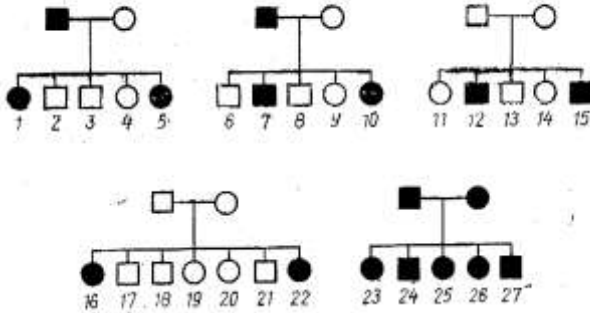
На малюнку 5 показана генеалогія, в якій є декілька родинних шлюбів, і в деяких з них з’являються діти з рецесивною ознакою, яка дуже рідко зустрічається – міоклонічною епілепсією.



*Мал. 5. Родовід сім'ї з рецесивною аномалією (міоклонічна епілепсія)*

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** В наступних сімейних родоводах людини (мал. 6) вказано успадкування тієї ж самої ознаки: здатність визначати смак фенілтіосечовини (ФТС). Цю ознаку легко визначити у кожної людини: одні скажуть, що ФТС гірка, інші – без смаку. Визначити, як успадковується ця ознака за кожним окремих родоводом, а потім перевірити за всіма п'ятьма родоводами. Після цього вказати генотипи всіх персон.



**Мал. 6. Родоводи людини з урахуванням ознаки: здатність визначити смак фенілтіосечовини (до задач 1-3)**

Розв'язання.

Аналізуючи родоводи, розмірковуємо таким чином. Ознака, яка досліджується, не може бути домінантною, тому що вона з'являється у дітей батьків, які цю ознаку не мали. Ознака не зчеплена із статтю, оскільки вона спостерігається у особин обох статей. Отже, ген, що контролює здатність розрізняти смак фенілтіосечовини, є рецесивним аутосомним.

Тепер аналізуємо кількісні закономірності розщеплення за подібними родоводами. Спочатку підсумовуємо кількість нащадків з ознакою та без неї у перших двох родоводах, де один з батьків розрізняє смак ФТС, а інший – ні. Внаслідок нечисельності цих родин можна говорити лише про приблизне співвідношення при розщепленні за цією ознакою. Воно дорівнює 6 : 4 або  $\approx 1 : 1$ . Отже генотипи персон в двох перших родоводах, де один з батьків є власником досліджуваної ознаки, є:  $P:aa \times Aa$ . В двох наступних родоводах батьки не розрізняли смак ФТС, а в їх потомстві з'явилися діти з альтернативною ознакою. Кількість нащадків, які не розрізняли смак ФТС, дорівнює 8, а осіб, які цей смак розрізняли – 4, що приблизно дорівнюватиме співвідношенню 3:1. Таким чином, батьки були гетерозиготними за цією ознакою  $Aa \times Aa$ . В останньому родоводі і батьки, і діти розрізняли смак ФТС, тобто вони були рецесивними гомозиготними за цією ознакою:  $aa \times aa$ .

**Задача 2.** Якщо жінка №9 вийде заміж за чоловіка №18, то які діти у них будуть? (Див. Задачу 1 та малюнок 6.).

Розв'язання.

Жінка не відчуватиме смак ФТС і є гетерозиготною за данною ознакою ( $Aa$ ). Чоловік може бути гомо- і гетерозиготним за цією озна-

кою ( $AA$  або  $Aa$ ). При шлюбі цих людей у випадку гомозиготності чоловіка всі діти не будуть відчувати смак ФТС і  $Aa \times AA$ ;  $F_1$ :  $Aa \times AA$ . У випадку гетерозиготності чоловіка  $\frac{3}{4}$  потомства цієї подружньої пари не будуть відчувати смак ФТС, а  $\frac{1}{4}$  - буде;

$Aa \times Aa$ ;  $F_1$ :  $1AA : 2Aa : 1aa$ .

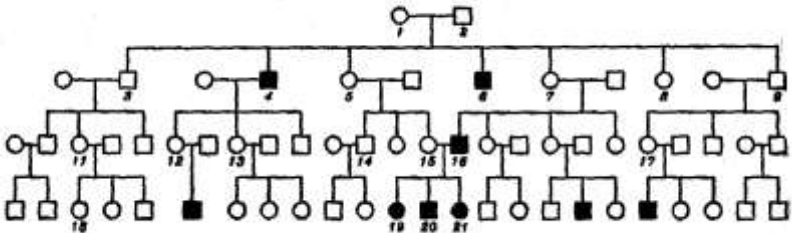
3:1

**Задача 3.** Якщо чоловік №12 жениться на жінці №25, які у них можуть бути діти? (див. Задачу №1 та мал.6).

Розв'язання.

Оскільки здатність визначити смак ФТС – аутосомна рецесивна ознака, то в шлюбі цих людей всі діти також будуть мати цю ознаку:  $P$ :  $aa \times aa$ ;  $F_1$ :  $aa$ .

**Задача 4.** На малюнку 7 представлений родовід однієї родини. Чорний колір символів означає володіння деякою ознакою, яка зустрічається досить рідко. Відомо також, що всі особи, з якими вступили у шлюб представники цієї сім'ї (за виключенням їх родоначальників), самі походили з родин, де ця ознака ніколи не виявлялася. Аналізуючи родовід, визначте характер успадкування цієї ознаки (домінантний, рецесивний, зчеплений або незчеплений із статтю і т.д.). вказати генотипи всіх осіб, помічених номерами (коли для цього не вистачить даних, назвіть можливі генотипи і висловіть міркування щодо їх порівняльної ймовірності).



**Мал. 7.** Родовід людини, з ознакою, що рідко зустрічається

Розв'язання.

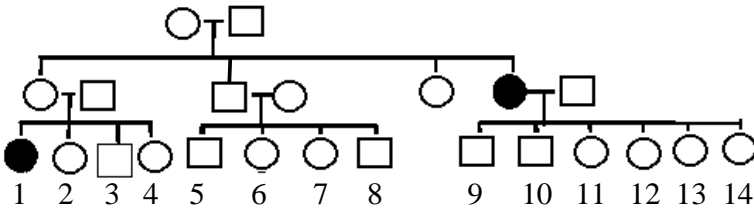
Дана ознака не може бути домінантною, інакше вона не з'являлася б у дітей, коли її не було б у батьків. На зчеплення цієї ознаки із статтю вказують наступні факти:

1) Вона виявляється переважно в чоловіків (виключення складають лише жінки 19 та 21, про яких мова йтиме нижче);

2) Вона передається тільки через жінок (від будь-якого нащадка з цією ознакою завжди є прямий шлях через жінок до предка з цією ж ознакою або до вихідної пари).

Припускаємо, що досліджувана ознака успадковується аналогічно дальтонізму, причому родоначальниця сім'ї 1 – гетерозиготний носій відповідного гена. Таке припущення підтверджується тим, що близькородинний шлюб між двоюрідними сібсами (сестрою та братом) 15 та 16 призвів до народження дівчинок 19 і 21 з данною ознакою (очевидно, їх матір 15 була гетерозиготним носієм). Після таких суджень легко можна визначити генотипи вказаних осіб:  $P : X^d X^d \times X^d Y$ ; №3 –  $X^d Y$ ; № 4,6 –  $X^d Y$ ; №5 -  $X^d X^d$  і т.д.

**Задача 5.** В сім'ї (мал.8) ознака руде волосся успадковується як рецесивна. Яке буде потомство, якщо наступні кузени одружаться: 1 x 5; 2 x 8; 6 x 9; 3 x 11; 1 x 12?

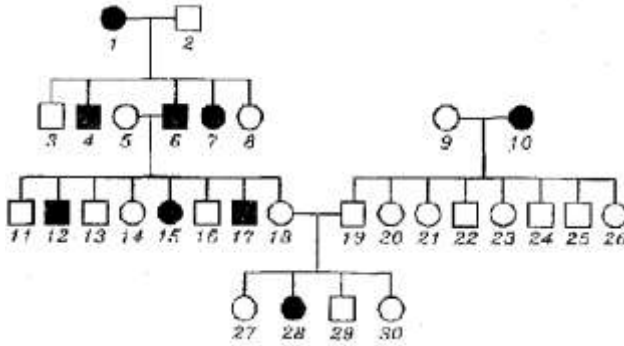


**Мал. 8.** Родовід сім'ї з урахуванням ознаки рудого забарвлення волосся

Розв'язання.

- 1)  $P : aa \times AA \rightarrow F_1 : Aa$  – всі з темним волоссям;
- 2)  $P : Aa \times AA \rightarrow F_1 : Aa : AA$  – всі з темним волоссям;
- 3)  $P : AA \times Aa \rightarrow F_1 : AA : Aa$  – всі з темним волоссям;
- 4)  $P : Aa \times Aa \rightarrow F_1 : 1AA : 2Aa : 1aa$  –  $\frac{3}{4}$  з темним,  $\frac{1}{4}$  потомство з рудим волоссям;
- 5)  $P : aa \times Aa \rightarrow F_1 : 1Aa : 1aa$  –  $\frac{1}{2}$  осіб з темним,  $\frac{1}{2}$  - з рудим волоссям.

**Задача 6.** Розглянути родовід (мал.9) однієї родини, в якій вказаний хід успадкування ліворукості: темні кружальця і квадрати – жінки і чоловіки з цією ознакою, світлі – символізують відсутність цієї ознаки. Визначити, домінантний чи рецесивний ген, що визначає цю ознаку; генотипи людей вказаного родоводу.



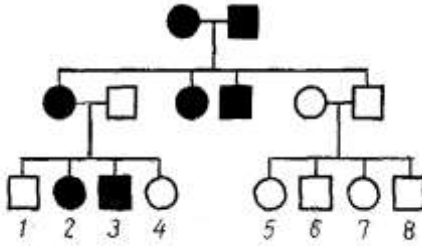
**Мал. 9. Родовід людини з успадкуванням ліворукості**

Розв’язання.

Рецесивність ліворукості помітна на основі того, що від шлюбу осіб (18 і 19), вільних від цієї ознаки, народилася дитина з даною ознакою. Відсутність ліворукості в чисельному потомстві від шлюбу правші 9 та лівші 10 свідчить про гомозиготність правші (інакше було б розщеплення). В потомстві лівші 1 і правші 2 приблизно половина ліворуких, отже, правша гетерозиготний. Теж саме можна сказати і про правшу 6. Таким чином, встановлюються наступні генотипи членів родини: 1, 4, 6, 7, 10, 12, 15, 17, 28 (всі лівші) –  $aa$ , 9 (правша) –  $AA$ , всі інші – гетерозиготні ( $Aa$ ), за виключенням, можливо, одного або кількох праворуких від шлюбу 18 x 19, які можуть мати генотип  $AA$  або  $Aa$ . Для уточнення цих генотипів треба знати їх нащадків.

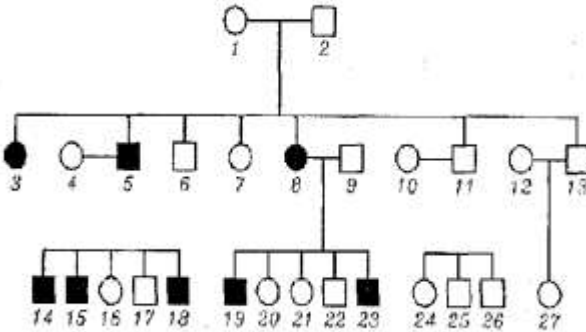
### **Задачі для самостійного розв’язання**

1. В наступному сімейному родоводі (мал. 10) зустрічається ознака сива прядка волосся, яка успадковується, як домінуюча. Визначте, які нащадки будуть від шлюбу кузенів: 1 x 5, 2 x 6, 3 x 7.



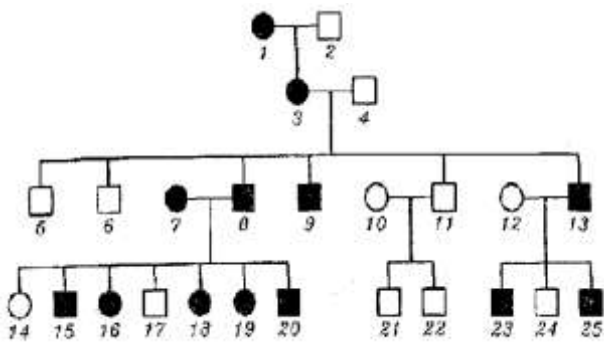
**Мал. 10. Родовід сім'ї з урахуванням ознаки сива прядка волосся (до задачі 1)**

2. В родоводі на малюнку 11 власників деякої ознаки символізують темні кружальця і квадрати у жінок та чоловіків. Визначити, домігантний або рецесивний ген цієї ознаки. Що можна сказати про генотипи окремих представників даної родини?



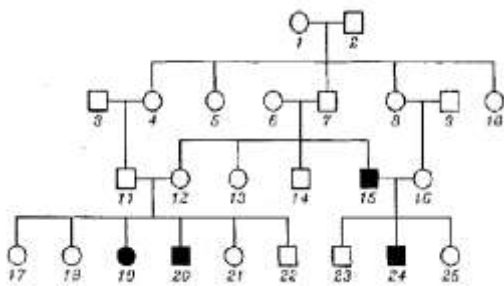
**Мал. 11. (до задачі 2)**

3. Виясніть за родоводом (мал. 12) характер успадкування (домінантність або рецесивність) ознаки, власники якої відмічені чорним кольором. Вкажіть, де це можливо, генотипи окремих представників.



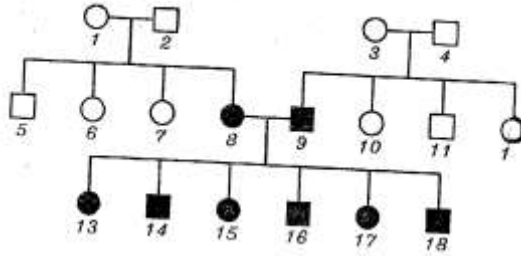
Мал. 12. (до задачі 3)

4. На малюнку 13 представлений родовід. Темним кольором відмічені особи, які страждають певною спадковою аномалією. Що можна сказати про домінантність або рецесивність гена, який цю ознаку викликає, а також про генотипи окремих представників даної родини?



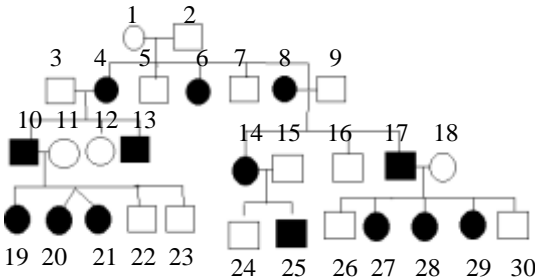
Мал. 13. (до задачі 4)

5. На основі родоводу (мал. 14) встановить характер успадкування (рецесивність або домінантність) ознаки, власники якої помічені чорним кольором. Світлі кружальця і квадрати відповідають представникам родини без цієї ознаки. Визначити за можливістю генотипи усіх, хто включений в даний родовід.



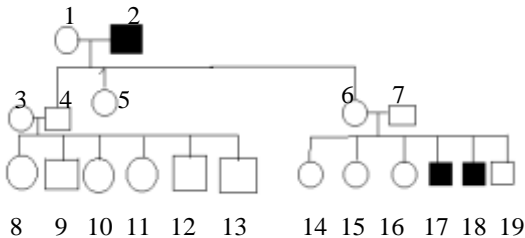
Мал. 14. (до задачі 5)

6. В родоводі зі специфічною формою рахіту (мал. 15) вказати можливі генотипи хворих і здорових осіб.



Мал. 15. Родовід зі специфічною формою рахіту

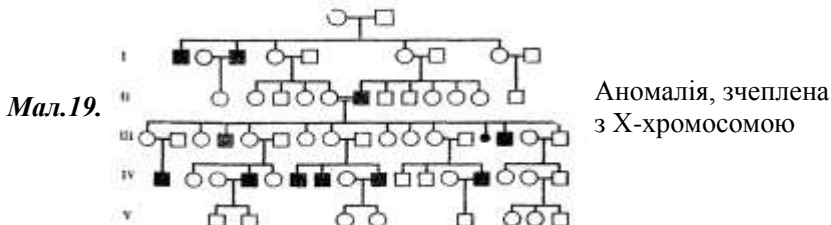
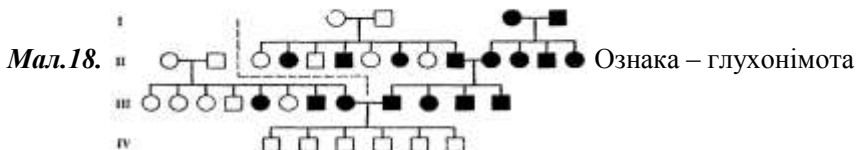
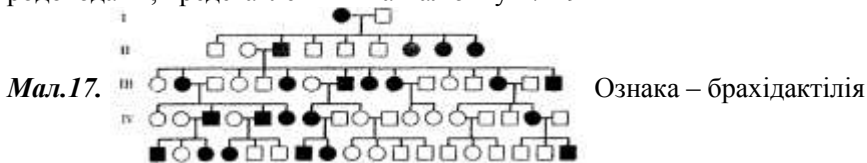
7. На малюнку 16 приведений родовід сім'ї, члени якої страждають захворюванням, зчепленим із статтю. Порівняти його з родолвомом на малюнку 15, вказати риси подібності і різниці. Встановити, яким геном, рецесивним чи доміантним, обумовлене захворювання.



Мал. 16. (до задачі 7)



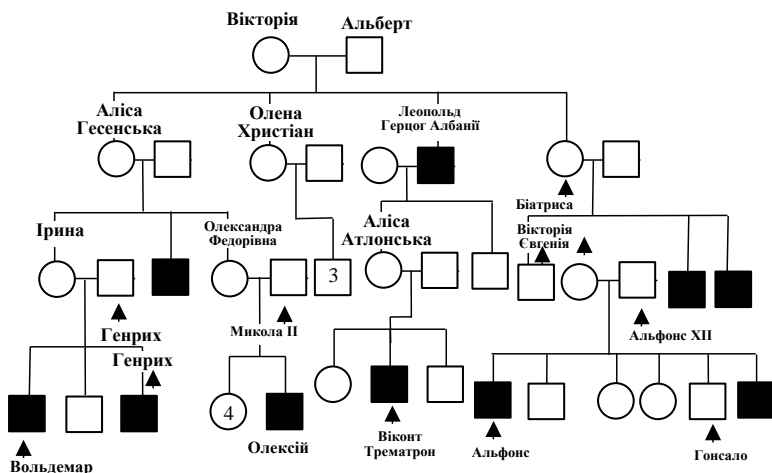
8. Провести аналіз і визначити характер успадкування ознаки за родоводами, представленими на малюнку 17-19



(Відповідь: в першому родоводі тип успадкування брахідактілії – аутомно-домінантний. Генотипи батьків:  $Aa \times aa$ . Розщеплення в потомстві:  $22Aa:20aa$  або  $1:1$ . В другому родоводі – тип успадкування глухонімоти – аутомно рецесивний.

В третьому родоводі хворіють лише чоловіки. Тип успадкування – зчеплений із статтю. Хворі діти з'являються від здорових батьків. Отже, тип успадкування хвороби – рецесивний. Рецесивний ген аномалії зчеплений з X-хромосомою).

9. На малюнку 20 приведена частина родоводу королеви Вікторії, серед нащадків якої більшість страждають гемофілією.

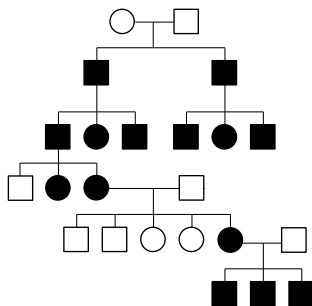


*Мал. 20. Частина родоводу англійської королеви Вікторії*

Вказати кондукторів гемофілії для кожного покоління.

10. Пробанда страждає нічною сліпоту. Його два брати також хворі. По лінії батька пробанда осіб, що страждають нічною сліпоту, не було. Матір пробанда хвора. Дві сестри і два брати матері пробанда здорові. Вони мають лише здорових дітей. По материнській лінії далі відомо: бабуся хвора, діти здорові, сестра бабусі хвора, а брат здоровий; прадід (батько бабусі) страждає нічною сліпоту, сестра і брат прадіда були хворими; прапрадід хворий, його брат, що має хвору дочку і двох хворих синів, також хворий. Жінка пробанда, її батьки й родичі здорові. Визначити ймовірність народження хворих дітей в сім'ї пробанда.

*(Відповідь:*



*Аналіз родоводу вказує, що дана форма нічної сліпоти успадковується, як домінанта аутосомна ознака. Пробанд має генотип Аа, його жінка – аа. Ймовірність народження хворих дітей 50%).*

11. Пробанд має білий локон у волоссях над лобом. Брат пробанда без локона. По лінії батька пробанда аномалії не відмічені. Матір пробанда з білим локоном. Вона має трьох сестер. Дві сестри з локоном, одна без локона. У однієї з тіток пробанда з боку матері син з локоном і дочка без локона, у іншої – син і дочка з локоном та дочка без локона. Третя тітка пробанда з боку матері без локона має двох синів і одну дочку без локона. Дід пробанда по лінії матері і двоє його братів мали білі локони, а ще двоє без локонів. Прадід і прапрадід також мали білий локон над лобом. Визначити ймовірність народження дітей з білим локоном над лобом у випадку, якщо пробанд вступить у шлюб зі своєю двоюрідною сестрою, яка має цей локон.

*(Відповідь: 75%).*

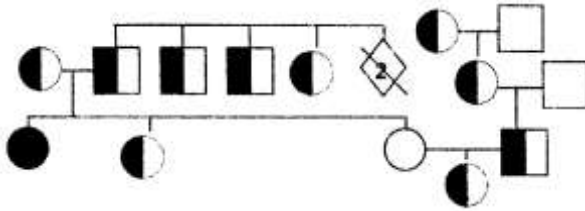
12. Молоді нормально володіють правою рукою. В сім'ї жінки було ще дві сестри, які нормально володіють правою рукою, і три брати – лівші. Матір жінки – правша, батько – лівша. У батька є сестра і брат лівші та сестра і два брати правші. Дід по лінії батька правша, бабуся – лівша. У матері жінки є два брати і сестра – всі правші. Матір чоловіка – правша, батько – лівша. Баби і діди з боку матері і батька чоловіка нормально володіли правою рукою. Визначити ймовірність народження в цій сім'ї дітей, що володіють лівою рукою.

13. Пробанд – здорова жінка. Її сестра також здорова, а два брати страждають дальтонізмом. Матір і батько пробанда – здорові. Чотири сестри матері пробанда здорові, чоловіки їх також здорові. Про двоюрідних сибсів 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 і по одній хворій сестрі; в четвертій сім'ї – одна здорова сестра. Бабуся пробанда з боку матері здорова, дід страждав дальтонізмом. З боку батька пробанда хворих дальтонізмом не відмічено. Визначити ймовірність народження у пробанда хворих дальтонізмом дітей за умови, якщо вона вийде заміж за здорового чоловіка.

14. Пробанд страждає легкою формою серпоподібноклітинної анемії. Його дружина здорова. Вона має дочку також з легкою формою анемії. Матір і батько пробанда страждали цією ж формою серпоподібноклітинної анемії, інші сибси матері та її батько здорові. У жінки пробанда є сестра, хвора на легку форму анемії, друга сестра померла від анемії. Матір і батько жінки пробанда страждали анемією, крім того відомо, що в батька було два брати і сестра з легкою формою анемії і що в сім'ї сестри батька двоє дітей померли від серпоподібноклітинної анемії.

Визначити ймовірність народження дітей з тяжкою формою анемії в сім'ї дочки пробанда, якщо вона вийде за такого ж чоловіка, як її батько.

*(Відповідь: див схему родоводу. Хвороба успадковується як утосомна ознака з неповним домінуванням. Ймовірність народження дітей тяжкою формою анемії – 25%).*



15. Пробанд має нормальні за забарвленням зуби. У його сестри зуби коричневі. У матері пробанда зуби коричневі, а у батька нормальне забарвлення. Сім сестер матері пробанда з коричневими зубами; а чотири брати – з нормальними. Одна тітка пробанда по лінії матері, яка мала коричневі зуби, вийшла заміж за чоловіка з нормальними зубами. У них троє дітей: дочка і син з коричневими зубами і дочка з нормальними. Два дядьки пробанда по лінії матері одружені з жінками без аномалії в забарвленні зубів. У одного з них два сини і дочка, у іншого – дві дочки і син. Всі вони з нормальними зубами. Коричневі зуби мав дід пробанда по лінії матері, а бабуся по лінії матері мала нормальні зуби. Два брати діда по лінії матері з нормальним забарвленням зубів. Прабабка (матір діда по лінії по лінії матері) і прапрабабка (матір цієї прабабки) мали коричневі зуби, а їхні чоловіки були з нормальним забарвленням зубів. Визначити, які діти можуть бути у пробанда, якщо він вступить у шлюб з жінкою, гетерозиготною за цією ознакою.

*(Відповідь: 50% хлопчиків з коричневим забарвленням зубів, 50% – із білими зубами. Ген коричневого забарвлення емалі зубів знаходиться в X-хромосомі і успадковується за домінантним типом).*

16. Пробанд – нормальна жінка – має п'ять сестер, дві з яких є однопляцевими близнюками, дві – двояйцеві близнюки. Всі сестри мають шість пальців на руці. Матір пробанда нормальна, батько – шестипалий, з боку матері всі предки нормальні. У батька два брати і чотири сестри – всі нормальні п'ятипалі. Бабуся по лінії батька – шестипала. У неї було дві шестипалі сестри і одна п'ятипала. Дід по лінії батька і всі його родичі нормально п'ятипалі. Визначити ймовірність народження в сім'ї пробанда шестипалих дітей за умови, якщо вона вийде за нормального чоловіка. *(Відповідь: всі будуть п'ятипалими.)*

17. Пробанд хворий на вроджену катаракту. Він одружений із здоровою жінкою, має хвору дочку і здорового сина. Батько пробанда хворий на катаракту, а матір здорова. Матір пробанда має здорову сестру і здорових батьків. Дід по лінії батька хворий, а бабуся здорова. Пробанд має по лінії батька здорових рідних тітку і дядька. Дядько одружений на здоровій жінці. Їх три сини (двоюродні брати пробанда по лінії батька) здорові. Яка ймовірність появи в сім'ї дочки пробанда хворих синів, якщо вона вийде заміж за гетерозиготного за катарактою цього типу чоловіка?

18. Пробанд нормального зросту має сестру з ахондроплазією (спадкова карликовість). Матір 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 із здоровим чоловіком. У них є син карлик. Здорова тітка від здорового чоловіка має двох хлопчиків та двох дівчинок – всі вони здорові. Дядько – карлик, одружений на здоровій жінці. У нього дві нормальні дочки й син карлик. Дід по лінії батька – карлик, бабуся – нормальна.

1) Визначити ймовірність народження карликів в сім'ї пробанда, якщо його жінка буде мати такий самий генотип, як і він сам;

2) Яка ймовірність появи карликів в сім'ї сестри пробанда, якщо вона вийде заміж за здорового чоловіка?

19. Пробанд здоровий. Батько пробанда хворий на бульозний епідермоліз. Матір та її родичі здорові. Дві сестри пробанда здорові, один брат хворий. Три дядька з боку батька та їхні діти здорові; а три дядьки та одна тітка – хворі. У одного хворого дядька від першого шлюбу є хворий син і здорова дочка, а від другого шлюбу хворі дочка й син. У іншого хворого дядька є дві здорові дочки і хворий син. У третього хворого дядьки – два хворих сини і дві хворих дочки. Бабуся по батьку хвора, а дід здоровий, здорові були три сестри та два брати бабусі. Визначити ймовірність народження хворих дітей в сім'ї пробанда за умови, що він одружиться із здоровою жінкою.

*(Відповідь: всі будуть здоровими).*

20. Пробанд страждає дефектом нігтів і колінної чашечки, а його брат нормальний. Цей синдром був у батька пробанда, а матір була здорова. Дідусь пробанда по лінії батька з синдромом, а бабуся здорова. Батько пробанда має трьох братів і чотирьох сестер, з них два брати і дві сестри з синдромом дефекта нігтів і колінної чашечки. Хворий дядько по лінії батька одружений на здоровій жінці і має двох дочок і сина. Всі вони здорові. Визначити ймовірність народження дітей із захворюванням в родині пробанда, якщо його дружина не буде страждати зазначеними дефектами.

## РОЗДІЛ ІV. НЕЗАЛЕЖНЕ КОМБІНУВАННЯ ОЗНАК. ДИГІБРИДНЕ ТА ПОЛІГІБРИДНЕ СХРЕЩУВАННЯ

Розв'язування задач на дигібридне і полігібридне схрещування ускладнюється тим, що генетичному аналізу підлягає дві, три або більше пар ознак. У гібридних особин за декількома парами алелів збільшується кількість можливих сполучень генів в гаметах та кількість сполучень гамет жіночих і чоловічих особин при статевому розмноженні.

В генетиці прийнято позначати алелі різних генів різними літерами. Наприклад, дигетерозиготу позначають  $AaBb$ , тригетерозиготу  $AaBbCc$  і т.д.

Інтерпретуючи III-й закон Менделя (закон незалежного комбінування генів), можна сказати, що будь-яке полігібридне схрещування може розглядатися, як (моногібридне схрещування)<sup>n</sup>, де  $n$  – кількість пар ознак, що вивчаються.

Якщо взяти за основу розщеплення при моногібридному схрещуванні двох гетерозигот, то кількість типів гамет дорівнюватиме 2, кількість можливих комбінацій гамет в зиготі – 4, кількість класів розщеплення за генотипом – 3, за фенотипом – 2. (див. решітку Пенета)

$$P: \text{♀}Aa \times \text{♂}Aa$$

F<sub>1</sub>:

♀	♂	A	a
A		AA	Aa
a		Aa	aa

При полігібридному схрещуванні аналіз успадкування проводиться за кожною парою ознак окремо. Тоді кількісні співвідношення класів за фенотипом при  $n$ -ній кількості пар ознак та повному домінуванні дорівнюватимуть  $(3:1)^n$ , кількість типів гамет –  $2^n$ , кількість можливих комбінацій гамет –  $4^n$ , кількість класів розщеплення: за фенотипом  $2^n$ , за генотипом  $3^n$  (табл.4)

**Таблиця 4. Кількість класів гібридних особин за фенотипом і генотипом та характер розщеплення в  $F_2$  при різній кількості пар ознак і повному домінуванні**

Схрещування	Кількість альтернативних пар ознак	Кількість типів гамет	Кількість можливих комбінацій гамет в зиготі	Кількість класів розщеплення		Кількісне співвідношення класів за фенотипом
				за фенотипом	за генотипом	
моногібридне	1	$2^1=2$	$4^1=4$	$2^1=2$	$3^1=3$	3:1
дигібридне	2	$2^2=4$	$4^2=16$	$2^2=4$	$3^2=9$	9:3:3:1
тригібридне	3	$2^3=8$	$4^3=64$	$2^3=8$	$3^3=27$	27:9:9:9:3:3:3:1
тетрагібридне	4	$2^4=16$	$4^4=256$	$2^4=16$	$3^4=81$	$(3:1)^4$
полігібридне	n	$2^n$	$4^n$	$2^n$	$3^n$	$(3:1)^n$

#### 4.1. Методика розв'язання задач

Для розв'язання генетичних задач з даної теми пропонуємо користуватися наступними правилами.

##### Правило 1.

Кількість типів гамет, що утворює гібридна особина, дорівнюватиме  $2^n$ , де  $n$  – ступінь гетерозиготності особин. Наприклад, для дигетерозиготи кількість типів гамет складатиме  $2^2=4$ , для три гетерозиготи  $2^3=8$  і т.д.

##### Правило 2.

Розщеплення в  $F_2$  за фенотипом (для фенотипів, які мають домінантні алелі у фенотиповому радикалі), дорівнюватиме  $3^n$ , де  $n$  – кількість домінантних алелів. Наприклад, для радикала  $A-bb$  коефіцієнт розщеплення дорівнюватиме  $3^1=3$ , для  $A-B$  – відповідно  $3^2=9$  і т.д. Фенотип, який у фенотиповому радикалі не має жодного домінантного алеля (наприклад,  $aabb$ ) зустрічається з частотою, яка дорівнює 1.

##### Правило 3.

Розщеплення в потомстві гібрида  $F_2$  за генотипом визначають, користуючись правилом:

В  $F_2$  будь-яка гомозиготна форма має частоту зустрічальності, яка дорівнює одиниці. Гетерозигота має коефіцієнт, який дорівнює  $2^n$ , де  $n$  – ступінь гетерозиготності (кількість генів у гетерозиготному стані).

Користуючись цими правилами, можна легко визначити всі генотипи особин  $F_2$  в досліді за дигібридного схрещування рослин гороху, проведеного Менделем:

Фенотиповий	9A-B-	3A-bb	3aaB-	1aabb
-------------	-------	-------	-------	-------

радикал				
Фенотипи рослин	жовті гладкі	жовті зморщені	зелені гладкі	зелені зморшкуваті
Генотипи	1AABB 2AaBB 2AABb 4AaBb	1AAbb 2Aabb	1aaBB 2aaBb	1aabb

Можна підійти до розв'язання задач на полігібридне схрещування ще простіше, знаючи лише ймовірності появи тих чи інших генотипів або фенотипів за моно гібридного схрещування.

За статистикою, для розрахунку ймовірності співпадання двох незалежних одне від одного явищ треба знайти добуток ймовірностей кожного з них. Отже, для розрахунку ймовірності появи особин з усіма рецесивними ознаками за дигібридного схрещування знаходять добуток ймовірностей появи рецесивів при схрещуванні двох моно гетерозигот:  $1/4 \times 1/4 = 1/16$ , за тригібридного схрещування:  $1/4 \times 1/4 \times 1/4 = 1/64$

Для розрахунку кількості дигетерозиготних особин від схрещування дигібридів слід знайти добуток ймовірності одержання моногібридів при мого гібридному схрещуванні:  $1/2 \times 1/2 = 1/4$ .

Таким чином можна розрахувати ймовірність появи всіх можливих комбінацій генотипів і фенотипів від схрещування полігібридів будь-якого ступеню.

Найчастіше зустрічаються задачі наступних типів:

- за генотипом батьків або фенотипом батьківських форм визначити генотип і фенотип гібридного потомства;
- за розщепленням по фенотипу потомства визначити генотип і фенотип батьківських форм.

Розглянемо приклади розв'язання задач різних типів.

## 4.2. Приклади розв'язання задач різних типів

### Задача.

За схрещування двох форм ротиків – з білими та червоними квітками – все потомство має рожеві квітки. Схрещування рослин з червоними квітками й нормальним віночком та рослин з рожевими квітками й радіальним віночком дає лише рослини з нормальним віночком, але половина з них рожеві, половина червоні. Рослини з рожевими квітками і нормальним віночком самозапильються. Яку частину потомства складатимуть форми з рожевими квітками й нормальним віночком, а яку – білі з радіальним віночком?

Дано:

Розв'язання  
Існує декілька способів



А – ген червоного кольору квіток  
 а – ген білого кольору квіток  
 В – ген нормальної форми  
 б – ген радіальної форми  
 АА – ервоні квіткі  
 аа – білі квіткі  
 Аа – рожеві квіткі  
 Р: ААВВ × Ааbb  
 F<sub>1</sub>: 1ААВb:1АаВb

розв'язання такого типу задач.

**1-ий спосіб.** На основі аналізу генотипов і фенотипов F<sub>1</sub> складаємо схему схрещування  
 Р: ♀ААВВ × ♂Ааbb

F<sub>1</sub>

♀ \ ♂	♂	Ab	ab
♀	AB	ААВb	АаВb

F<sub>2</sub> - ?

расщ. за генотипом: 1ААВb : 1АаВb

расщ. за фенотипом: черв. норм. рожеві норм.

За умовами задачі рожевоквіткові рослини з нормальним віночком самозапилюються: Р: ♀АаВb × ♂АаВb

F<sub>2</sub>

♀ \ ♂	♂	AB	aB	Ab	ab
♀	AB	ААВВ	ААВb	ААВb	АаВb
	ab	АаВВ	aaВВ	АаВb	АаВb
	Ab	ААВb	АаВb	ААbb	Аabb
	ab	АаВb	aaВb	Аabb	aabb

Розщ. за фенотипом:

F<sub>2</sub>: 3/16 ААВ- : 6/16 АаВ- : 3/16 ааВ- : 2/16 Аabb : 1/16 ААbb : 1/16 аabb  
 черв. рожеві білі рожеві червоні білі  
 норм. норм. норм. рад. рад. рад.

Відповідь: 6/16 (або 3/8) рослин мають рожеві квіткі з нормальним віночком (АаВ-), 1/16 рослин – білі радіальні квіткі (aabb).

## 2-ий спосіб

Цю задачу значно швидше можна розв'язати, користуючись теорією ймовірностей (див. розділ 3.1). Щоб скористатися даним способом, треба знайти ймовірність появи особин з необхідним фенотипом за моногібридного схрещування для кожної пари ознак окремо, а потім розрахувати добуток цих ймовірностей.

Отже, аналізуємо ймовірність появи рослин з рожевими квітками при схрещуванні двох моногетерозигот:

F<sub>1</sub>: Аа × Аа

$$F_2: IAA : \underline{2Aa} : Iaa$$

$$1/4 : 1/2 : 1/4$$

Ймовірність появи рослин з нормальним віночком дорівнює  $3/4$ :

$$F_1: Bb \times Bb$$

$$F_2: \underline{1BB} : \underline{2Bb} : 1bb$$

$$3/4 : 1/4$$

Таким чином, ймовірність появи рослин з рожевими квітками й нормальним віночком дорівнює  $: 1/2 \times 3/4 = 3/8$ .

Аналогічно знаходимо ймовірність появи рослин з білими квітками й радіальним віночком:  $1/4 \times 1/4 = 1/16$ .

### 3-ий спосіб

Враховуючи, що за незалежного успадкування генів кожна пара ознак підлягає закону розщеплення незалежно від інших пар, запишемо:

(3 нормальних + 1 радіальний) x (1 червона x 2 рожеві x 1 біла) = 3 нормальних червоних + 6 нормальних рожевих + 3 нормальних білих + 1 радіальна червона + 2 радіальні рожеві + 1 радіальна біла.

### Задача

У морських свинок кудлата шерсть і чорне забарвлення – домінантні ознаки, гладка шерсть і біле забарвлення – рецесивні. За схрещування кудлатої чорної свинки з гладкошерстною чорною отримано 28 гладкошерстних чорних, 30 кудлатих чорних, 9 гладкошерстних білих, 11 кудлатих білих. Визначити генотипи батьків.

Дано:

A – ген кудлатої шерсті

a – ген гладкої шерсті

B – ген чорного забарвл. шерсті

b – ген білого забарвл.

P: ♀ A-B- x ♂ aaB-

n F<sub>1</sub>: 28 aaB- ; 30 A-B-;

9 aabb; 11A-bb.

Розв'язання

Аналізуємо розщеплення за кожною ознакою окремо.

За формою шерсті розщеплення за фенотипом відбувається у співвідношенні

1:1

41 A- : 37 aa ≈ 1: 1

Таке розщеплення спостерігається за аналізуючого схрещування: Aa x aa.

Аналізуємо розщеплення за фенотипом другої пари ознак : 58 B- : 20 bb ≈ 3 : 1

F<sub>1</sub> – ?

P – ?

Таке розщеплення відбувається, якщо обидві батьківські форми є гетерозиготними за даною ознакою, тобто Bb x Bb. На основі аналізу генотипів і фенотипів F<sub>1</sub> та їх розщеплення (A : aa=1:1 ; B:bb=3 : 1) передбачаємо, що генотипи P: ♀ AaBb ; ♂ aaBb

Складаємо схему схрещування: P: ♀ AaBb x ♂ aaBb

F <sub>1</sub>			
♀	♂	aB	ab

AB	AaBB	AaBb
AB	aaBB	aaBb
Ab	AaBb	Aabb
ab	aaBb	aabb

Розщепл. за генотипом  $F_1$  : 3 A-B- : 3 aaB- : 1Aabb : 1 aabb

Розщепл. за фенотипом кудл. ч. : глад. ч. : кудл. б. : гладк. б.

*Відповідь: генотип батьків AaBb та aaBb.*

### 4.3. Задачі для самостійного розв'язання

1. У кроля білий колір шерсті є рецесивним по відношенню до сірого, а хвиляста шерсть домінує над гладкою. Сірий хвилястий кроль схрещується з сірою гладкою самкою. В потомстві одержані білі хвилясті кролі. Як провести схрещування далі, щоб одержати побільше білих хвилястих кролів? Як перевірити чистоту лінії білих хвилястих кролів першого покоління?

2. При схрещуванні рослин пшениці, які мають щільний остистий колос, з рослиною, що має рихлий безостий колос, в  $F_1$  всі рослини мають безосте колосся середньої щільності. В  $F_2$  одержали безостих з щільним колосом – 58, безостих з колосом середньої щільності – 125, безостих з рихлим колосом – 18, остистих з колосом середньої щільності – 40, остистих з щільним колосом – 18, остистих з рихлим колосом – 21.

Як успадковуються ознаки, що вивчаються? Які генотипи батьківських рослин?

*(Відповідь: P : ознака остистості успадковується за повним домінуванням, щільності колоса – за неповним aaBB x AAbb  $F_1$ :AaBb;  $F_2$  за фенотипом: (3/4 безостий; 1/4 остистий) x (1/4 щільний x 2/4 середньої щільності : 1/4 рихлий)=3:6:3:1:2:1).*

3. Посіяна жовта зморшкувата горошина невідомого походження. Яке може бути за формою та забарвленням насіння на рослині, що виростає з цієї горошини? з зеленої зморшкуватої?

4. Від схрещування двох сортів полуниці, один з яких має вуса і червоні плоди, а у другого ягоди білі і вуса відсутні, рослини мають вуса рожеві плоди. Чи можна вивести сорт з рожевими ягодами і безвусий?

5. У томатів червоне забарвлення плоду визначається домінантним геном R, жовте – r, нормальний зріст рослини – D, карликовий – d. Є сорти жовтоплідний нормальний і червоноплідний карликовий.

1) Як з цим вихідним матеріалом більш доцільно одержати гомозиготні форми: червоноплідну нормальну і жовтоплідну карликову? Яку одержати легше? (Відповідь: Спочатку схрестити сорти, потім одержати гібриди  $F_2$ . Одержати легше жовтоплідну карликову).

2) Яке потомство слід очікувати від схрещування гетерозиготних томатів з червоними плодами нормального зросту з рослинами, гомозиготними за обома рецесивними ознаками? (Відповідь: червоноплідні нормальні : червоноплідні карликові : жовтоплідні нормальні : жовтоплідні карликові у співвідношенні 1:1:1:1)

6. У гороха жовтий колір насіння  $A$  домінує над зеленим  $a$ , гладка поверхня насіння  $B$  – над зморшкуватою  $b$ .

а) гомозиготний жовтий гладкий горох схрещували з зеленим зморшкуватим. Визначити фенотип і генотип потомства в першому і другому поколіннях.

б) дигетерозиготних горох з жовтими гладкими насінинами схрещений з зеленим гетерозиготним зморшкуватим. Яке розщеплення за фенотипом і генотипом очікується в потомстві?

в) гетерозиготний зморшкуватий жовтий горох схрещений з зеленим гетерозиготним за гладкою формою насіння. Визначити розщеплення за фенотипом і генотипом в першому поколінні.

7. Рослина флокса з білими ( $W$ ) воронкоподібними ( $s$ ) квітками схрещена з рослиною, яке має кремові ( $w$ ) плоскі ( $S$ ) квітки. З 76 потомків 37 мають квітки білі плоскі і 39 кремові плоскі. Визначити генотипи вихідних рослин.

8. У запашного горошку високий зріст ( $T$ ) домінує над карликовим ( $t$ ), зелене забарвлення бобів ( $G$ ) - над жовтим ( $g$ ), а кругла форма насіння ( $R$ ) – над зморшкуватою ( $r$ ). Дати аргументовану відповідь на питання:

а) яке буде потомство наступних схрещувань (наведені генотипи батьків):

$TTGgRr \times ttGgrr$                        $ttggRr \times TtGgrr$   
 $TTGGRr \times TtGgRr$                        $TtGgrr \times ttGgRr$

б) яким буде фенотип гібридів  $F_1$  від схрещування гомозиготного карликового запашного горошка з зеленими зморшкуватими насінинами з гомозиготним високим жовтозерним круглонасінним горошком? Які гамети будуть утворюватись у гібрида  $F_1$ ? Яке буде розщеплення в  $F_2$  та обох  $F_b$ ?

9. При схрещуванні гороха, який має жовті і гладкі насінини, з такою самою рослиною одержано потомство в співвідношенні: жовтих гладких – 3, жовтих зморшкуватих – 1. Ці жовті зморшкуваті рослини знову схрещувалися з жовтими гладкими. В їх потомстві відбулося розщеплення на жовті гладкі і жовті зморшкуваті у відношенні 1:1. Одер-

жані після другого схрещування жовті зморшкуваті рослини знову схрещувалися з жовтими гладкими. це потомство дало розщеплення на 3 жовтих гладких, 3 жовтих зморшкуватих, 1 зелений гладкий, 1 зелений зморшкуватий. Визначити генотипи батьків і потомства за всіма трьома схрещуваннями.

10. При запиленні квіток зеленого гладкого гороха пилком жовтого зморшкуватого в потомстві одержані жовті гладкі, жовті зморшкуваті, зелені гладкі, зелені зморшкуваті плоди в рівних кількостях. Визначити генотипи батьків. (Відповідь:  $aaBB \times Aabb$ ).

11. У вівса нормальний зріст домінує над гігантизмом, а рання стиглість – над пізньостиглістю. Ознаки успадковуються незалежно. Схрещуються ранньостигла рослина з нормальним ростом з пізньостиглою гігантом. Вихідні рослини гомозиготні. В якому поколінні і з якою ймовірністю з'являться гомозиготні ранньостиглі гіганти?

12. У морської свинки кудлата шерсть визначається геном  $R$ , гладка –  $r$ , коротка –  $L$ , довга –  $l$ , чорне забарвлення шерсті –  $B$ , біле –  $b$ .

Яке буде  $F_1$  і  $F_2$  при схрещуванні свинок, які розрізняються за алелями всіх трьох генів? Що одержимо при схрещуванні гібрида  $F_1$  з гладко- та довгошерстною білою свинкою?

13. Якими ознаками будуть володіти гібридні томати, одержані в результаті запилення червоноплідних рослин нормального зросту пилком жовто плідних карликових, якщо відомо, що червоний колір плодів – домінантна ознака, карликовість – рецесивна, всі вихідні рослини гомозиготні і гени обох ознак знаходяться в різних хромосомах. Який результат буде при подальшому схрещуванні гібридів?

14. У собак чорне забарвлення шерсті домінує над коричневим, а пегость рецесивна по відношенню до суцільного забарвлення. Який колір шерсті слід очікувати у цуценят, що народилися від коричневого батька і чорно-пегої матері? Чи з'являться коричнево-пегі цуценята у чорних батьків? Вказати всі можливі сполучення гомо- і гетерозигот у батьківських особин.

15. Курка і півень чорні чубаті. Від них одержано 13 курчат: 7 чорних чубатих, 3 бурих чубатих, 2 чорних без чуба, 1 бурий без чуба. Визначити генотипи півня і курки. (Відповідь:  $P:AaBb \times AaBb$ ).

16. Гомозиготну рослину з пурпуровими квітками і коротким стеблом схрестили з гомозиготною рослиною з червоними квітками і довгим стеблом. Гібриди  $F_1$  мали пурпурові квітки і коротке стебло. При аналізуючому схрещуванні  $F_1$  з подвійною гомозиготою за рецесивними генами були одержані наступні нащадки:

52 – з пурпуровими квітками і коротким стеблом

47 – з пурпуровими квітками і довгим стеблом

49 – з червоним квітками і коротким стеблом

45 – з червоними квітками і довгим стеблом

Дати пояснення результатам.

17. У флоксів біле забарвлення квіток визначається геном  $W$ , кремове –  $w$ , плоский вінчик –  $S$ , воронкоподібний –  $s$ . Рослину з білими воронкоподібними квітками схрещено з рослиною, яка мала кремові плоскі квітки. В потомстві  $1/4$  рослин має квітки білі плоскі,  $1/4$  – білі воронкоподібні,  $1/4$  – кремові плоскі і  $1/4$  – кремові воронкоподібні. Визначити генотипи вихідних рослин.

18. Від схрещування гладкошерстного кота сірого забарвлення з чорною пухнастою кішкою народилося 5 кошенят, всі сірі гладкошерстні. Які гамети будуть утворюватись у кошенят  $F_1$  у випадку гомозиготності обох батьків? Які фенотипи і в якому співвідношенні найбільш ймовірно очікувати в  $F_2$ , якщо схрестили особин  $F_1$  родин з одним? Яке розщеплення можна одержати, якщо схрестити сина з матір'ю?

19. У мишей ген чорного забарвлення домінує над алелем коричневого кольору, ген довгих вух – над алелем коротких вух, ген жорсткої шерсті над алелем м'якої шерсті. Чорна довговуха миша з жорсткою шерстю схрещена з коричневою коротковухою м'якошерстною особиною. Визначити фенотип і генотип потомства першого і другого покоління.

20. Перед судово-медичним експертом поставлене завдання в'ясувати, рідний чи прийомний син в сім'ї подружжя. Дослідження крові всіх трьох членів сім'ї показало наступні результати: у жінки резус-позитивна кров групи II, у її чоловіка – резус-негативна I групи, у дитини резус-позитивна кров I групи. Яке заключення повинен дати експерт і на чому воно базується?

21. У людини карі очі домінують над блакитними, а здатність краще володіти правою рукою – над лівою. Чи може народитися лівша з карими очима і II-ою групою крові у карокої правши з II групою крові, яка вийшла заміж за правшу з карими очима і гомозиготним за III-ю групою крові? Відповідь пояснити.

22. Полідактилія, короткозорість і карий колір очей успадковуються як домінантні ознаки. Гени, що визначають ці ознаки, містяться в різних парах хромосом. Яка ймовірність народження карокої дитини без аномалій, якщо обоє батьків гетерозиготні за всіма трьома генами? (Відповідь:  $3/64$ ).

23. У собак довжина шерсті, форма вух і присутність плям на тілі успадковуються незалежно один від одного. Довга шерсть ( $l$ ) є рецесивною ознакою по відношенню до короткої ( $L$ ), висяче вухо ( $H$ ) домінує над стоячим ( $h$ ), присутність білих плям на тілі ( $S$ ) – над їх відсутністю. Схрестили гетерозиготних короткошерстних з білими плямами і стоя-

чими вухами собак і гетерозиготних висловухих з білими плямами собак, які мають довгу шерсть. Одержали 40 цуценят.

Скільки різних типів гамет може утворювати кожна з батьківських тварин?

Скільки різних генотипів буде спостерігатися у цуценят від такого схрещування?

Скільки різних фенотипів може зустрічатися серед цуценят?

Яка частина висловухих потомків буде мати коротку шерсть і білі плями на тілі? Яка частина цуценят буде довгошерстними?

24. Короткозорий (домінантна ознака) лівша (рецесивна ознака) вступає в шлюб з жінкою, нормальною за обома ознаками. Відомо, що у обох подружжя були брати і сестри, які хворіли на фенілкетонурію, але самі подружжя нормальні у відношенні цієї аномалії. В їхній сім'ї перша дитина була нормальна щодо всіх трьох ознак, друга була короткозорою лівшею, а третя опинилася хворою на фенілкетонурію. Визначити генотипи всіх трьох дітей.

25. У людини карі очі домінують над блакитними, а здатність краще володіти правою рукою домінує над ліворукістю, причому гени обох ознак знаходяться в різних парах хромосом. Кароокий чоловік – лівша жениться на блакитноокий жінці, яка краще володіє правою рукою, ніж лівою. У них народилась блакитноока дитина лівша. Визначити генотипи матері, батька і дитини. (Відповідь: *Генотипи батьків:  $Aabb \times aaBb$ , дитини –  $aabb$* ).

26. У людини глухонімота успадковується як аутосомна рецесивна ознака, а подагра – як домінантна. Обидва гени знаходяться в різних парах хромосом. Визначити ймовірність народження глухонімої дитини із схильністю до подагри у глухонімої матері, яка страждала подагрою, і чоловіка з нормальним слухом і мовою, хворого на подагру.

27. Довгошерстний сибірський кіт з мармуровим малюнком і білими плямами схрестився з короткошерстною кішкою без малюнка на тілі. В  $F_1$  всі кошенята опинилися короткошерстними без мармурового малюнка, але з білими плямами на тілі. При схрещуванні однієї з кішок ( $F_1$ ) з короткошерстним, без мармурового малюнка і без білих плям котом протягом декількох років було одержано наступне розщеплення: 26 кошенят без малюнка, але з білими плямами, 27 – без малюнка і без плям, 9 – мармурових з білими плямами, 8 – мармурових без білих плям, при чому всі кошенята були короткошерстними. Визначити генотип всіх особин, якщо відомо, що у котів ген  $S$  визначає присутність білих плям на тілі, рецесивний алель  $s$  – їх відсутність,  $T$  – відсутність малюнка, його рецесивний алель  $t$  – мармуровий малюнок на тілі. (Відповідь:  $F_1: LlSsTt \times LLssTt$ ).

28. У людини лисість домінує над відсутністю лисини (у чоловіків) і рецесивна у жінок. Кароокій лисий чоловік, батько якого не мав лисини і був блакитнооким, оженився на блакитноокій жінці, батько і всі брати якої були лисі. Визначити найбільш ймовірний фенотип дітей від цього шлюбу.

29. У людини синдактилія (зрощення пальців) та глаукома (порушення відтоку внутріочної рідини, що призводить до втрати зору), визначається аутосомними домінантними генами, локалізованими в різних парах хромосом. Жінка, яка страждала глаукомою, вийшла заміж за чоловіка з синдактилією. Матір жінки, як і більшість її родичів, страждала глаукомою, а батько був здоровим щодо цього захворювання. У матері чоловіка була синдактилія, а всі родичі по лінії батька не мали цієї аномалії. Визначити ймовірність народження дитини з двома захворюваннями і дитини з одним з цих спадкових порушень. (Відповідь: 1/4; 1/2).

30. У фігурних гарбузів ген  $W$  зумовлює біле забарвлення плодів, його рецесивний алель – жовте, ген  $D$  – дископодібну форму плода, а  $d$  – кулеподібну. Які гамети утворюються рослинами гарбуза з приведеними нижче генотипами і якими будуть форма і забарвлення плодів в потомстві від кожного із схрещувань:

$WWdd \times WwDD$	$WwDd \times wwdd$
$WwDd \times WwDd$	$WwDD \times wwdd$
$WwDd \times Wwdd$	

31. Гомозиготна дрозюфіла чорного кольору із загнутими крилами і без щетинок схрещена з дрозюфілою дикої лінії (сірого кольору з нормальними крилами і щетинками). Визначити, які будуть гібридні особини і яке потомство буде одержано в результаті схрещувань між собою цих гібридів? Відомо, що рецесивні гени чорного забарвлення, загнутих крил і відсутності щетинок знаходяться в різних парах хромосом (мутації *black*, *bert*, *spineless*). Скласти схему аналізуючого схрещування.

32. У кур біле оперіння ( $I$ ) домінує над забарвленим ( $i$ ), опереність гомілки ( $F$ ) – над голоногістю ( $f$ ), горіхоподібний гребінь ( $R$ ) – над листоподібним ( $r$ ). Схрещена гомозиготна біла з опереними ногами і горіхоподібним гребенем курка з забарвленим голоногим з листоподібним гребінцем півнем. Яка частина білих оперених з горіхоподібним гребінцем нащадків  $F_2$  від цього схрещування не дасть розщеплення при схрещуванні із забарвленими голоногими з простим гребінцем птахами?

33. У плодів кавуна кірка може бути зелена або смугаста, форма плода – довга або кругла. Гомозиготна рослина з довгими зеленими плодами схрещена з гомозиготною рослиною, яка має круглі смугасті плоди. В  $F_1$  плоди круглі зелені. Яке буде потомство при схрещуванні сортів з круглими зеленими та довгими зеленими плодами?



34. У дрозифілі відсутність очей (*eyeless*) успадковується як рецесивна ознака, а нормальна будова крил домінує над зачатковими (*vestigial*). Муха без очей з нормальними крилами, гетерозиготна за геном зачаткових крил, схрещена з мухою, гетерозиготною за геном *eyeless*, яка має нормальні очі і зачаткові крила. Визначити генотип і фенотип потомства.

35. Самець морської свинки, який має довгу (*a*) чорну (*B*) кудлату (*C*) шерсть, схрещений із самкою, шерсть якої кудлата коротка і біла. В декількох пометах цієї пари одержано 15 кудлатих короткошерстних чорних свинок, 13 кудлатих довгошерстних чорних, 4 гладких короткошерстних чорних і 5 гладких довгошерстних чорних. Визначити генотипи батьків. Яке очікується співвідношення різних класів? Доказати статистично, чи відповідає розщеплення очікуваному співвідношенню.

36. У фігурних гарбузів ген *W* зумовлює біле забарвлення плодів, його рецесивний алель – жовте, ген *D* – дископодібну форму плода, *d* – кулеподібну. Схрещується рослина, гомозиготна за жовтим забарвленням і дископодібною формою плодів, з рослиною, гомозиготною за білим забарвленням та кулеподібною формою плодів. Якими будуть забарвлення і форма плодів: у рослин першого покоління?, в потомстві від зворотнього схрещування рослин цього покоління з жовтим дископодібним батьком?, з білим кулеподібним гарбузом?

37. При схрещуванні дрозифілі з нормальними очима та крилами з мухою без очей, яке має нормальні крила, в потомстві одержано мух:  $\frac{3}{8}$  з нормальними очима і крилами,  $\frac{3}{8}$  – без очей з нормальними крилами,  $\frac{1}{8}$  – з нормальними очима і зачатковими крилами,  $\frac{1}{8}$  – без очей з зачатковими крилами. Визначити генотипи батьківських особин.

38. У курей чорне забарвлення оперіння визначається геном *E*, буре – *e*, присутність чуба – *C*, відсутність – *c*. Бурий чубатий півень схрещений з чорною куркою без чуба. В їх потомстві половина бурих чубатих і половина чорних чубатих. Які генотипи батьків – півня і курки? Навести схему схрещувань.

39. Відомо, що рослина має генотип *AaBbCc*.

а) скільки типів гамет може продукувати ця рослина?

б) скільки фенотипів і в якому співвідношенні може бути отримано при самозапиленні цієї рослини, якщо припустити повне домінування за всіма парами алелів і незалежне успадкування?

в) скільки генотипів і в якому співвідношенні буде представлено в потомстві від самозапилення цієї рослини?

40. У собак чорний колір шерсті домінує над кавовим, а коротка шерсть – над довгою. Обидві пари алелів не зчеплені. 1) Яку частину чорних короткошерстних цуценят можна очікувати від схрещування двох особин, гетерозиготних за обома ознаками? 2) Мисливець купив

собаку чорного з короткою шерстю і хоче впевнитись, що він не несе алелів кавового кольору та довгої шерсті. Якого партнера за фенотипом і генотипом потрібно підібрати, щоб перевірити генотип купленого собаки? (Відповідь: 1) 9/16 або 56,2%; 2) треба схрестити купленого собаку з кавовим довгошерстним).

41. Рослина гарбуза з білими дископодібними плодами, яка схрещена з рослиною, що має білі кулеподібні плоди, дає в потомстві 38 рослин з білими дископодібними, 36 – з білими кулеподібними, 13 – з жовтими дископодібними і 12 – з жовтими кулеподібними плодами. Визначити генотипи батьківських рослин.

42. Схрещуються особини  $AaBbCcDd$  та  $AabbCCDd$ . Яку частину в потомстві складуть особини з генотипом:  $AABbCcdd$ ,  $aaBbCcDd$ ,  $AaBbCcdd$ ?

43. У шкідливої комахи – комара (*Culex*) ген *Kuf* – вкорочення крила імаго – розміщений в третій групі зчеплення, а ген рубинових очей (*ru*) лежить в другій хромосомі. Схрещували комарів з короткими крилами, але нормальними очима, з самками, які мали рубинові очі. В якому поколінні і з якою ймовірністю в потомстві від цього схрещування з'являться особини з рубиновими очима і вкороченими крилами?

44. Серпоподібноклітинна анемія і таласемія (анемія Кулі) успадковуються як дві ознаки з неповним домінуванням; гени не зчеплені між собою і знаходяться в аутозомах. У гетерозигот за серпоподібноклітинною анемією, так само, як і у гетерозигот за таласемією, захворювання не має чітко вираженої клінічної картини, але в усіх випадках носії стійкі до малярії. У подвійних гетерозигот (дигібридів за обома парами ознак) розвивається мікродрепаноцитарна анемія (В.П.Єфроїмсон, 1968). Гомозиготи за серпоподібноклітинною анемією і таласемією вмирають у дитинстві. Визначити ймовірність народження зовсім здорових дітей в сім'ї, де один з батьків гетерозиготний за серпоподібноклітинною анемією, але нормальний за таласемією, а другий – гетерозиготний за таласемією але нормальний у відношенні серпоподібноклітинної анемії.

45. Батьки мають II та III грипи крові. У них народилася дитина з I групою крові і хвора на серпоподібноклітинну анемію (успадкування аутосомне з неповним домінуванням, не зчеплене з групами крові). Визначити ймовірність народження хворих дітей з IV групою крові.

46. У пекарських дріжджів є ауксотрофні форми, нездатні синтезувати аденін або лізін. За схрещування двох таких форм диплоїдний гібрид буває прототрофом, тобто він здатний синтезувати обидві необхідні сполуки. Опишіть результати тетрадного аналізу такого гібрида.

47. Дві клітини евглени зливаються в одну диплоїдну спору. Одна клітина має очко-стигму і жовтий хроматофор, друга не має стигми, але

хроматофор у неї зелений. Яке потомство і в якому співвідношенні слід очікувати при проростанні цієї спори? Зверніть увагу, що евілени гаплоїдні.

48. Схрещуються особини  $AaBbCcEe$  та  $AaBbCCee$ . Яку частину потомства складуть особини генотипу  $AabbCCee$ ,  $aabbccce$ ,  $AaBBCCee$ ?

49. У великої рогатої худоби ген комолості (відсутність рогів) домінує над рогатістю, а чале забарвлення шерсті формується як проміжна ознака при схрещуванні білих і червоних тварин. 1) Визначити ймовірність народження телят схожими на батьків від схрещування гетерозиготного комолого чалого бика з такою ж самою коровою. 2) За схрещування комолого чалого бика з рогатою чалою коровою народилося рогате чале теля. Потім цей бик схрещувався з рогатою червоною, рогатою білою, комолою чалою, комолою білою, комолою червоною коровами. Від усіх схрещувань телята були рогатими чалими. Визначити генотипи бика і всіх шести корів, що з ним схрещувалися. (Відповідь: 1)  $6/16$  або  $37,5\%$ ; 2)  $A$  – ген комолості;  $a$  – ген рогатості;  $B$  – ген червоної масті;  $b$  – ген білої масті;  $Bb$  – чала масть. Генотип бика  $AaBb$ , корів:  $aabB$ ,  $aabb$ ,  $aaBB$ ,  $AaBb$ ,  $AaBB$ ,  $Aabb$ ).

50. У дурмана пурпурне забарвлення квіток ( $P$ ) домінує над білим ( $p$ ), а колючі насінні коробочки ( $S$ ) – над гладкими ( $s$ ). Пурпурно квіткова гладка рослина, схрещена з білоквітковою колючою, дала 320 пурпурно-квіткових колючих і 312 пурпурноквіткових гладких. Визначити фенотипи й генотипи нащадків, одержаних від схрещування цих двох генотипів  $F_1$  між собою.

## РОЗДІЛ V. АНАЛІЗ ВІДХИЛЕНЬ ВІД МЕНДЕЛІВСЬКИХ ФОРМУЛ РОЗЩЕПЛЕННЯ

Успадкування здійснюється у відповідності із менделівськими формулами розщеплення, якщо:

- 1) гени локалізуються в різних хромосомах або на досить значній відстані в одній хромосомі;
- 2) різні типи гамет утворюються в мейозі в однакових співвідношеннях (рівноймовірно);
- 3) генетично різні типи зигот і відповідні генотипи виникають і виживають з однаковою вірогідністю;
- 4) функція генів проявляється повністю, отже спостерігається повна експресивність і повна пенетрантність ознак;
- 5) спостерігається повна домінантність;
- 6) досліди проводяться на великій вибірці.

Всі відхилення у співвідношенні фенотипових класів серед нащадків  $F_2$  можна поділити на дві групи:

- відхилення, що спостерігаються за незалежного менделівського успадкування (розщеплення за генотипом не змінюється);
- відхилення, що пояснюються особливостями успадкування окремих генів (зчеплене успадкування, зчеплене зі статтю, нехромосомне успадкування тощо).

Розглянемо першу групу відхилень.

### **5.1. Відхилення, що спостерігаються за незалежного успадкування ознак (розщеплення за генотипом не змінюється)**

Незалежне успадкування генів може супроводжуватись відхиленням в розщепленні ознак у  $F_2$  в порівнянні з класичними формулами 3:1, 9:3:3:1 і т.п. При цьому розщеплення за генотипом, як правило, не змінюється. В основі відхилень у розщепленні за фенотипом найчастіше лежать:

- a) статистичні причини
- b) диференційна смертність різних генотипів
- v) особливості взаємодії окремих генів

a) **Відхилення, що пояснюються статистичними причинами**, найчастіше зв'язані з малою вибіркою. Об'єктивно визначитись, наскільки отриманий в досліді результат відповідає формулі менделівського розщеплення, допомагає статистичний метод обробки цифрових даних  $\chi^2$  ( $x_i$  – квадрат).

$\chi^2$  визначають за формулою:

$$\chi^2 = \Sigma \frac{(p-q)^2}{q};$$

де  $p$  – фактична кількість особин у кожному фенотиповому класі;  
 $q$  – теоретично розрахована кількість особин у цьому класі за формулою менделівського розщеплення,  $\Sigma$  - сума показників всіх класів.

За значенням  $\chi^2$  у відповідній таблиці знаходять показник вірогідності  $p$ . Якщо  $p < 0,05$ , то відхилення від класичних менделівських формул вважають випадковими.

Таблиця значень  $\chi^2$  при різних ступенях свободи (за Фішером, із скороченням)

Кількість ступенів свободи ( $n^1$ )	Ймовірність, P	
	0,05	0,01
1	3,841	6,635
2	5,991	9,210
3	7,815	11,341

При значенні  $\chi^2$ , рівному або більшому, ніж вказане у таблиці, вважають різниці величин, що порівнюються, не випадковими, а закономірними.

### Приклад розв'язування задач

#### Задача 1.

В 1905 році Бетсон вирішив перевірити справедливості законів Менделя і повторив досліди із схрещування гомозиготних рослин з жовтими й зеленими насінинами. В  $F_1$  всі насінини мали жовте забарвлення сім'ядолей, а в  $F_2$  при самозапиленні рослин, що вирісли з гібридного насіння, одержано 3903 насінини із зеленими та 11902 з жовтими сім'ядолями. Чи підтвердив дослід Бетсона справедливості закону розщеплення? Довести це, використовуючи метод  $\chi^2$ .

Дано:

A – ген жовтого насіння

a – ген зеленого насіння

P: ♀ AA x ♂ aa

$F_1$ : Aa

$nF_2$ : 3903 aa: 11902A-

Розв'язання

1) Складаємо таблицю за класами розщеплення на основі дослідних цифрових даних:

$F_2$ :	Кількість насінин		
	жовтих	зелених	всього
Фактичне розщеплення	11902	3903	15805
Теоретичне розщеплення	11854	3951	15805
p-q	48	-48	-
$(p-q)^2$	2304	2304	-

$\chi^2 - ?$

Кількість ступенів свободи (n) розраховується за формулою:  
 $n' = n - 1$ , де  $n'$  – кількість класів розщеплення.

$$\chi^2 = \sum \frac{(p - q)^2}{q} = \frac{2304}{11854} + \frac{2304}{3951} = 0,19 + 0,58 = 0,77 \quad \chi^2 = 0,77$$

Якщо  $\chi^2_{факт} \neq 0$ , то різниці величин, що порівнюються, випадкові (нульова гіпотеза). При значенні  $\chi^2$ , рівному або більше того, що вказане в таблиці, нульова гіпотеза відкидається, тобто вважають різниці величин, які порівнюються, не випадковими, а закономірними. В решті випадків (коли  $\chi^2$  менше табличного) вважають різниці випадковими.

В нашому прикладі значення  $\chi^2 = 0,77 < \chi^2_{табл.} = 3,841$  (при  $p < 0,05$ ) та 6,635 (при  $p < 0,01$ ).

Відповідь: дослід Бетсона підтвердив справедливості закону розщеплення Менделя ( $\chi^2 = 0,77 < 3,841$ ).

**б) Відхилення, що пов'язані з диференційною смертністю генотипів**, можна простежити на таких прикладах.

### Задача 2.

За схрещування між собою чорних мишей, завжди спостерігається чорне потомство. За схрещування між собою жовтих мишей 1/3 потомства опиняється чорною, а 2/3 – жовтою. Як це можна пояснити? Як можна перевірити правильність Вашого припущення генетичними досліддами?

Дано:

$A^y$  – ген жовтого кольору шерсті

$a$  – ген чорного кольору шерсті

$P^1$ : ♀  $aa$  x ♂  $aa$

$F^1_1$ :  $aa$

$P^2$ : ♀  $A^y$  x ♂  $A^y$

%  $F^2_2$ : 1/3  $aa$ : 2/3  $A$ -

Розв'язання

1) На основі аналізу генотипів та фенотипів  $F_1$  складаємо схему схрещування

2)  $F_1$  ♀  $A^y a$  x ♂  $A^y a$

3)  $F_2$ : 1  $A^y A^y$  : 2  $A^y a$  : 1  $aa$

гинуть жовті чорні

$F^2_2$ ?

Таким чином, домінантний ген  $A^y$  обумовлює жовте забарвлення шерсті і, крім того, рецесивний летальний ефект. Це явище називається плейтропією. Плейотропія – властива більшості генів здатність впливати одночасно на декілька ознак організму. В гомозиготному стані ( $A^y A^y$ ) ген несумісний з життям, і відповідний клас особин в  $F_2$  не спостерігається. Тому розщеплення за фенотипом в  $F_2$  буде у співвідношенні  $2A^- : 1aa$  (а не  $3A^- : 1aa$ , як передбачено Менделем для моногібридного схрещування). При чому розщеплення за генотипом в  $F_2$  не змінюється ( $1AA : 2Aa : 1aa$ ).

Перевірити правильність цього припущення можна за допомогою аналізуючого схрещування. При схрещуванні жовтих мишей з чорними завжди буде спостерігатися розщеплення у співвідношенні 1:1 (за генотипом і фенотипом):

$P: ♀ A^y a \times ♂ aa$

$F_{зв.}: 1A^y a : 1aa$

*жовті чорні*

в) **Відхилення, викликані неповним проявом функцій генів за даних умов**, зустрічаються дуже часто.

Неповний прояв функцій гена може обумовлюватись неповною пенетрантністю експресивністю відповідної ознаки.

**Пенетрантність** – це доля особин з даною ознакою серед усіх особин, що утримують відповідний ген.

**Експресивність** – це інтенсивність (ступінь) прояву досліджуваної ознаки в залежності від генотипу та зовнішніх умов.

Розглянемо приклад розв'язання задачі на неповну пенетрантність гена.

### Задача 3.

За даними шведських генетиків, деякі форми шизофренії успадковуються як домінантні аутосомні ознаки. При цьому у гомозигот пенетрантність дорівнює 100%, у гетерозигот – 20%. Визначити ймовірність народження хворих дітей в сім'ї, де один із подружжя є гетерозиготним, і інший нормальний у відношенні ознаки, яка аналізується. Визначити ймовірність народження хворих дітей в шлюбі двох гетерозиготних батьків.

Дано:  
 А – ген шизофренії  
 а – ген норми  
 $P': ♀ Aa \times ♂ aa$   
 $P'': ♀ Aa \times ♂ Aa$   
 Пенетр. AA, aa – 100%  
 Aa – 20%  
 $F'_a - ?$   
 $F''_2 - ?$

Розв'язання  
 Складемо схему схрещування:

1)  $P': ♀ Aa \times ♂ aa$

2)  $F_2:$

	♂	a
♀	A	Aa
	a	aa

3) розщеплення за фенотипом:  $\%F'_1(Aa) = \frac{1}{2} \cdot 100\% = 50\%$

Розщеплення за генотипом: 1 Aa:1aa

4) У гетерозигот пенетрантність ознаки складає 20% або 1/5.

Для визначення ймовірності народження хворих дітей в сім'ї необхідно знайти добуток ймовірності носійства гена на ймовірність його проявлення:  $1/2 \times 1/5 = 1/10$  або 10%

У випадку гетерозиготності обох батьків:  $P'' \text{♀ } Aa \times \text{♂ } Aa$

F<sub>2</sub>:

♀ \ ♂	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

$$\% F''_2(AA) = 1/4 \times 100\% = 25\% = 0,25$$

$$\% F''_2(Aa) = 2/4 \times 100\% = 50\% = 0,5 = 1/2$$

Для гетерозигот пенетрантність 20% або 1/5. Хворі діти (гетерозиготи) можуть з'явитися з ймовірністю:  $1/5 \times 1/2 = 1/10$  або 0,1. Тоді ймовірність народження хворої дитини в цьому шлюбі дорівнює сумі ймовірностей появи гомо- і гетерозигот за даною ознакою:  $0,25 + 0,1 = 0,35$  або 35%.

*Відповідь: в першому випадку ймовірність народження хворої дитини 10%, в другому – 35%.*

### Задачі для самостійного розв'язання

1. В одній з порід овець є тварини сірої та чорної масті. При схрещуванні між собою чорних овець ягнята народжуються тільки чорні. Схрещування чорних і сірих овець дає половину ягнят чорних, половину сірих. При розведенні в собі сірих овець постійно з'являються ягнята сірі й чорні, причому сірих в два рази більше, ніж чорних. Як успадковуються ці забарвлення шерсті? Аргументувати відповідь генетичною символікою.

2. Лінійні карпи відрізняються від звичайних лускатих тим, що луска в них розміщена лише однією смужкою. Лінійність домінує над лускатістю. При схрещуванні лускатих карпів з лускатими потомство лише лускате. При схрещуванні лінійних карпів з лінійними в потомстві з'являється 1/3 лускатих та 2/3 лінійних, при цьому плодючість знижується на 25%.

Визначити генотипи лускатих і лінійних карпів, дати характеристику дії генів.

3. Арахнодактілія (павучі пальці) успадковується як домінантна аутосомна ознака з пенетрантністю 30%. Ліворукість – рецесивна аутосомна ознака з повною пенетрантністю.

Визначити ймовірність проявлення обох аномалій одночасно у дітей в сім'ї, де обидва батьки гетерозиготні за обома парами генів.



4. Отосклероз успадковується як домінантна аутосомна ознака з пенетрантністю 30%. Гіпертріхоз (виростання волосся по краю вухної раковини) успадковується як ознака, зчеплена з Y-хромосоною з повним проявленням к 17 рокам.

Визначити ймовірність проявлення одночасно обох аномалій у дітей в сім'ї, де жінка нормальна і гомозиготна, а чоловік має обидві аномалії, але матір була нормальною гомозиготною за цими генами. (Відповідь: 7,5%).

5. При вирощуванні рослин арабідопсис в умовах лабораторії іноді з'являються екземпляри, плодючість яких при самозапиленні не перевищує 0,7 плодючості рослин більшості лабораторних ліній. За схрещування таких аномальних рослин з рослинами дикого типу плодючість гібридів  $F_1$  у половини особин нормальна (дорівнює 1), а у половини не перевищує 0,7. Дати генетичне пояснення цим фактам.

6. Домінантний ген  $D$  зумовлює появу у людини блакитних склер. Блакитні склери самі по собі є нешкідливою ознакою, але разом з ними у людини розвиваються глухота і крихкість кісток. Чоловік з блакитними склерами одружився на жінці, яка мала нормальні склери. Визначити ймовірність народження у них нормальних дітей і дітей із вказаними дефектами.

7. Тимофєєв-Ресовський та Іванов вивчали фенотиповий прояв рецесивної мутації  $vti$  у *Drosophila fenebris*. Ця мутація викликає перервчасту будову або повну відсутність поперечних жилок на крилах мух. Прояв цієї мутації в гомозиготному стані склав у лінії №20 – 45%, №35 – 85%, №31 – 100%, тобто пенетрантність алеля значно варіювала. Визначити, яка кількість мух в кожній лінії буде мати “дикий” фенотип серед 300 проаналізованих особин. (Відповідь: №20 – 266 шт., №35 – 236 шт., №31 – 225 шт.).

8. Ганс Нахтсгейм досліджував спадкову аномалію лейкоцитів у кролів, в основі якої лежить затримка сегментації ядер деяких лейкоцитів. Кролі з цією аномалією життєздатні. При схрещуванні аномальних кролів з нормальними в  $F_1$  217 потомків мали аномалію і 237 були нормальними. При схрещуванні аномальних кролів між собою народилося 223 нормальних, 439 з аномалією і 39 вкрай аномальних потомків з дефективними кров'яними клітинами і значними вадами скелетної системи; майже всі вони померли після народження. Як успадковується аномалія крові у кролів? Пояснити появу 39 значно аномальних кроленят при схрещуванні аномальних кролів.

9. Внаслідок значного вкорочення ніг одна з пород курей названа “повзаючими” курами. При інкубації 10000 яєць, одержаних від схрещування “повзаючих” курей між собою, вивелося 7498 курчат, з яких 2483 курчати опинилися з нормальними довгими ногами, решта – коротконо-

гі. Визначити генотипи всіх груп курей і дати характеристику дії генів. (Відповідь: коротконогих повинно бути:  $7498 \cdot 3/4 = 5632 > 5015$ . Особини  $AA$  гинуть,  $Aa$  – повзаючі кури,  $aa$  – нормальні. Ген  $A$  впливає на довжину ніг і життєздатність).

10. На острові Мен на півдні Англії вивели породу короткохвостих кішок. Один любитель привіз в Москву кошеня Джиммі з коротким хвостом. Він виріс і схрестився з бродячою вуличною кішкою, яка мала нормальний довгий хвіст. В результаті кішка принесла чотирьох кошенят: двох короткохвостих і двох довгохвостих. Любитель підібрав одного короткохвостого кошеня (кішку). Коли вона виросла, любитель схрестив її з Джиммі. В пометі опинилося 6 кошенят, з них 4 з короткими хвостами. Як успадковується довжина хвоста у кішок з острова Мен? Чому при схрещуванні між собою двох короткохвостих кішок в потомстві завжди опиняються довгохвості особини? Навести генотип Джиммі і всіх інших питомців московського любителя кішок.

11. У мексиканського дога ген, що викликає відсутність шерсті, в гомозиготному стані призводить до загибелі потомства. За схрещування двох нормальних догів частина загинула. За схрещування того ж самого самця з іншою самкою загибелі потомства не спостерігається. Але за схрещування між собою нащадків цих двох схрещувань знову спостерігалася загибель цуценят.

Визначити генотипи всіх осіб, що схрещувалися. (Відповідь:  $A$  – ген норми,  $a$  – ген відсутності шерсті,  $Aa \times Aa$ ;  $Aa \times AA$ ;  $Aa \times Aa$ ).

12. За схрещування чубатих качок з нормальними одержано 135 каченят, з них 62 чубатих і 73 нормальних. Від схрещування чубатих качок між собою з'явилося 92 чубатих і 44 нормальних каченят, причому частина ембріонів загинула перед вилупленням. Як успадковується ознака чубатості? Визначити, яке потомство слід очікувати від схрещування нормальних качок між собою.

13. У бджіл ген, який визначає вислокрилість, проявляється тільки в гетерозиготному стані, а в гомозиготному викликає загибель організму. Відомо, що у бджіл самці розвиваються з незапліднених яєць і є гомозиготними соматичними диплоїдами. Визначити фенотипи і генотипи потомства від схрещування вислокрилої самки з нормальним трутнем. Визначити фенотипи і генотипи нащадків вислокрилих бджіл, якщо відомо, що у самців в гемізіготному стані ген вислокрилої не призводить до їх загибелі.

14. Причиною синдрому Ван дер Хеве є домінуючий аутосомний плейотропний ген, який визначає блакитне забарвлення склери, крихкість кісток і глухоту. Пенетрантність ознак мінлива. В ряді випадків вона складає за блакитною склерою майже 100%, за крихкістю кісток – 63%, глухоті – 60%. Носій блакитної склери, нормальний у відношенні

інших ознак синдрому, вступає в шлюб з нормальною жінкою, яка походить з благополучної за синдромом Ван дер Хеве сім'ї. Визначити ймовірність народження в цій сім'ї дітей з ознакою крихкості кісток, якщо відомо, що по лінії чоловіка ознаки синдрому мав лише один з його батьків. (Відповідь: 31,5%).

В шлюб вступають два гетерозиготних носія блакитної склери, нормальні у відношенні інших ознак синдрому. Визначити ймовірність народження в цій сім'ї глухих дітей. (Відповідь: 45%).

15. Ретинобластома (злоякісна пухлина ока) визначається рідкісним домінантним аутосомним геном. Пенетрантність ретинобластоми складає 60%. Визначити ймовірність народження хворих і здорових дітей в шлюбі двох гетерозиготних батьків. Визначити ймовірність народження хворих і здорових дітей в шлюбі здорової жінки з гетерозиготним хворим чоловіком.

16. Подагра визначається домінантним аутосомним геном. За деякими даними (В.П. Ефрoїмсон, 1968), пенетрантність гена у чоловіків складає 20%, у жінок вона дорівнює нулю.

Визначити ймовірність захворювання подагрою в сім'ї гетерозиготних батьків. Визначити ймовірність захворювання подагрою в сім'ї, де один з батьків гетерозиготний, а інший нормальний за ознакою, яка аналізується. (Відповідь: 1)  $3/4 \cdot 1/2$  (чоловіки)  $- 3/8 \cdot 1/5$  (20%) = 7,5%; 2)  $1/2$  (ймовірність народження хворого)  $\cdot 1/2$  (ймовірність народження чоловіка)  $\cdot 1/5$  (20% пенетрантність) =  $1/20$  або 5%).

17. У деяких квіткових рослин домінантний ген, що визначає червоний колір пелюстків, одночасно викликає червоний відтінок стебла і прожилок листя. Аallelний йому ген, що визначає білий колір пелюстків, не змінює забарвлення стебла і прожилок листка – вони залишаються зеленими. Любитель – квітковод вирішив обзавестися білопелюстковими квітками, які мають тонкий аромат. В магазині йому сказали, що насіння за кольором не розібрані, і “чистих” білих не має. Тоді квіткар купив три пакети насіння із різних господарств і висіяв їх по 1000 штук. Оглядаючи розсаду, він знайшов, що насіння з першого пакета дали паростки тільки з червоними прожилками, насіння другого пакету дали  $3/4$  рослин з червонуватими жилками, з третього – з червонуватими жилками було тільки половина рослин. Визначити, які за фенотипом і генотипом були квіти в кожному господарстві. (Відповідь: I господарство – AA, II – Aa, III – 1Aa:1aa).

18. Лисиці генотипу *Pp* мають платинове забарвлення, *pp* – сріблясто-чорне. Звичайно платинові лисиці при розведенні в собі дають розщеплення на 2 платинові до 1 сріблясто-чорної. Але іноді народжуються чисто-білі цуценята, які незабаром гинуть. Яким може бути їх генотип?

19. У норок окрім коричневого забарвлення зустрічається сріблясте. Схрещування сріблястих з коричневими завжди дає розщеплення на 1 коричневу та 1 сріблясту. При розведенні в собі коричневих норок сріблясті ніколи не вищепляються. Яке повинно бути потомство від схрещування сріблястих норок між собою?

20. При схрещуванні дрозофіл із зачатковими крилами і нормальних особин в  $F_2$  одержано розщеплення 4626 довгокрилих та 1234 мухи із зачатковими крилами. Неважко впевнитися (наприклад, методом  $\chi^2$ ), що відхилення від теоретично очікуваного 3:1 є значним. В чому причина такого відхилення? Чи можна за даними досліду визначити відносну життєздатність зигот, гомозиготних за алелем зачаткових крил?

### 5.1.1. Взаємодія неалельних генів

Аналіз дигібридного схрещування свідчить про те, що розщеплення 9:3:3:1 здійснюється лише за незалежного успадкування ознак. Важливою умовою цього є відсутність взаємодії між алелями різних генів.

Але у будь-якого організму кожна його властивість (наприклад забарвлення шерсті кроля, довжина колоса жита та ін.) визначається декількома генами. В цьому випадку алелі різних генів взаємодіють один з одним. При цьому в потомстві дигетерозиготи ( $F_2$ ) спостерігатимуться незвичайні співвідношення розщеплення за фенотипом 9:3:4, 9:7, 13:3, 15:1 та ін. в залежності від характеру взаємодії генів (розщеплення за генотипом при цьому не змінюється). Генетичний аналіз вказує, що ці незвичайні розщеплення уявляють собою видозмінення загальної формули 9:3:3:1.

Задачі на взаємодію неалельних генів розв'язуються за схемою, запропонованою для дигібридного схрещування, оскільки тут успадкування різних пар алелів також відбувається незалежно і, крім того, в результаті злиття гамет утворюються ті ж самі сполучення алелів, що й для дигібридного схрещування. Необхідно лише пам'ятати про характер взаємодії генів та правильно визначати фенотип потомства й батьківських форм.

Задачі можливі в двох варіантах:

1. за даним фенотипом батьків і типом взаємодії неалельних генів визначити генотип і фенотип потомства;

2. за розщепленням в потомстві визначити фенотип і генотип батьків і характер взаємодії неалельних генів.

## Методика і приклади розв'язування задач

### Комплементарність.

У випадку комплементарності домінантні комплементарні гени при спільному знаходженні в генотипі ( $A-B-$ ) зумовлюють розвиток нової ознаки в порівнянні з дією кожного гена окремо ( $A-bb$  та  $aaB-$ ), причому в  $F_2$  спостерігається розщеплення за фенотипом в таких відношеннях:  $9:7$ ,  $9:3:3:1$ ,  $9:6:1$ ,  $9:3:4$ .

Розглянемо закономірності розщеплення на прикладах:

а) розщеплення  $9:7$  спостерігається при комплементарній взаємодії домінантних алелів двох генів, які не мають самостійного проявлення:  $AAbb \times aaBB \rightarrow AaBb$ ;  $AaBb \times AaBb \rightarrow 9A-B-; 7aa-ta-bb$ .

Наприклад:

### Задача 1.

При схрещуванні двох білоkwіткових форм запашного горошку потомство опинилося пурпурним, а в  $F_2$  відбулося розщеплення у відношенні: 9 пурпурних : 7 білоkwіткових форм.

Визначити фенотипи потомства  $F_2$ .

Дано:

$A$  – ген білого забарвлення

$a$  – ген безбарвності

$B$  – ген прояв. забарвлення

$b$  – ген відсутності забарвлення

$P$  :  $AAbb \times aaBB$

$F_1$  :  $AaBb$  (пурпурні)

$F_2$  - ?

Розв'язання:

$P$  :  $AAbb$  (білі)  $\times$   $aaBB$  (білі)

$F_1$  :  $AaBb$  (пурпурні)  $\times$   $AaBb$  (пурпурні)

$F_2$  :  $9A-B-; 3aaB-; 3A-bb; 1aabb$   
Пурп.(9) : білі (7).

*Відповідь: в  $F_2$  утворилися 2 фенотипових класи: 9/16 пурпурних та 7/16 білоkwіткових.*

б) розщеплення  $9:3:3:1$  при комплементарності спостерігається тоді, якщо кожний з двох комплементарних генів має самостійне фенотипове проявлення, а взаємодія цих генів визначає появу нової ознаки.

Наприклад:

### Задача 2.

Бетсон і Пеннет знайшли утворення нових ознак при аналізі форми гребня у курей. Автори схрещували півня з трояндоподібним гребенем з куркою, яка має горіхоподібний гребінь. В  $F_1$  всі курки мали нову форму гребня – горохоподібну, а в  $F_2$ , одержаному від схрещування півнів і курей з горіхоподібними гребінцями, відбулося розщеплення.

Визначити розщеплення в  $F_2$  за фенотипом у курей.

Дано:

A – ген трояндоподібного гребня

a – ген відсут. проявлення ознаки

B – ген горохоподібн. гребня

b – ген відсутності фенотипового проявлення ознаки

$P_1$  : aaBB x AAbb

$F_1$ : AaBb (горіхоподібні)

$F_2$  – ?

Розв'язання:

$P$  : aaBB<sup>(горіхопод.)</sup> x Aabb<sup>(трояндопод.)</sup>

$F_1$ : AaBb<sup>(горіхопод.)</sup> x AaBb<sup>(горіхопод.)</sup>

$F_2$ : 9A-B-<sup>(горіхопод.)</sup> : 3aaB-<sup>(горохопод.)</sup> :

: 3A-bb<sup>(трояндопод.)</sup> : 1 aabb<sup>(простий)</sup>

Відповідь: в  $F_2$  утворилися чотири фенотипових класи: два батьківських – (трояндоподібний і горохоподібний) по 3/16 частини від всього потомства, та два нових – горіхоподібний (9/16) та простий (1/16 частини потомства.)

в) розщеплення 9:6:1 при комплементарності спостерігається, якщо неалельні гени кожний окремо викликає розвиток тієї ж самої ознаки, їх взаємодія – іншої, а у дигомозиготи за рецесивними алелями цих генів спостерігається третя ознака:

$AAbb$  x  $aaBB$  →  $AaBb$  ;  $AaBb$  x  $AaBb$  →  $9A-B-$  :  $3A-bb$  та  $3aaB-$  :  $1aabb$ .

Наприклад:

### Задача 3.

У гарбуза (*Cucurbita pepo*) є сорти з різною формою плоду: сферичною, дископодібною і подовженою. Сферична форма плоду є рецесивною по відношенню до дископодібної. Від схрещування рослин з плодами сферичної форми (різного походження) з'являються гібридні рослини, які мають плоди тільки дископодібної форми. В  $F_2$  від схрещування рослин  $F_1$  між собою з'являються всі три можливих фенотипових класи в співвідношенні: 9 дископодібних:6 сферичних:1 подовжений.

Визначити тип успадкування цих ознак і генотипи батьківських форм.

Дано:

A – ген сферичної форми

a – ген подовженої форми плоду

B – ген сферичної форми

b – ген подовженої форми

A-B – дископодібна форма

$P$  – ?

$F_1$  – ?

$F_2$  – ?

Розв'язання:

$P$  : Aabb<sup>(сфер.)</sup> x aaBB<sup>(сфер.)</sup>

$F_1$ : AaBb<sup>(дископод.)</sup> x AaBb<sup>(дископод.)</sup>

$F_2$ : 9A-B-<sup>(дископод.)</sup> : 3aaB-<sup>(сфер.)</sup> :

: 3A-bb<sup>(сфер.)</sup> : 1 aabb<sup>(подовжен)</sup>

Відповідь: тип успадкування ознак – комплементарність; генотипи батьківських форм  $AAbb$  і  $aaBB$ .

г) розщеплення  $9:3:4$  за фенотипом в  $F_2$  спостерігатиметься, якщо домінуючий алель одного з двох комплементарних генів (наприклад,  $A$ ) діє самостійно, а інший ген ( $B$ ) лише в присутності гена  $A$ :

( $AAbb \times aaBB \rightarrow AaBb$ ;  $AaBb \times AaBb \rightarrow 9A-B-; 3A-bb; 4aa-$ )

Наприклад:

#### Задача 4.

У льону (*Linum usitatissimum*) алель  $A$  визначає забарвлений вінчик,  $a$  – незабарвлений вінчик (білий),  $B$  – блакитний колір квітки,  $b$  – рожевий. За схрещування рослин льону з рожевими й білими квітками гібридне потомство має квітки блакитного кольору, а в  $F_2$  спостерігається розщеплення в співвідношенні: 87 блакитних; 39 рожевих; 28 білих квіток.

Визначити тип успадкування ознак і розщеплення в  $F_1$  та  $F_2$  за генотипом.

Дано:

$A$  – ген забарвленого вінчика

$a$  – ген незабарвленого вінчика

$B$  – ген блакитного кольору

$b$  – ген рожевого кольору

$P$ :  $AAbb \times aaBB$

$F_1$ :  $AaBb$

$n F_2$ : 87A-B- : 39A-bb : 28aaB- або aabb

$F_2$  -?

Розв'язання:

На основі аналізу фенотипів батьківських форм складаємо схему схрещування

$P$ :  $AAbb$  (рожевий)  $\times$   $aaBB$  (білий)

$F_1$ :  $AaBb$  (блакитний)  $\times$   $AaBb$  (блакитний)

$F_2$ :

$\begin{matrix} \text{♀} \\ \text{♂} \end{matrix}$	$AB$	$aB$	$Ab$	$ab$
$AB$	$AABB$	$AaBB$	$AABb$	$AaBb$
$aB$	$AaBB$	$aaBB$	$AaBb$	$aaBb$
$Ab$	$AABb$	$AaBb$	$AAbb$	$Aabb$
$ab$	$AaBb$	$aaBb$	$Aabb$	$aabb$

$F_2$ : 9A-B- : 3A-bb : 3aaB- : 1aabb

блак. : рож. : білих

Відповідь: ознаки успадковуються за типом комплементарності.

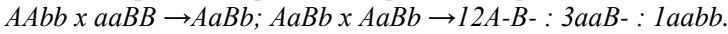
#### Епістаз.

В іншому типі взаємодії генів – епістазі відбувається пригнічення дії одного гена іншим, неалельним йому геном ( $A > B$  або  $A > b$ ).

Гени – пригнічувачі називаються **інгібіторами** або **супресорами**, а гени, дія яких пригнічуються – гіпостатичними генами.

У випадку домінантного епістазу інгібітор домінантний і в  $F_2$  спостерігається два види розщеплення за фенотипом –  $12:3:1$  та  $13:3$ .

Розщеплення  $12:3:1$  в  $F_2$  спостерігається, якщо  $A > B$ , причому гени  $A$  і  $B$  кожний окремо контролюють проявлення різних ознак:

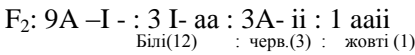
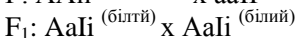
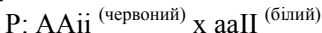


Наприклад:

### Задача 5.

При схрещуванні цибулі (*Allium cepa* L.) з червоними й білими цибулинами в  $F_1$  всі рослини тільки з білими плодами, а в  $F_2$  спостерігається розщеплення:  $12/16$  – з білими,  $3/16$  – з червоними,  $1/16$  – з жовтими цибулинами.

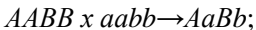
Якщо позначити ген, що визначає червоний колір плодів, через  $A$ , жовтий колір –  $a$ , ген-інгібітор –  $I$ , його рецесивний алеломорф, який не пригнічує проявлення ознаки –  $i$ , то формула розщеплення має такий вигляд:



$F_2$ :

♀ \ ♂	AI	Ai	aI	ai
AI	AAII	AAIi	AaII	AaIi
aI	AaII	AaIi	aaII	aaIi
Ai	AAIi	AAii	AaIi	Aa ii
ai	AaIi	Aa ii	aaIi	aa ii

При домінантному епістазі розщеплення  $13:3$  спостерігається, якщо рецесивний алель, який пригнічується, має той самий фенотиповий ефект, що й домінантний інгібітор ( $I = a$ ):



Наприклад:

### Задача 6.

У кукурудзи (*Zea mays*) забарвлення зерна може бути пурпурним ( $A$ ) і білим ( $a$ ), причому синтез пігменту може пригнічуватися домінантним інгібітором  $I$  ( $I = a$ ).

Визначити генотипи й фенотипи батьківських форм,  $F_1$  та  $F_2$ .



Розв'язання:

P: ПAA<sup>(біле)</sup> x ііaa<sup>(біле)</sup>

F<sub>1</sub>: ІiAa<sup>(біле)</sup> x ІiAa<sup>(біле)</sup>

F<sub>2</sub>: 9 I – A – : 3 I – aa : 1 ііaa : 3 ііA-  
білі (13) пур(3)

F<sub>2</sub>:

♀ \ ♂	IA	Ia	iA	ia
IA	ПAA	ПАa	ІiAA	ІiAa
Ia	ПАa	Паa	ІiAa	Іiaa
iA	ІiAA	ІiAa	ііAA	ііAa
ia	ІiAa	Іiaa	ііAa	ііaa

При рецесивному епістазі інгібітор рецесивний. Як і в одному з випадків комплементарної взаємодії генів, відношення фенотипів в F<sub>2</sub> при рецесивному епістазі виражається формулою 9 : 3 : 4 (aa > B – або bb) : AAbb x aaBB → AaBb; AaBb x AaBb → 9A – B – : 3A – bb : 4 aaB – та aabb.

Дійсно, в прикладі із забарвленням вінчика у льону рецесивний алель (a) не дозволяє проявитися ані блакитному, ані рожевому забарвленню (a > B та a > b), тобто пригнічує їх (див. комплементарність).

Ще один тип взаємодії генів – **полімерія**, або однозначна дія генів. Для підкреслення однозначності, однакової дії різних генів, їх позначають однаковими символами, додаючи лише різні цифри: A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> і т.д.

У випадку **некумулятивної полімерії** характер проявлення ознаки не змінюється в залежності від кількості домінуючих генів в генотипі. Наприклад, у курей (*Gallus gallus*) опереність ніг визначається домінуючими алелями різних генів: A<sub>1</sub>, та A<sub>2</sub>.

P : A<sub>1</sub>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>A<sub>2</sub><sup>(3 оперінням)</sup> x a<sub>1</sub>a<sub>1</sub>a<sub>2</sub>a<sub>2</sub><sup>(без оперіння)</sup>

F<sub>1</sub> : A<sub>1</sub>a<sub>1</sub>A<sub>2</sub>a<sub>2</sub><sup>(3 оперінням)</sup> x A<sub>1</sub>a<sub>1</sub>A<sub>2</sub>a<sub>2</sub><sup>(3 оперінням)</sup>

F<sub>2</sub>:

♀ \ ♂	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> a <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> a <sub>1</sub> A <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> a <sub>1</sub> A <sub>2</sub> a <sub>2</sub>
A <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> a <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>1</sub> a <sub>2</sub> a <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> a <sub>1</sub> A <sub>2</sub> a <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> a <sub>1</sub> a <sub>2</sub> a <sub>2</sub>
a <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> a <sub>1</sub> A <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> a <sub>1</sub> A <sub>2</sub> a <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> a <sub>1</sub> A <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> a <sub>1</sub> A <sub>2</sub> a <sub>2</sub>
a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> a <sub>1</sub> A <sub>2</sub> a <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> a <sub>1</sub> a <sub>2</sub> a <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> a <sub>1</sub> A <sub>2</sub> a <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> a <sub>1</sub> a <sub>2</sub> a <sub>2</sub>

F<sub>2</sub>: 9A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub>- : 3 A<sub>1</sub>-a<sub>2</sub>a<sub>2</sub> : 3 a<sub>1</sub>a<sub>1</sub>-A<sub>2</sub>- : 1 a<sub>1</sub>a<sub>1</sub>-a<sub>2</sub>a<sub>2</sub>  
з оперінням ніг (15) : без оперіння (1)

В  $F_2$  серед 15 гібридів з оперінням ніг є й такі, котрі мають чотири домінантні алелі ( $A_1A_1A_2A_2$ ) і три ( $A_1A_1A_2a_2$ ), і два ( $A_1a_1A_2a_2$ ), і один ( $A_1a_1a_2a_2$ ); характер оперіння ніг в цих випадках однаковий.

При **кумулятивній полімерії** ступінь вираження ознаки залежить від кількості домінантних генів. За таким типом успадковуються всі кількісні ознаки – ріст, вага, яйценоскість курей, кількість молока та його жирність, кількість білка в ендоспермі, швидкість течії біохімічних реакцій, властивості нервової системи тварин і т.д., тобто всі ознаки, які можна виміряти і підрахувати.

Нільсон-Еле в 1908 році схрещував лінії пшениці, які розрізнялися за забарвленням зерна: з темно-червоним і білим забарвленням. Темно-червоне забарвлення зерна спостерігалось у особин, в генотипі яких були дві алельні пари домінантних полімерних генів у гомозиготному стані –  $A_1A_1A_2A_2$ . Рецесивна дигомозигота за цими генами  $a_1a_1a_2a_2$  обумовлює біле забарвлення зерна. При схрещуванні цих форм в  $F_1$  зерна були червоними ( $A_1a_1A_2a_2$ ), а в  $F_2$  відбулося розщеплення (в залежності від кількості алелів  $A_1$  та  $A_2$ ) на ряд форм з градацією забарвлення від темно-червоного до білого:

$$\begin{aligned}
 P &: A_1A_1A_2A_2 \text{ (темно-червоне)} \times a_1a_1a_2a_2 \text{ (біле)} \\
 F_1 &: A_1a_1A_2a_2 \text{ (світло-червоне)} \times A_1a_1A_2a_2 \text{ (світло-червоне)} \\
 F_2 &: 1A_1A_1A_2A_2 : 2A_1A_1A_2a_2 : 2A_1a_1A_2A_2 : \\
 &\quad \text{темно-червоне (1/16)} \qquad \qquad \qquad \text{червоне (4/16)} \\
 &: 4A_1a_1A_2a_2 : 1A_1A_1a_2a_2 : 1a_1a_1A_2A_2 : 2A_1a_1a_2a_2 : 2a_1a_1A_2a_2 : 1a_1a_1a_2a_2 \\
 &\quad \text{світло-червоне (6/16)} \qquad \qquad \qquad \text{біло-червоне (4/16)} \qquad \qquad \qquad \text{біле (1/16)}
 \end{aligned}$$

$F_2$ :

$\begin{matrix} \text{♂} \\ \diagdown \\ \text{♀} \end{matrix}$	$A_1A_2$	$A_1a_2$	$a_1A_2$	$a_1a_2$
$A_1A_2$	$A_1A_1A_2A_2$	$A_1A_1A_2a_2$	$A_1a_1A_2A_2$	$A_1a_1A_2a_2$
$A_1a_2$	$A_1A_1A_2a_2$	$A_1A_1a_2a_2$	$A_1a_1A_2a_2$	$A_1a_1a_2a_2$
$a_1A_2$	$A_1a_1A_2A_2$	$A_1a_1A_2a_2$	$a_1a_1A_2A_2$	$a_1a_1A_2a_2$
$a_1a_2$	$A_1a_1A_2a_2$	$A_1a_1a_2a_2$	$a_1a_1A_2a_2$	$a_1a_1a_2a_2$

Таким чином, при полімерному успадкуванні особини  $F_2$  утворюють безперервний варіаційний ряд за кількісним вираженням даної ознаки. При визначенні ознаки трьома парами полімерних генів співвідношення фенотипів в  $F_2$  буде (63:1), причому серед 63 фенотипів, в генотипі яких є від 1 до 6 алелів  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A$  градація у вираженні ознаки буде більш плавною, ніж при дії двох пар полімерних генів. За типом полімерії успадковується пігментація шкіри у людини.

Отже, всі випадки взаємодії генів (комплементарність, епістаз, полімерія) є видозміненням класичної менделівської формули дигібридно-го розщеплення 9:3:3:1 у випадку схрещування двох дигетерозигот.

### Задачі для самостійного розв'язання

1. У запашного горошку червоне забарвлення квіток обумовлене сполученням двох комплементарних – домігантних генів *C* та *P*. При відсутності одного з них або двох пігмент не утворюється і квітки залишаються білими.

а) Схрещена біла рослина *CCpp* з білою *ccPP*. Визначити фенотип першого покоління гібридів. Встановити характер розщеплення за фенотипом і генотипом в потомстві, одержаному від схрещування гібридів  $F_1$  між собою.

б) Квітки дигетерозиготної червоної рослини запилені пилком білої, рецесивної за обома парами алелів. Визначити характер розщеплення за фенотипом в потомстві від цього схрещування.

2. Схрещуються дві лінії норок з бежевим та сірим забарвленням. У гібридів першого покоління проявилось дике коричневе забарвлення шерсті. В другому поколінні, одержаному від схрещування особин першого покоління між собою, спостерігається розщеплення: 14 сірих, 46 коричневих, 5 кремових, 16 бежевих. Як успадковуються ці забарвлення?

Ввести генетичні символи і написати генотипи вихідних тварин і потомства.

(Відповідь: за типом комплементарності:  $P : AAbb \times aaBB$ ;  $F_1 : AaBb$  ;  
коричневі

$F_2 : 9A-B- : 3aaB- : 3A-bb : 1aabb$ )  
коричневі сірі бежеві кремові

3. При схрещуванні чорної крольчихи з білим кролем всі кроленята першого покоління опинилися чорними. При зворотньому схрещуванні гібридів першого покоління з білим батьком одержано 18 білих і 7 чорних тварин. Як успадковується даний тип забарвлення шерсті у кролів?

(Відповідь: за рецесивним епістазом;  $P : AaIi \times aaII \rightarrow F_1 : AaIi \times aaII \rightarrow$   
чорні білі чорні білі

$F_{зв} : 1AaIi : 1aaIi : 1AaII : 1aaII$ )  
чорні білі білі білі

4. У курей зустрічаються чотири форми гребня, обумовлені взаємодією двох пар генів. Ген *R* детермінує трояндоподібний гребінь, ген *P* – горохоподібний. При сполученні цих генів розвивається горіхоподібний гребінь. Птахи, рецесивні за обома генами (*rrpp*), мають простий листкоподібний гребінь.

а) Гомозиготна особина з трояндоподібним гребнем схрещена з особиною, гомозиготною за горохоподібним гребнем. Визначити фенотип їх потомства в першому та другому поколіннях.

б) Схрещені дві особини з горіхоподібним гребнем. Яку долю потомства будуть складати птахи з горіхоподібним гребнем?

в) Схрещені особина з горіхоподібним та особина з простим гребнями. Потомство складалося з курчат з горіхоподібним, трояндоподібним, горіхоподібним і простим гребнями в рівній кількості (по 1/4). Визначити генотипи батьківських особин.

г) Особина з трояндоподібним гребнем схрещується з особиною, яка має горіхоподібний гребінь. В першому поколінні одержано по 3/8 особин з горохоподібним гребнем та з трояндоподібним, по 1/8 – з горіхоподібним та з простим. Визначити генотипи батьківських особин та потомства

5. Зеленозерний сорт жита при схрещуванні з білозерним дає в  $F_1$  зелені насінини, а в  $F_2$  – розщеплення за забарвленням: 89 насінин зелених, 28 жовтих, 39 білих. Як успадковується забарвлення насіння? Що одержимо, якщо схрестити гібриди  $F_1$  з гомозиготними жовтозерними і білозерними рослинами?

6. При схрещуванні чорної курки з білим півнем всі курчата чорні. В аналізуючому схрещуванні одержано 28 білих та 10 чорних курчат. Як успадковується забарвлення оперіння? Які генотипи всіх форм?

7. При схрещуванні двох сортів гарбуза, які мають білі плоди,  $F_1$  також білоплідне, а в  $F_2$  спостерігається розщеплення: 12 білоплідних : 3 жовтоплідних : 1 з зеленими плодами. Визначити характер успадкування забарвлення і генотипи всіх форм. Як називається такий тип успадкування?

8. При схрещуванні двох карликових рослин кукурудзи одержано потомство нормальної висоти. В другому поколінні від схрещування між собою рослин першого покоління одержано: рослин нормальної висоти 452, карликових – 352. Запропонувати гіпотезу, яка пояснює результати. Написати схему схрещування, вводячи відповідні генетичні символи.

9. У людини вроджена глухота може визначатися генами  $d$  та  $e$ . Для нормального слуху необхідна присутність в генотипі обох домінантних алелів цих генів. Визначити генотипи батьків в наступних двох сім'ях:

а) обидва батьки глухі, а їх 7 дітей мають нормальний слух; б) у глухих батьків 4 глухих дитини.

(Відповідь: а)  $DDee \times ddEE$ ; б)  $Ddee \times ddee$  або  $ddee \times ddee$ ).

10. В шлюбі двох нормальних людей з'явилася глухоніма дитина альбінос. Пояснити, чому це відбулося; написати генотипи батьків і дитини.

11. Ріст людини визначається взаємодією декількох пар алелів за типом кумулятивної полімерії:  $A_1$  та  $a_1$ ,  $A_2$  та  $a_2$ ,  $A_3$  та  $a_3$ . Індивідууми з  $a_1a_1a_2a_2a_3a_3$  мають самий низький зріст – 150 см, з генотипом  $A_1A_1A_2A_2A_3A_3$  – найвищий 180 см (кожний домінуючий ген додає до росту 5 см). Племя людей низького зросту береться в полон ордою воїнів з племені, яке складається тільки з високих людей. Переможці вбивають чоловіків і одружуються з жінками цього племені.

1) Як розподіляться діти і онуки за зростом? Накреслити графічне зображення залежності росту від дози гена.

2) Визначити ріст людей, гетерозиготних за всіма трьома парами генів росту. (Відповідь: 165 см).

3) Низькоросла жінка вийшла заміж за чоловіка середнього зросту. У них було четверо дітей, які мали ріст 165 см, 160 см, 155 см, 150 см. Визначити генотипи батьків та їхній ріст. (Відповідь: матір –  $a_1a_1a_2a_2$  – 150 см, батько –  $A_1A_1A_2a_2$  – 165 см).

12. У пшениці біла і червона пігментація зерна контролюється трьома парами алелів;  $A_1$ — $a_1$ ,  $A_2$ — $a_2$ ,  $A_3$ — $a_3$ . Рослини, рецесивні за всіма трьома парами алелів, мають білі зерна. Присутність одного або більше домінуючих генів обумовлює домінуюче червоне забарвлення зерна, яке посилюється при збільшенні кількості домінуючих генів.

а) При схрещуванні гомозиготної червонозерної рослини з білозерною в  $F_2$  одержано розщеплення на червонозерні й білозерні в співвідношенні 15:1. Скільки пар домінуючих генів мала батьківська червонозерна рослина?

б) При схрещуванні гомозиготної пшениці з червоними зернами з рослиною, яка має біле насіння, в  $F_2$  одержано розщеплення у відношенні: 1 рослина з білим насінням на 63 – з червоними. Скільки пар домінуючих генів має батьківська червонозерна рослина?

13. У грициків звичайних форма плода залежить від двох пар полімерних генів. Рослини, які мають хоча б один домінуючий ген, мають плоди трикутної форми і не відрізняються від рослин, які мають два, три, чотири домінуючих гени. Рослини, які не мають жодного домінуючого гена, дають плоди яйцеподібної форми.

а) Схрещені гетерозиготні рослини, які мають трикутну форму плода. Визначити розщеплення за фенотипом і генотипом в  $F_2$ .

б) Рослина з трикутними плодами схрещена з рослиною, плоди якої мають яйцеподібну форму. В  $F_2$  співвідношення в потомстві склало: 3 трикутних: 1 яйцеподібна. Встановити генотипи батьків.

14. 1) Якщо два мулата ( $A_1a_1A_2a_2$ ) мають дітей, чи можна очікувати серед них повних негрів? білих? мулатів? 2) Яку долю складатимуть діти кожного типу? 3) Чи можна очікувати у подружжя мулатів дітей більш світлих, ніж вони самі? 4) Чи можна очікувати від білих батьків

дітей більш темних, ніж вони самі? (Відповідь: 1) так, 2) повних негрів  $A_1A_1A_2A_2 - 1/16$ , білих  $a_1a_1a_2a_2 - 1/16$ , мулатів -  $14/16$ , 3) так, 4) ні.)

15. Чи можуть два світлошкірих негри мати дітей більш темних, ніж вони самі? або більш світлих? Чому? Яка шкіра темніше  $A_1A_1A_2a_2$ ,  $A_1a_1A_2A_2$ ,  $a_1a_1A_2A_2$ ?

16. У люцерни одержані наступні дані про успадкування забарвлення квітки:  $P$  : пурпурні квітки  $\times$  жовті квітки,  $F_1$  : всі рослини з зеленими квітками,  $F_2$ : 169 – з зеленими квітками, 64 – з пурпурними, 65 – з жовтими, 13 – з білими. Вказати генотипи різних груп рослин і пояснити результати схрещувань.

17. В першому поколінні від схрещування зеленого й білого хвилястих папужок все потомство було зеленим. В другому поколінні виділяються наступні фенотипові класи в співвідношенні: 29 зелених : 8 жовтих : 9 блакитних : 2 білих. 1) Визначити генотипи батьків і нащадків 2) Які ще два фенотипових класи папуг можна схрестити, щоб одержати таке ж саме розщеплення в  $F_2$ ?

(Відповідь: 1)  $P$ :  $AABB \times aabb \rightarrow F_1$ :  $AaBb \times AaBb \rightarrow F_2$ :  $9A-B-3aaB-$  :

зелені білі зелені зелені зелені жовті

$3A-aa$  :  $1aa$   $bb$ , 2) жовтих з блакитними.)  
блакитні білі

18. При схрещуванні курей з трояндоподібним та горохоподібним гребнем все потомство опинилося з горіхоподібним гребінцем. Зворотнє схрещування їх з батьками, що мають трояндоподібний гребінь, дало половину нащадків з горіхоподібним гребнем і половину з трояндоподібним. При схрещуванні нащадків  $F_1$  один з одним окрім одержаних форм гребня в потомстві з'явилися особини з простим листкоподібним гребнем (приблизно  $1/16$  частина). Записати генотипи особин в усіх схрещуваннях і вказати, як успадковується форма гребня у курей.

19. У запашного горошка гени  $C$  і  $P$  окремо викликають біле забарвлення квіток, пурпурне забарвлення одержують внаслідок присутності в генотипі обох домінантних генів. Рослину запашного горошка з пурпурними квітками схрещено з рослиною, що має білі квітки. В потомстві одержано половину рослин з пурпурними і половину з білими квітками. Як це можна пояснити? Визначити можливі генотипи батьківських рослин.

20. При схрещуванні двох генетично різних ліній дрозофіли, які мають яскраво-червоні очі, в першому поколінні всі особини опинилися з темно-червоними очима (дикий тип), а в другому поколінні спостерігали розщеплення: 100 мух з нормальними очима і 75 – з яскраво-червоними. Скільки генів приймало участь у схрещуванні? Що одержимо, якщо схрестити мух з нормальними очима з першого покоління з дрозофілами однієї з батьківських ліній?

21\* Як показав ще Мендель, у гороха жовтий колір сім'ядолей домінує над зеленим. Але через 100 років після робіт Менделя стало відомо, що в сім'ядолях гороху зеленого кольору міститься пігмент хлорофіл, а жовті сім'ядолі його не мають. В цьому зв'язку виник сумнів відносно домінування жовтого забарвлення над зеленим, оскільки відсутність продукта, в даному випадку хлорофіла, найчастіше пов'язан з рецесивною мутацією. Дійсно, при схрещуванні іншого сорта жовтонасінного гороху з рослинами, які мають зелені насінини, гібридне насіння ( $F_1$ ) опинилося з жовтими насінинами, а в другому поколінні одержали наступне розщеплення насіння за забарвленням: 252 жовтих, 63 зелених, 21 насінина бежевого кольору. Написати схеми схрещувань, всі можливі генотипи рослин із жовтим забарвленням сім'ядолей. Визначити, як упадкується забарвлення сім'ядолей у гороха?

22. При схрещуванні рослин квасолі з білими насінинами з рослинами, що дають коричневе насіння, в першому поколінні все насіння опинилося пурпурним, а в другому – 560 пурпурних, 188 коричневих, 265 білих. Як це можна пояснити? Визначити генотипи вихідних форм,  $F_1$  та  $F_2$ . Що одержимо, якщо гібриди першого покоління зворотньо схрестити з білозерним батьком? Коричневозерним батьком?

(Відповідь: тип взаємодії генів забарвлення – криптомєрія (відсутність фенотипового проявлення гена, якщо він не взаємодіє з неалельним геном):  $P: AAbb \times aaBB \rightarrow F_1: AaBb \rightarrow F_2: 9A-B- : 3A - bb : 3 aaB- : 1 aabb$ )  
9 пурп. : 3 коричн. : 4 білі

23\* Сутність так званого бомбейського феномену в тому, що в сім'ї, де батько мав  $O$  групу крові, а мати групу  $B$ , народилася дівчинка з  $O$  групою крові, що є зрозумілим. Але, коли дівчинка підросла й вийшла заміж за чоловіка з групою крові  $A$ , у них народилося дві дівчинки – перша з групою крові  $AB$ , друга – з групою  $O$ . Народження дівчинки з групою крові  $AB$  від матері з групою  $O$  викликало явне непорозуміння. Але в літературі описано ще декілька подібних випадків. За повідомленням Макк'юсіка, деякі генетики пояснюють це явище рідким рецесивним епістатичним геном, здатним пригнічувати дію генів, що визначають групи крові  $A$  та  $B$ .

1) Приймаючи цю гіпотезу про присутність рецесивного алеля гена  $H$ , встановити генотипи особин всіх трьох поколінь, описаних в бомбейському феномені.

2) Визначити ймовірність народження дітей з  $O$  групою крові в сім'ї першої дочки з третього покоління, якщо вона вийде заміж за такого ж за генотипом чоловіка, як вона сама.

24. Забарвлення мишей визначається двома парами неалельних незчеплених генів. Домінантний алель однієї пари ( $C$ ) обумовлює сірий колір шерсті, рецесивний алель ( $c$ ) – чорний. Домінантний алель іншого

гена ( $I$ ) сприяє появі забарвлення, його рецесивний алель пригнічує забарвлення.

1) При схрещуванні сірих мишей між собою одержано 58 сірих і 19 чорних мишей. Визначити генотипи батьківських форм і потомства.

2) При схрещуванні сірих мишей між собою одержано потомство з 82 сірих, 35 білих та 27 чорних мишей. Визначити генотипи батьків і потомства.

25. У тутового шовкопряда (*Bombyx mori*) забарвлення кокону визначається присутністю в генотипі двох доміантних алелів ( $A$ ) та ( $B$ ), а біла залежить від рецесивних алелів ( $a$ ) та ( $b$ ). В результаті схрещування двох різних білококонних порід можуть з'явитися жовтококонні гібриди. Визначити  $F_1$  та розщеплення в  $F_2$  за генотипом й фенотипом.

26. При схрещуванні чорного кроля з білим половина гібридів  $F_1$  має чорний колір шерсті, половина – сірий. У другому поколінні отримано 16 сірих кролів, 14 чорних, 10 білих. Визначити генотипи батьків, потомства  $F_1$  та  $F_2$ .

27. При самозапиленні зеленої рослини гороху одержано 544 зелених і 45 хлорофільних світло-зелених рослин. Пояснити розщеплення. Визначити генотип вихідної рослини. Як можна використовувати мутантні рослини для подальшої селекційної роботи, якщо вони опиняться життєздатними?

28. Від шлюбу негрів і білих народжуються мулати. Аналіз потомства великої кількості шлюбів між мулатами дав розщеплення 1 : 4 : 6 : 4 : 1. Фенотипово це були чорні і білі нащадки, мулати, а також темні й світлі мулати. Визначити кількість генів, що обумовлюють забарвлення шкіри, характер їх взаємодії та генотипи батьків й нащадків. Як ви вважаєте, чи може від шлюбу білої жінки з мулатом або з африканським негром народитися зовсім чорна дитина-негр? Чому?

29. Зелена рослина кукурудзи при самозапиленні дає близько 15/16 зелених і 1/16 білих (летальних) сіянців. Пояснити ці результати, визначити генотип вихідної рослини.

(Відповідь: забарвлення рослини контролюється двома парами неалельних генів, які взаємодіють за типом некумулятивної полімерії.  $P : A_1a_1A_2a_2$ ).

30. 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 курчеченя мали оперені та 5 – голі ноги. Коли схрестили особин з  $F_1$  із голоногими особинами з  $F_2$ , то одержали 37 курчат з опереними та 11 з голими ногами. Як успадковується ознака? Визначити генотипи вихідних півнів та курок.

31. У вівса колір зерен визначається двома парами незчеплених між собою генів. Один доміантний ген обумовлює чорний колір, другий –



сірий. Ген чорного кольору пригнічує ген сірого кольору. Обидва рецесивні алелі обумовлюють біле забарвлення.

1) При схрещуванні чорнозерного вівса в потомстві спостерігається розщеплення на 12 чорнозерних, 3 сірозерних та 1 з білими зернами. Визначити генотипи особин, що схрещуються, та генотипи їх потомства.

2) При схрещуванні білозерного вівса з чорнозерним одержано половину рослин з чорними зернами, половину з сірими. Визначити генотипи форм, які схрещувалися.

32. При схрещуванні жовтоплідного гарбуза з білим все потомство мало білі плоди. При схрещуванні одержаних гібридів між собою в  $F_2$  відбулося розщеплення: рослин з білими плодами – 204, із жовтими – 53, із зеленими – 17. Визначити генотипи батьків і нащадків.

33. Червоне забарвлення цибулини цибулі визначається домінантним геном, жовте – його рецесивним алелем. Але проявлення гена забарвлення можливе лише за присутності іншого, незчепленого з ним домінантного гена, рецесивний алель якого пригнічує забарвлення і цибулини опиняються білими. Рослина з червоною цибулиною схрещена з рослиною з жовтою цибулиною. В потомстві з'явилися форми з червоними, жовтими й білими цибулинами. Визначити генотипи батьків і потомства.

34. У людини є декілька форм спадкової короткозорості. Помірна форма (від  $-2,0$  до  $-4,0$ ) і висока (вище  $-5,0$ ) передаються як аутосомні домінантні незчеплені між собою ознаки (А.А.Малиновський, 1970). В сім'ї, де матір була короткозорою, а батько мав нормальний зір, народилося двоє дітей: дочка й син. У дочки виявилася помірна форма короткозорості, а у сина – висока.

Визначити ймовірність народження наступної дитини в сім'ї без аномалії, якщо відомо, що у матері короткозорістю страждає тільки один з батьків. Слід мати на увазі, що у людей, які мають гени обох форм короткозорості, проявляється лише одна – висока. (Відповідь:  $1/16$ ).

35. У папуг-нерозлучників колір пір'я визначається двома парами незчеплених неалельних генів. Сполучення двох домінантних генів визначає зелений колір, сполучення домінантного гена з однієї пари та рецесивних генів з другої визначає жовтий або блакитний колір, рецесивні особини за обома парами мають білий колір.

1) При схрещуванні зелених папуг-нерозлучників між собою одержано потомство із 55 зелених, 18 жовтих, 17 блакитних та 6 білих. Визначити генотипи батьків і потомства.

2) Зоопарк прислав замовлення на білих папужок. Але схрещування існуючих зелених та блакитних особин не давало білих папужок. Визначити генотипи існуючих на фермі птахів. (Відповідь: зелені  $AABB$ , блакитні  $AAbb$  або  $Aabb$ ).

36. При схрещуванні чорних собак породи кокер-спанієль одержано потомство чотирьох мастей: 9 чорних, 3 рудих, 3 коричневих, 1 світло-жовтий. Чорний кокер-спанієль був схрещений із світло-жовтим. Від цього схрещування в пометі було світло-жовте цуценя.

Яке співвідношення мастей в потомстві можна очікувати від схрещування того ж самого чорного спанієля із собакою однакового з ним генотипа?

37. Квітки запашного горошку бувають білі і червоні. При схрещуванні двох рослин з білими квітками все потомство опинилося з червоними квітками. При схрещуванні нащадків між собою виявлені рослини з червоними і білими квітками у відношенні 9 червоних та 7 білих.

Визначити генотипи батьків й нащадків першого та другого покоління, дати характеристику генам.

38. Форма плодів у гарбуза може бути сферичною, дископодібною та подовженою і визначається двома парами незчеплених неалельних генів.

1) При схрещуванні двох рослин із сферичною формою плода одержано потомство із рослин, які дають лише дископодібні плоди. При схрещуванні дископодібних гарбузів між собою одержано потомство з рослин, які дають всі три форми плода: з дископодібними плодами – 9, із сферичними – 6, із подовженими – 1. Визначити генотипи батьків і потомства першого і другого покоління.

2) При схрещуванні дископодібних гарбузів з рослинами, які дають подовжені плоди, в потомстві одержано співвідношення: 1 дископодібний: 2 сферичних: 1 подовжений. Визначити генотипи рослин, що схрещуються, та їхніх нащадків.

3) При схрещуванні дископодібних гарбузів із сферичними одержано потомство, яке наполовину складалося з рослин із дископодібними плодами, наполовину – із сферичними. Визначити генотипи рослин, що схрещувалися, та їхніх нащадків.

39. Кольорові варіації в забарвленні коней визначаються сполученням трьох пар незчеплених неалельних генів. Різним мастям відповідають наступні генотипи:

$aaB - E$  – гніда масть

$aabbee$  – руда

$A - B - E$  – савраса

$A - bbE$  – булано-савраса

$A - bbee$  – солова

$A - B - ee$  – мишаста

$aaB - ee$  – бура

$aabbE$  – буланна

1) Схрещувалися гомозиготні саврасі та руді коні. Визначити ймовірні співвідношення мастей від схрещування їх нащадків між собою.

2) При схрещуванні руді та саврасі коней народилося руде лоша. Яка ймовірність того, що друге лоша від цього схрещування буде теж рудим?

40. У норок, які розводяться в звірівницьких господарствах, колір хутра визначається двома парами незчеплених неалельних генів. Домінантні гени обох алелів визначають коричневе забарвлення. Рецесивні алелі обох пар визначають платинове забарвлення хутра.

1) Які нащадки утворюються при схрещуванні двох гетерозиготних за обома парами генів норок? (Відповідь: 15 коричневих : 1 платинова)

2) При схрещуванні яких батьківських пар все потомство опиниться коричневим? (Відповідь: В усіх випадках, коли не можуть утворюватися подвійні рецесивні гомозиготи (аавв), а їх утворення можливе лише в тому випадку, коли обидва батьки будуть мати одночасно хоча б по одному рецесивному гену з кожного алеля).

41. У грициків звичайних плоди бувають трикутної та овальної форми. Форма плода визначається двома парами незчеплених неалельних генів. В результаті схрещування двох рослин в потомстві опинилися форми з трикутними і овальними стручками у відношенні 15 трикутних до 1 овального.

Визначити генотипи й фенотипи батьків і нащадків.

42. У курей білих леггорнів забарвлення оперіння контролюється двома групами генів:  $W$  – білий колір домінує над  $w$  – кольоровим,  $B$  – чорний колір домінує над  $b$  – коричневим. Гетерозиготне потомство  $F_1$  має генотипи  $WwBb$  і біле забарвлення. Пояснити взаємодію між генами і вказати чисельні співвідношення фенотипів в  $F_2$ .

43. При схрещуванні собак коричневої масті з білими собаками все потомство опинилося білої масті. Серед потомства великої кількості схрещувань цих гібридів між собою виявилось 118 білих, 32 чорних, 10 коричневих цуценят.

Пояснити генетично ці результати. Визначити генотипи батьків і потомства.

44. Дати єдине генетичне пояснення, яке було б справедливе до всіх наведених випадків успадкування забарвлення у кролів. Позначити алелі і описати генотипи батьків.

а) батьки білі, нащадки всі чорні;

б) батьки чорні, в потомстві  $\frac{3}{4}$  чорних,  $\frac{1}{4}$  білих; в) батьки білі, все потомство біле;

г) батьки білі, в потомстві  $\frac{1}{2}$  чорних та  $\frac{1}{2}$  білих особин.

45. Припустимо, що у людини різниця в кольорі шкіри обумовлена в основному двома парами генів, які успадковуються незалежно:  $A_1A_1A_2A_2$  – чорна шкіра,  $a_1a_1a_2a_2$  – біла. Будь-які три домінантні гени дають темне забарвлення шкіри, будь-які два – смагляве, один домінантний ген – світле. Один з батьків смаглявий, інший – світлошкірий. З великої кількості їх дітей  $\frac{3}{8}$  було смаглявих,  $\frac{3}{8}$  – світлошкірих,  $\frac{1}{8}$  – темношкірих,  $\frac{1}{8}$  – білих. Визначити генотипи батьків.

## 5.2. Відхилення, що пояснюються особливостями успадкування окремих генів

### 5.2.1. Зчеплене із статтю успадкування ознак. Біологія статі

Більшість вищих організмів двостатеві, вони несуть однакові хромосоми – аутосоми і хромосоми, за якими розрізняються – статеві хромосоми. Причому одна стать має однакові статеві хромосоми –  $XX$  і називається гомогаметною, а інша – різні :  $XU$  або  $XO$  і називається гетерогаметною. Статеві хромосоми гетерогаметної статі  $XU$ , а нею може бути або самка (птахи, метелики), або самець (двокрилі комахи, дрозофіла, більшість ссавців) розрізняються морфологічно і багаті на гетерохроматин, особливо  $U$ -хромосома.

Гени статевих хромосом можна поділити на три групи. До першої відносяться гени, що локалізовані тільки в  $U$ -хромосомі. Це – голандричні (чоловічі) або гологенічні (жіночі) гени, що залежить від того, яка стать є гетерогаметною. Ознаки, які визначаються цими генами, успадковуються лише від батька до сина, або від матері до дочки. Наприклад, у людини описана ознака – волохаті вуха (гіпертріхоз), який буває лише у чоловіків і передається від батька всім синам. Отже, ген, що її обумовлює, локалізований в  $U$ -хромосомі. У чоловічих рослин дрьоми *Melandrium sp.* описаний ген – інгібітор плямистості листя, який передається від чоловічої рослини чоловічій.

Гени другої групи локалізовані тільки в  $X$ -хромосомі і відсутні в  $U$ -хромосомі. Ознаки, які детермінуються цими гологенічними генами, називають “зчепленими із статтю”. Стать ці гени не визначають і називаються так тому, що локалізовані в статевій хромосомі. Характер успадкування ознак, зчеплених із статтю, відрізняється від усіх інших: 1) реципрокні схрещування дають різні результати; 2) в одному напрямі схрещування в  $F_1$  має місце одноманітність; а в іншому – розщеплення, причому дочки схожі на батька, а сини на матір (успадкування хрест – нахрест, або кріс-крес); 3) в другому поколінні гібридів в тому напрямі схрещування, де в  $F_1$  була одноманітність, розщеплення буде 3:1, по Менделю, з тією лише різницею, що  $1/4$  рецесивів складатимуть особи однієї статі; в другому напрямі схрещування в  $F_2$  розщеплення за вивчаємою ознакою буде 1:1 серед самок і самців. Якщо ознака успадковується так, то можна стверджувати, що ген, який її визначає, локалізований в  $X$ -хромосомі, а в  $U$ -хромосомі такого алеля немає. До числа таких ознак відносяться, наприклад, гемофілія і дальтонізм у людини, вузьке листя у *Melandrium alba* тощо.

Третя група генів, локалізованих в статевих хромосомах, не відрізняється від аутосомних, оскільки їх алелі знаходяться і в  $X$ -, і в  $U$ -

хромосомі. Як правило, між ними йде кросинговер. Ознаки, які визначаються цими генами, називаються частково зчепленими із статтю. Успадкування цих ознак відрізняється від успадкування аутосомних тільки тим, що в  $F_2$  при розщепленні за певною ознакою  $3:1 \frac{1}{4}$  особин з рецесивною ознакою буде завжди однієї статі, тієї, яку мала вихідна особина з рецесивною ознакою (або онук буде таким, як дідусь, або у онуки проявиться ознака бабусі). Це означає, що результати реципрокних схрещувань будуть відрізнятися тільки в  $F_2$ . Прикладом може служити загальна кольорова сліпота у людини, аномалії квіток у дрьоми.

Знання цих особливостей успадкування дає можливість легко виявити ознаки, які визначаються генами, локалізованими в статевих хромосомах, тобто встановити групу зчеплення.

### Методика і приклади розв'язання типових генетичних задач

На відміну від аутосомних генів, які при розв'язуванні задач позначалися заглавними літерами абетки ( $A, B, C$  або  $a, b, c$  і т.д.), гени, локалізовані в статевих хромосомах, позначаються, наприклад,  $X^A$  або  $X^a$  (гетерозигота),  $X^A X^A$ ,  $X^a X^a$  (гомозигота). Крім того, гени статевих хромосом можна позначити також у гомогаметної статі так:  $X^{Ab} X^{ab}$ , у гетерогаметної:  $X^{Ab} Y$  або  $X^{ab} Y$ .

Рецесивні гени гемофілії і дальтонізма містяться в  $X$ -хромосомі і їх позначають: гемофілії –  $X^h$ , дальтонізма –  $X^d$ , а домінантні алелі цих генів – відповідно  $X^H$  та  $X^D$ .

В залежності від цілей генетичного аналізу задачі з даної теми можна умовно поділити на дві групи :

- за фенотипом нащадків  $F_1$  та  $F_2$  необхідно визначити генотипи форм, що схрещуються, і локалізацію генів;
- за фенотипом батьківських форм треба визначити розщеплення в потомстві за генотипом і фенотипом.

Розглянемо приклади розв'язування генетичних задач першої групи.

#### Задача 1.

При схрещуванні кішок з різним забарвленням шерсті було одержано:

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

Визначити генотипи форм, що схрещуються, і локалізацію генів.

Дано:

P: ♀ чорні x ♂ руді

F<sub>1</sub>: ♀ черепахові, x ♂ чорні

F<sub>2</sub>: ♀ черепахові і чорні

♂ чорні і руді

A – ген, що визначає чорний колір

a – ген рудого кольору

P ♀ – ? P ♂ – ?

♀ руді x ♂ чорні

♀ черепахові x ♂ руді

♀ черепахові і руді

♀ чорні і руді

### Розв'язання.

1) Про те, що гени, які визначають наведені ознаки, містяться не в аутосомах, свідчать різні результати реципрокних схрещувань в F<sub>1</sub>. Таким чином, гени локалізовані в статевих хромосомах.

2) Тепер необхідно визначити, з якою саме з трьох груп генів (див. вище) ми маємо справу. Оскільки в F<sub>1</sub> та в F<sub>2</sub> з'явилися самки черепахового забарвлення, робимо висновок, що в гетерозиготі проявляються ознаки обох батьків, тобто має місце кодомінування.

P: X<sup>A</sup> X<sup>A</sup> x X<sup>a</sup> Y  
чорні руді

F<sub>1</sub>: X<sup>A</sup> X<sup>a</sup> x X<sup>A</sup> Y  
черепахові чорні

F<sub>2</sub>: X<sup>A</sup> X<sup>A</sup>; X<sup>A</sup> X<sup>a</sup>; X<sup>a</sup> Y; X<sup>A</sup> Y  
чорні черепахові руді чорні

F<sub>2</sub>:

♀ \ ♂	X <sup>A</sup>	Y
X <sup>A</sup>	X <sup>A</sup> X <sup>A</sup>	X <sup>A</sup> Y
X <sup>a</sup>	X <sup>A</sup> X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup> Y

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

P: X<sup>a</sup> X<sup>a</sup> x X<sup>A</sup> Y  
руді чорні

F<sub>1</sub>: X<sup>A</sup> X<sup>a</sup> x X<sup>a</sup> Y  
черепахові руді

F<sub>2</sub>: X<sup>A</sup> X<sup>a</sup>; X<sup>a</sup> X<sup>a</sup>; X<sup>A</sup> Y; X<sup>a</sup> Y  
черепахові руді чорні руді

F<sub>2</sub>:

♀ \ ♂	X <sup>a</sup>	Y
X <sup>A</sup>	X <sup>A</sup> X <sup>a</sup>	X <sup>A</sup> Y
X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup> X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup> Y

Спостерігаємо повне співпадання з умовами задачі. Отже, висловлена нами гіпотеза про зчеплене із статтю успадкування ознаки – забарвлення шерсті, була справедлива, а ген  $A$ -а локалізований в  $X$ -хромосомі.

Відповідь: *генотипи батьківських форм* : 1)  $X^A X^A$  ;  $X^a Y$ ; 2)  $X^a X^a$ ;  $X^A Y$ .

Залишається лише додати, що забарвлення шерсті у кішок, мишей та інших ссавців відноситься до числа автономних ознак, тобто визначається генотипом клітини, з якої росте шерстинка, а не генотипом особини. Генотип гетерозиготних ( $Aa$ ) кішок однаковий, а фенотип окремих клітин (шерстинок) різний. Це пов'язано з тим, що у ссавців існує механізм, який вирівнює дозу генів в статевих хромосомах (самка має дві, а самець – одну  $X$ -хромосому), який зводиться до інактивації однієї  $X$ -хромосоми самки з утворенням тільця статевого хроматина (тільця Барра), причому інактивація випадкова. Тому генотип "працюючих"  $X$ -хромосом в клітинах гетерозиготних самок буває двох типів – або  $A$ , або  $a$ . Шерсть самки стає пістрявою, точніше змішаною. У самців такого бути не може, генотипи особини і клітини співпадають, так як в клітинах є єдина  $X$ -хромосома : або  $A$ , або  $a$ . Але самці дуже рідко, але бувають черепаховими, якщо зигота  $XXY$  виникає внаслідок нерозходження хромосом в оогенезі ( $XX$ -гамета) або в сперматогенезі ( $XY$ -гамета). У ссавців на відміну від дрозофіли зиготи  $XXY$  – самці. В цьому випадку і кіт може бути гетерозиготою, отже, мати черепахове забарвлення.

## Задача 2.

У курей смугасте забарвлення оперіння визначається домінантним зчепленим із статтю геном  $B$ , чорне –  $b$ ; темне забарвлення шкіри залежить від аутосомного гена  $S$ , біла –  $s$  ; трояндоподібний гребінь –  $R$ , листкоподібний –  $r$ . Аутосомний ген  $C$  в гетерозиготному стані ( $Cc$ ) обумовлює коротконогість, а в гомозиготному ( $CC$ ) має летальний ефект, рецесивна гомозигота ( $CC$ ) має нормальну довжину ніг.

а) Чорний темношкірий півень з трояндоподібним гребнем схрещений зі смугастою темношкірою куркою, яка має листкоподібний гребінь. Серед курчат 6 смугастих темношкірих півників, 2 смугастих білошкірих півника, 5 чорних темношкірих курочок і 2 чорні білошкірі курочки. Всі курчата з трояндоподібним гребнем. Визначити генотипи батьків.

Дано :

B – ген смугастого забарвлення пір'я

b – ген чорного забарвлення

S – ген темного забарвлення шкіри

s – ген білого забарвлення шкіри

R – ген трояндоподібного гребня

r – ген листкоподібного гребня

P: ♂ чорний темношкірий з трояндоподібним гребнем

♀ смугаста темношкіра з листкоподібним гребнем

F1: ♀ 5 чорних темношкірих з трояндоподібним гребнем

2 чорних білошкірих з трояндоподібним гребнем

♀ 6 смугастих темношкірих з трояндоподібним гребнем

2 смугастих білошкірих з трояндоподібним гребнем

---

P ♀ – ? P ♂ – ?

Розв'язання.

1) Згадаємо, що у птахів гомогаметною є чоловіча стать (XX або ZZ), а гетерогаметною – жіноча (XY або ZW). Тоді за статевими хромосомами генотипи батьків будуть ♀ Z<sup>B</sup>W x ♂ Z<sup>b</sup>Z<sup>b</sup>.

2) Аналізуємо розщеплення за фенотипом за аутосомними генами. За забарвленням шкіри розщеплення відбувалось у співвідношенні 3:1, причому таке розщеплення спостерігалось у особин обох статей. Тому припускаємо, що у обох батьківських форм гени, які обумовлюють цю пару ознак, гени знаходяться у гетерозиготному стані :

P : Ss × Ss  
F<sub>1</sub> : 1 SS : 2 Ss : 1 ss  
3 : 1  
темношкірих білошкірих  
(6 або 5) (2)

За іншим аутосомним геном, що обусловлює форму гребня у курей, у нащадків спостерігається одноманітність. Тому за цими парами генів генотипи батьківських форм :

P : RR x rr

F<sub>1</sub> : Rr

всі трояндоподібні

3) Визначаємо генотипи батьківських форм:

♂ Z<sup>b</sup>Z<sup>b</sup> SsRR ; ♀ Z<sup>B</sup>W Ss rr

4) Перевіримо правильність одержаних результатів

P (F<sub>1</sub>): Z<sup>B</sup>W Ss rr x Z<sup>b</sup>Z<sup>b</sup> Ss RR



F<sub>2</sub>:

♀			♂	Z <sup>b</sup> Sr	Z <sup>b</sup> sr	}	♂
			Z <sup>B</sup> Sr	Z <sup>B</sup> Z <sup>b</sup> SSrRr	Z <sup>B</sup> Z <sup>b</sup> SsRr		
			Z <sup>B</sup> sr	Z <sup>B</sup> Z <sup>b</sup> SsRr	Z <sup>B</sup> Z <sup>b</sup> ssRr		
			WSr	Z <sup>b</sup> WSSrRr	Z <sup>b</sup> WSsRr		
♀				Z <sup>b</sup> WSsRr	Z <sup>b</sup> WssRr	}	♀
Wsr	Z <sup>b</sup> WSsRr	Z <sup>b</sup> WssRr					

F<sub>2</sub>: ♂    3 Z<sup>B</sup>Z<sup>b</sup>S–Rr    :    1 Z<sup>B</sup>Z<sup>b</sup>ssRr

смуґасті темношкірі
смуґасті світлошкірі

з трояндоподібним гребнем
з трояндоподібним гребнем

F<sub>2</sub>: ♀    3 Z<sup>B</sup>WS–Rr    :    1 Z<sup>B</sup>WssRr

чорні темношкірі
чорні білошкірі

з трояндоподібним гребнем
з трояндоподібним гребнем

Отже, генотипи батьківських форм визначені вірно.

*Відповідь : генотипи батьків : Z<sup>B</sup>WSrr; Z<sup>b</sup>Z<sup>b</sup>SsRR.*

### Задача 2 б)

Від невідомих курки і півня одержані курчата: 1/6 з нормальними ногами чорних курок, 1/6 з нормальними ногами смуґастих півників, 1/3 коротконогих чорних курочок; 1/3 коротконогих смуґастих півників. Визначити генотипи й фенотипи батьків.

Дано :

W – ген смуґастого забарвлення пір'я;

b – ген чорного забарвлення пір'я;

Cc – коротконогі особини;

cc – особини з нормальною довжиною ніг.

F<sub>1</sub>: ♀: 1/6 чорні з нормальними ногами

1/3 чорні коротконогі

♂: 1/6 смуґасті з нормальними ногами

1/3 смуґасті коротконогі

---

P ♀ – ? P ♂ – ?

Розв'язання:

1) Оскільки всі курочки в F<sub>1</sub> були чорні (за умовами задачі), генотип матері буде: Z<sup>B</sup>W, тобто вона була смуґастою.

Генотип півника за зчепленим зі статтю геном може бути тільки Z<sup>b</sup>Z<sup>b</sup>, тобто вихідна батьківська особина була чорною (успадкування ти-

пу кріс-крес). Якби півень був смугастим і гомозиготним за геном  $B$ , в  $F_1$  всі півники і курочки були смугасті :

$$\begin{array}{l}
 P : Z^B Z^B \times Z^b W \\
 F_1 \text{ ♂ } Z^B Z^b : \text{ ♀ } Z^b W \\
 \begin{array}{cc}
 \updownarrow & \updownarrow \\
 \text{смугасті} & \text{смугасті}
 \end{array}
 \end{array}$$

Тому припускаємо, що ген забарвлення оперіння у півників знаходиться у гомозиготному рецесивному стані і зчеплений з Х-хромосомою, а курки є гемізиготними за геном  $B$  :

$$\begin{array}{l}
 P : \text{ ♂ } Z^b Z^b \times Z^B W \\
 F_1 \text{ ♂ } Z^B Z^b : \text{ ♀ } Z^b W \\
 \begin{array}{cc}
 \updownarrow & \updownarrow \\
 \text{смугасті} & \text{чорні}
 \end{array}
 \end{array}$$

Розщеплення в  $F_1$  співпадає з умовами задачі.

2) Аналізуємо розщеплення в потомстві за аутосомними генами. Розщеплення в потомстві серед особин обох статей за геном довжини ніг вказує на те, що ці особини гетерозиготні за даним геном, інакше в  $F_1$  спостерігалася одноманітність гібридів за цією ознакою. Отже, припускаємо, що генотипи вихідних форм:  $CcZ^B W$ ;  $CcZ^b Z^b$ .

3) Перевіримо правильність цієї гіпотези.

$$P (F_1) : \text{ ♀ } CcZ^B W \times \text{ ♂ } CcZ^b Z^b$$

$F_2$  :

	♂		
		$CZ^b$	$cZ^b$
♀			
	$CZ^B$	$CCZ^B Z^b$	$CcZ^B Z^b$
	$cZ^B$	$CcZ^B Z^b$	$ccZ^B Z^b$
	$CW$	$CCZ^b W$	$CcZ^b W$
	$cW$	$CcZ^b W$	$ccZ^b W$

} ♂  
} ♀

Оскільки за умовами задачі (див. стор.87) аутосомний ген  $C$  в гомозиготному стані має летальний ефект, то такі зиготи гинуть (на решітці Пенета вони закреслені). Підрахуємо розщеплення за фенотипом в  $F_2$ :

$$\begin{array}{ccccccc}
 F_2 : \text{ ♂ } & 2/6 \text{ або } 1/3 & : & 1/6 \text{ } ccZ^B Z^b & F_1 : & 2/6 \text{ або } 1/3 & CcZ^B W : 1/6 \text{ } ccZ^b W \\
 & CcZ^B Z^b & & & & & \\
 & \updownarrow & & \updownarrow & & \text{коротконогі} & \text{чорні з норма-} \\
 & \text{смугасті} & & \text{нормальні} & & \text{чорні} & \text{льними ногами}
 \end{array}$$

Відповідь : генотипи батьківських форм: ♀  $CcZ^B W$  (коротконога смугаста); ♂  $CcZ^b Z^b$  (коротконогий чорний).

Розглянемо задачі іншого типу.

II-й тип. Визначення розщеплення в потомстві за фенотипом і генотипом при заданих фенотипах батьківських форм.

**Задача 1.**

У людини класична гемофілія успадковується як зчеплена з Х-хромосомою рецесивна ознака. Альбінізм ( відсутність пігментації) обумовлений аутосомним рецесивним геном. У однієї подружньої пари, нормальної за цими двома ознаками, народився син з обома аномаліями. Визначити ймовірність того, що у другого сина в цій сім'ї проявляться також обидві аномалії одночасно.

Дано:

$X^h$  – ген гемофілії

$X^H$  – ген норми

$a$  – ген альбінізму

$A$  – ген норми

$F_2$  – ?

Розв'язання

1) Визначаємо генотипи батьків. За умовами задачі обидва батьки нормальні, отже, у них обов'язково є по домінантному гену з кожної пари ( $X^H$  та  $A$ ).

Син має обидві аномалії, його генотип  $X^h Y a a$ .  $X$ -хромосому з геном гемофілії він міг успадкувати тільки від матері. Один з генів альбінізму син одержав від матері, інший – від батька. Таким чином генотип матері  $X^H X^h A a$ , генотип батька  $X^H Y A a$ .

2) Визначаємо можливі генотипи і фенотипи дітей.

При такому шлюбі ймовірні генотипи дітей :

P ( $F_1$ ):  $X^H X^h A a \times X^H Y A a$

$F_2$ :

$\begin{matrix} \text{♀} \\ \text{♀} \end{matrix} \backslash \begin{matrix} \text{♂} \\ \text{♂} \end{matrix}$	$X^H A$	$X^H a$		$Y A$	$Y a$	
$X^H A$	$X^H X^H A A$	$X^H X^H A a$	} ♀	$X^H Y A A$	$X^H Y A a$	} ♂
$X^h A$	$X^H X^h A A$	$X^H X^h A a$		$X^h Y A A$	$X^h Y A a$	
$X^H a$	$X^H X^H A a$	$X^H X^H a a$		$X^H Y A a$	$X^H Y a a$	
$X^h a$	$X^H X^h A a$	$X^H X^h a a$		$X^h Y A a$	$X^h Y a a$	

Отже, ймовірність того, що у здорової подружньої пари народиться син гемофілін і альбінос, дорівнюватиме  $1/8$ .

3) Визначаємо ймовірність народження другого сина з цими аномаліями.

Ймовірність того, що наступна дитина буде сином, дорівнює  $1/2$ . З числа синів лише  $1/8$  частина може мати одночасно обидві аномалії.

Для розрахунку кінцевого результату ймовірності знаходиться добуток  $1/2 \times 1/8 = 1/16$ .

Відповідь: ймовірність того, що у другого сина в цій сім'ї проявляться обидві аномалії, дорівнює 1/16.

**Задача 2.**

У курки внаслідок захворювання яєчник дегенерував, а з правої гонади розвинувся сім'яник. В результаті ця особина стала функціонувати як самець. Яке співвідношення за статтю слід очікувати від схрещування такої особини з нормальною куркою?

Розв'язання.

Відомо, що у птахів, в тому числі у курей, гетерогаметною статтю є жіноча. При перевизначенні статі в результаті захворювання генотип особини не змінився і, хоч курка функціонувала як півень, у неї утворювалися у рівному співвідношенні два типи сперматозоїдів : з Z-хромосою та без неї. Схрещування даної особини з нормальною самокою можна записати таким чином :

$P: ZW \times ZW$  ( перевизначений самець )

$G: Z; W; Z; W$

$F_1: 1 ZZ : 2 ZW : 1 WW$   
           ♂          ♀          <sub>гинуть</sub>

Відповідь: В потомстві перевизначеної особини з нормальною куркою очікується співвідношення за статтю : 2 частини курочок та 1 частина півників.

**Задача 3.**

У нормальної жінки народилося троє синів : один – гемофілік і дальтонік, другий – гемофілік з нормальним зором, третій – нормальний за обома ознаками.

Чим це можна пояснити ?

Розв'язання задачі.

Генотип одного сина –  $X^{hd}Y$ , другого –  $X^{hd}Y$ , третього –  $X^{HD}Y$ . Отже, вони отримали від матері хромосоми типів  $X^{hd}$ ,  $X^{hd}$ ,  $X^{HD}$ . Це можливо в тому випадку, коли між X-хромосомами матері відбувається кросинговер. У матері в результаті кросинговеру утворюються гамети

$G: X^{HD}, X^{hd}, X^{Hd}, X^{hd}$ .

$P: X^{HD} X^{hd} \times X^{HD} Y$

$F_1$  (хлопчики):

♀	♂	Y
$X^{HD}$		$X^{HD}Y$
$X^{hd}$		$X^{hd}Y$
$X^{Hd}$		$X^{Hd}Y$
$X^{hd}$		$X^{hd}Y$

$F_1: X^{hd}Y; X^{Hd}Y; X^{hD}Y; X^{HD}Y.$

*Відповідь : Поява у матері трьох синів з різними фенотипами пояснюється тим, що під час утворення гамет в мейозі між X-хромосомами відбувається кросингвер.*

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

1. У дрозофіли гени кольору очей знаходяться в X-хромосомі. Мухи дикої раси мають червоні очі. Червоний колір очей домінує над білим (мутація *White*, рецесивний ген білоокості *w* ).

а) Гомозиготна червоноока самка схрещена з білооким самцем. Визначити колір очей у самок і самців в першому і в другому поколіннях.

б) Білоока самка схрещена з червонооким самцем. Визначити колір очей у самок і самців в першому і другому гібридних поколіннях.

в) В лабораторії схрещували червонооких мух дрозофіл з червоноокими самцями.

В потомстві опинилося 69 червонооких та білооких самців і 71 червоноока самиця. Визначити генотипи батьків і потомства.

2. У деяких порід курей гени, що визначають білий колір і смугасте забарвлення оперіння, зчеплені з X-хромосомою. Смугастість домінує над білим суцільним забарвленням. Гетерогаметна стать у курей жіноча.

а) На птахофермі білих курей схрестили із смугастими півнями і одержали смугасте оперіння як у півників, так і у курей. Потім схрестили особин, одержаних від першого схрещування, між собою і одержали 594 смугастих півника і 607 смугастих і білих курочок. Визначити генотипи батьків і нащадків першого і другого поколінь.

б) У юнатів є смугасті півні і білі кури. Від їх схрещування одержано 40 смугастих півників і курок та 38 білих півнів і курок. Визначити генотипи батьків і потомства.

3. Селекціонери в деяких випадках можуть визначити стать курчат, які незабаром вилупилися. За якими генотипами батьківських форм це можливо зробити, якщо відомо, що гени золотистого (коричневого) і сріблястого (білого) оперіння розміщені в Z-хромосомі і ген золотистого оперіння рецесивний по відношенню до сріблястого?

4. Гіпоплазія емалі (тонка зерниста емаль, зуби світло-бурого кольору) успадковується як зчеплена з X-хромосомою домінантна ознака. В сім'ї, де обидва батьки страждали відміченою аномалією, народився син з нормальними зубами. Визначити ймовірність того, що наступна їх дитина буде теж з нормальними зубами. (*Відповідь: 25%*).

5. Класична гемофілія успадковується як рецесивна зчеплена з X-хромосомою ознака.

а) Матір і батько здорові. Їхня єдина дитина страждає гемофілією. Хто з батьків передав дитині ген гемофілії ?

б) Здорова жінка, гетерозиготна за геном гемофілії, вийшла заміж за здорового чоловіка. Визначити ймовірність того, що їх дитина буде страждати гемофілією. У кого з дітей – синів або дочок – небезпека захворіти більша ?

в) Батько дівчини страждає на гемофілію, тоді як матір здорова і походить від сім'ї, в якій це захворювання не відмічалось. Дівчина виходить заміж за здорового юнака. Визначити можливість захворювання їх дітей й онуків обох статей.

г) Батько й син гемофіліки, а у матері нормальне зсідання крові. Від кого (матері чи батька) син успадкував захворювання ?

6. У людини ген, що викликає одну з форм кольорової сліпоти, або дальтонізм, локалізований в *X*-хромосомі. Стан хвороби обумовлений рецесивним геном, стан здоров'я – домінантним.

а) Дівчина, яка має нормальний зір, батько котрої був із кольоровою сліпотою, виходить заміж за нормального чоловіка, батько якого також страждав кольоровою сліпотою. Який зір можна очікувати у дітей від цього шлюбу?

б) Нормальні у відношенні зору чоловік і жінка мають : 1) сина, який страждає дальтонізмом і має нормальну дочку; 2) нормальну дочку, яка має одного нормального сина і одного сина – дальтоніка ; 3) Ще одну нормальну дочку, яка має п'ятеро нормальних синів. Визначити генотипи батьків, дітей і онуків.

7. Ангідрозна ектодермальна дисплазія (відсутність потовиділення, порушення терморегуляції) передається у людей як рецесивна, зчеплена з *X*-хромосомою ознака. Юнак, який не страждає цим недоліком, жениться на дівчинці, батько якої позбавлений потових залоз, а мати та її предки здорові. Визначити ймовірність того, що діти від цього шлюбу будуть страждати відсутністю потових залоз. (Відповідь: 25%).

8. Нормальна жінка виходить заміж за чоловіка, хворого ангідроною ектодермальною дисплазією. У них народжується хвора дівчинка і здоровий син. Визначити ймовірність народження наступної дитини без аномалії.

В Північній Кароліні вивчали появу в деяких сім'ях осіб, які характеризувалися нестачею фосфору в крові. Це явище було пов'язано із захворюванням специфічною формою рахиту, яка не піддається лікуванню вітаміном *D*. В потомстві від шлюбів 14 чоловіків, хворих цією формою рахиту, із здоровими жінками народилося 21 дочка і 16 синів. Всі дочки страждали нестачею фосфору у крові, а всі сини були здоровими. Яка генетична обумовленість цього захворювання? Чим воно відрізняється від гемофілії ?

9. У собак деяких порід відома мутація вкорочення кігтів на лапах, мутація рецесивна. При схрещуванні самки, яка має короткі когітки, з нормальним самцем в  $F_1$  всі цуценята мали нормальні кігті, а в  $F_2$  короткі когітки з'явилися у половини самок. В реципрокному схрещуванні всі особини першого покоління мали нормальні когітки, а в другому поколінні короткі кігті були знайдені у половини цуценят чоловічої статі. Як успадковується довжина кігтів у собак? Записати обидва схрещування у генетичній символіці.

10. Мутація, яка надає шкаралупі яєць зеленувато-блакитний колір (в порівнянні з нормальним білим), обумовлена мутуванням одного гена і є домінантною. Якими схрещуваннями і за допомогою яких критеріїв можна протягом двох поколінь в'яснити, чи є вказаний ген аутосомним або зчепленим із статтю, якщо є лише одна така курка, яка несе зеленувато-блакитні яйця?

Відповідь:

$$\begin{array}{l}
 Z^A W \times Z^a Z^a \quad F_2: 1/2 Z^A Z^a; 1/2 Z^a Z^a \quad 1) AA \times aa \quad 2) Aa \times aa \\
 F_1: Z^A Z^a \times Z^a W \quad 1/2 Z^A W; 1/2 Z^a W \quad F_1: Aa \times Aa \quad 1/2 Aa: 1/2 aa \\
 F_2: 1AA:2Aa:1aa
 \end{array}$$

11. Яке потомство слід очікувати в шлюбі між чоловіком з нормальним зором і жінкою – дальтоніком при нерозходженні у неї X-хромосом? Скільки тілець Барра може бути в соматичних клітинах нащадків?

Розв'язування.

Відповідь:  $P: X^d X^d \times X^D Y; \quad G_{\text{♀}}: X^d X^d; \quad O \quad G_{\text{♂}} \quad : \quad X^D; \quad Y$

З урахуванням нерозходження X-хромосом у жінки буде наступне

потомство:

$F_1: X^D X^d X^d$	:	$X^D O$	:	$X^d X^d Y$	:	$YO$
жінка з трисомією X, з нормальним зором		жінка з синдромом Тернера, з нормальним зором		чоловік з синдромом Клайнфельтера, дальтонік		зигота гине

Як відомо, у людини в кожній соматичній клітині активна лише одна X-хромосома, інша X-хромосома інактивується і утворює тільце Барра. Одже, індивіди з двома X-хромосомами мають одне тільце Барра, з трьома – два. В цьому схрещуванні всі чоловіки – нащадки будуть мати одне тільце Барра, а серед жінок половина буде мати два тільця в соматичних клітинах, а половина – жодного тільця не буде мати.

12. Дві червоноокі довгокрилі особини дрозофіли при схрещуванні між собою дали наступне потомство :

Самки: 154 червонооких довгокрилих, 48 червонооких з зачатковими крилами;

Самці: 98 червонооких довгокрилих, 95 білооких довгокрилих, 27 червонооких із зачатковими крилами, 30 білооких із зачатковими крилами. Яка генетична обумовленість цих ознак? Визначити генотипи батьків і потомства.

13. Відомий своїми дослідженнями в області молекулярної генетики Бензер одержав у дрозофіли серію поведінкових мутацій в  $X$ -хромосомі. Найцікавішими з його колекції мутантів були мухи з патологічною реакцією на ефірний наркоз, які одержали назву “знепритомнених мутантів”, тому що вони непритомніли від будь-якого шуму. Одного разу дослідник схрестив таку “непритомнілу” самку із самцем з чорним тілом. Як і очікувалося, в першому поколінні всі мухи опинилися сірими і лише самці  $F_1$  легко непритомніли. Визначити, яка частина потомства  $F_2$  і якої статі буде чорною і слабконервною одночасно.

*Відповідь: 1/8 частина особин другого покоління буде чорною і “знепритомнілою” одночасно.*

14. Ген “шерстистого” волосся у людини домінуючий і розміщений в одній з аутосом. Чоловік із звичайним волоссям, який не страждає дальтонізмом, вступає в шлюб з жінкою, яка теж не страждає дальтонізмом. У них народжується син – дальтонік з “шерстистим” волоссям. Визначити генотипи всіх індивідумів.

15. Гіпертріхоз успадковується як зчеплена з  $Y$ -хромосомою ознака, яка проявляється лише к 17 рокам життя. Одна з форм іхтіозу( лускатість і плямисте потовщення шкіри) успадковується як рецесивна, зчеплена з  $X$ -хромосомою ознака. В сім’ї, де жінка нормальна за обома ознаками, а чоловік є власником лише гіпертріхозу, народився хлопчик з ознаками іхтіозу. Визначити ймовірність проявлення у цього хлопчика гіпертріхозу. Визначити ймовірність народження в цій сім’ї дітей без обох аномалій і якої вони будуть статі.

16. В сім’ї, де жінка має першу групу крові, а чоловік – четверту, народився син дальтонік з третьою групою крові. Обидва батьки розрізняють кольори нормально. Визначити ймовірність народження в цій сім’ї здорового сина й можливі його групи крові. (*Відповідь: 25%, з групою крові A(II) або B(III).*)

17. Жінка з групою крові  $A$  і нормальним зсіданням крові (здорова) виходить заміж за здорового чоловіка з групою крові  $B$ .

Від цього шлюбу народилося три дитини: Катруся – здорова, з групою крові  $A$ , Віктор – здоровий з групою крові  $O$ , Гліб – гемофілік з групою крові  $A$ . Відомо, що батьки жінки були здорові, матір мала групу крові  $O$ , а батько  $AB$ . У чоловіка батько й матір здорові, групи крові  $A$  та  $B$  відповідно. Пояснити, від кого Гліб успадкував гемофілію. Визначити генотипи всіх членів родини.



18. У чоловіків аутосомний ген лисості  $S$  виступає як домінантний, а у жінок він рецесивний. Жінка, яка має лисого брата, виходить заміж за лисого чоловіка. Батько жінки теж був лисим. У них народився нормальний син і дуже рано облисіла дочка Таня. Таня виросла і вийшла заміж за нормального чоловіка. Яка ймовірність того, що у них народиться лисий син, дочка? Визначити генотипи всіх осіб.

19. У дрозофіли рецесивний ген  $lethal$  – 50, локалізований в  $X$ -хромосомі, має летальну дію (викликає загибель особини до вилуплення з яйця). Від самки, гетерозиготної за геном  $L$ , одержано 60 нащадків. Встановити співвідношення самок і самців у потомстві. (Відповідь: 30 самиць і 15 самців).

20. Відомо, що розрізаність края крила у дрозофіли визначається рецесивним геном  $cut$ . Є самки і самці дикої лінії з нормальними крилами і мухи з ознакою  $cut$ . Як треба провести схрещування, щоб визначити, в якій хромосомі (статевій чи аутосомі), локалізований цей ген?

21. У дрозофіли рецесивний ген жовтого забарвлення тіла  $yellow$  локалізований в  $X$ -хромосомі. Його домінантний алель викликає розвиток дикого сірого забарвлення. Схрещувалася жовта самка з сірим самцем. Особини першого покоління схрещувалися між собою. В другому поколінні одержано 30 жовтих і 27 сірих самок і 35 жовтих самців. Дати генетичне пояснення цьому результату.

22. Відомий коричневий тип папуг – нерозлучників. Коричневі самки схрещувалися з нормальним самцем, який має зелене забарвлення оперіння. Перше покоління складалося виключно із зелених птахів. При схрещуванні коричневого самця із зеленими самками в першому поколінні самці були зелені, а самки коричневі. Що можна сказати про локалізацію гена коричневого забарвлення і про те, домінантний він або рецесивний? (Відповідь: рецесивний, локалізується в  $X$ -хромосомі).

23. Рубиновоока самка дрозофіли схрещувалася із самцем дикого типу, який мав червоні очі. В потомстві одержано самок дикого типу, а самці рубиновоокі. При схрещуванні самок дикого типу з рубиновооким самцем одержано потомство тільки дикого типу. Визначити домінантна чи рецесивна рубиновоокість; зчеплена вона із статтю або аутосомна.

24. У невеликої рибки *Aplocheilus* дика форма має коричневе забарвлення. Відомі ще блакитна, червона і біла різновиди. Статеві хромосоми у самця –  $XU$ , у самки –  $XX$ . При схрещуванні цих різновидів одержані наступні результати :

І дослід:  $P$  ♀ біла  $\times$  ♂ червоний

$F_1$  всі червоні

$F_2$  ♀♀: 41 червона, 43 білих

♂♂: 76 червоних, 0 білих

II дослід:  $P \text{ ♀ біла} \times \text{♂ червоний}$  з попереднього дослідю

$F_1 \text{ ♀♀} : 0 \text{ червоних} : 197 \text{ білих}$

$\text{♂♂} : 251 \text{ червоний} : 0 \text{ білих}$

III дослід:  $P \text{ ♀ червона} \times \text{♂ білий}$

$F_1 \text{ всі червоні}$

$F_2 \text{ ♀♀} : 37 \text{ червоних} : 0 \text{ білих}$

$\text{♂♂} : 43 \text{ червоних} : 33 \text{ білих}$

Який тип успадкування червоного й білого забарвлення? Написати схему успадкування ознаки. (Відповідь: ген забарвлення присутній в обох статевих хромосомах).

25. У людини анірідія (вид сліпоти) залежить від домінантного аутосомного гена, а оптична атрофія (інший вид сліпоти) – від рецесивного зчепленого із статтю гена, локалізованого в X-хромосомі. Чоловік з оптичною атрофією жениться на жінці з анірідією. Визначити можливий фенотип потомства. Чи може народитися дитина (син або дочка) з обома видами сліпоти і в якому випадку?

### 5.2.2. Зчеплення генів і кросинговер

Спільне успадкування генів, які містяться в одній хромосомі, називається зчепленим успадкуванням. Гени однієї хромосоми утворюють групу зчеплення. Кількість груп зчеплення дорівнює кількості пар хромосом або їх гаплоїдній кількості. Якщо гени розташовані в одній парі гомологічних хромосом, то генотип гетерозиготної особини  $AaBb$  записують у вигляді  $Ab/ab$ . За повного зчеплення генів кросинговер між ними не відбувається, і тому утворюються лише два типи гамет в рівному співвідношенні. Отже, за повного зчеплення гени успадковуються як один ген. За неповного зчеплення генів в результаті кросинговеру у тієї ж особини утворюються такі типи гамет:

$aB, Ab$  – кросоверні гамети, які містять нові комбінації алелів.

$AB, ab$  – некросоверні гамети, які містять ті ж самі сполучення алелів різних генів, що й у вихідних форм.

Частота кросинговеру між генами прямопропорційна відстані між ними, яка вимірюється в одиницях кросинговеру – морганідах або сантиморганах. Один сантиморган ( $cM$ ) – це відстань між генами, за якої кросинговер відбувається з частотою 1%.

Для визначення характеру успадкування ознак (гени, що їх визначають, зчеплені або не зчеплені), необхідно провести аналізуюче схрещування гетерозиготної за цими генами особини з рецесивною гомозиготою за відповідними парами алелів. Якщо гени не зчеплені, в результаті схрещування утворюються декілька різних генотипів в рівному співвідношенні. Якщо гени зчеплені, частота кросинговеру між ними дорівнюватиме відсоткові кросоверних особин, отриманих при аналізу-

ючому схрещуванні, або відсоткові кросоверних гамет, які утворює гетерозиготна батьківська особина. Наприклад, у дрозофіли відстань між геном, що визначає колір тіла і геном, який визначає довжину крил, дорівнює 18 морганідам. Це означає, що при мейозі утворюватиметься 18% кросоверних гамет та 82% некросоверних, і 18% особин будуть мати новий генотип і фенотип, який не спостерігався у батьківських форм.

При розв'язанні задач з даної теми найчастіше зустрічаються наступні їх типи: 1) Визначення типів та кількості гамет при зчепленні генів; 2) Визначення характеру успадкування ознак (зчеплені гени або не зчеплені); 3) Визначення генотипу і фенотипу потомства при зчепленні генів; 4) Визначення місця локалізації генів в хромосомі, частоти кросинговера та відстані між генами.

### Приклади розв'язання задач

**1-ий тип задач.** Утворення гамет при зчепленні генів та їх співвідношення.

1. У дрозофіли гени  $A$  і  $B$  локалізовані в двох різних парах аутосом, а  $M$  і  $N$  – в тій самій аутосомі. Написати генотипи особин, гетерозиготних за генами  $A$  і  $B$ ,  $M$  і  $N$ . Скільки і які типи гамет утворюють такі особини ?

*Відповідь:* Якщо гени  $A$  і  $B$  не зчеплені, тобто:  $\frac{A}{a} \frac{B}{b}$ , то утворю-

ється 4 типи гамет в рівному співвідношенні (за правилом незалежного комбінування ознак):  $AB - 1/4$  частина,  $ab - 1/4$ ,  $aB - 1/4$ ,  $Ab - 1/4$ . Якщо

гени зчеплені, тобто  $\frac{MN}{mn}$ , то утворюватиметься теж 4 типи гамет,

але кросоверних гамет буде значно менше, ніж некросоверних:

MN	}	некросоверні гамети
mn		
Mn	}	кросоверні гамети
mN		

Кросоверні гамети містять нові комбінації алелів.

2. У дрозофіли рецесивний ген білоокості ( $w$ ) знаходиться в  $X$ -хромосомі в локусі 1,5, а домінантний ген зміненої форми черевця  $A$  (*Abnormal*) в тій самій хромосомі в локусі 4,5. Визначити типи і кількість гамет, що утворюються у мух наступних генотипів:

самка  $X^{WA}X^{wa}$ ; самець білокий з нормальним черевцем  $X^{wa}Y$ .

Відповідь:

Гамети самки:

$X^{wA}$   
 $X^{wa}$  } 97%  
 $X^{Wa}$   
 $X^{wA}$  } 3%

Відстань між генами:

$4,5 - 1,5 = 3\%$   
 кросинговера

Гамети самця:

G:  $X^{wa}$  50%  
 Y: 50%

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

Відповідь: Якщо зчеплені гени  $A$  і  $b$ , то утворюватимуться два типи гамет в рівному співвідношенні:  $Ab - 50\%$ ,  $aB - 50\%$ . Якщо зчеплені гени  $A$  і  $B$ , то утворюються два типи гамет в рівному співвідношенні  $AB - 50\%$ ,  $ab - 50\%$ .

4. Гени  $A$  і  $B$  зчеплені, кросинговер між ними складає 40%. Визначити, скільки з'явиться в потомстві дигетерозиготи  $AB/ab$  при її самозаплідненні форм  $aabb$  та  $A-bb$ ?

Відповідь: P:  $ABab \times ABab$

Складаємо решітку Пенета:

F1:

♂ \ ♀	30% AB	30% ab	20% aB	20% Ab
30% AB	9% ABAB	9% ABab	6% ABaB	6% ABAb
30% ab	9% ABab	9% aabb	6% aBaB	6% abAb
20% Ab	6% ABAb	6% Abab	4% AbaB	4% AbAb
20% aB	6% aBAB	6% aBab	4% aBaB	4% aBAb

G:    AB    }  
       ab    } некросовери  
 ♀     aB    }  
       Ab    } кросовери  
       aB    }  
       Ab    }

♂:    AB    }  
       ab    } некросовери  
       Ab    } кросовери  
       aB    }

Кількість кросоверних гамет відповідає відстані між генами, тобто 40%. Тоді кількість некросоверних гамет дорівнюватиме  $100\% - 40\% = 60\%$ . Кількість форм з генотипом  $A-bb$  буде:  $6\% Abab + 6\% Abab + 4\% AbAb = 16\%$ ; з генотипом  $aabb - 9\%$ .

5. Гени  $A$  і  $B$  зчеплені і кросинговер між ними складає 10%. Ген  $C$  знаходиться в іншій групі зчеплення. Які гамети і в яких співвідношеннях буде утворювати гетерозигота:  $\frac{AB}{ab} \frac{C}{c}$  ?

Відповідь: Спочатку визначаємо кількість кросоверних і некросоверних гамет при зчепленні генів  $A$  і  $B$ : 90% некросоверних  $AB$  і  $ab$ ; 10% кросоверних  $Ab$  і  $aB$ . При утворенні гамет кожна з цих комбінацій але-

лів може з рівною ймовірністю поєднуватись або з алелем  $C$ , або з алелем  $c$ . Внаслідок цього утворюються 8 типів гамет: 4 типи некросоверних  $ABC$ ,  $ABc$ ,  $abC$ ,  $abc$  по 22,5%; та 4 типи кросоверних гамет  $AbC$ ,  $Abc$ ,  $aBC$ ,  $aBc$  з частотою по 2,5% ( $10\%:4=2,5\%$ ).

6. Рецесивні гени  $a$  і  $v$  у людині обумовлюють присутність діабету і схильність до гіпертонічної хвороби. За деякими родоводами зроблено припущення, що ці гени зчеплені. Які типи гамет дасть жінка з генотипом  $AB//ab$  і чоловік з генотипом  $Ab//aB$ . Яка ймовірність у кожного з них передати потомству зразу обидва захворювання тієї ж дитині?

Відповідь:  $\frac{AB}{ab} \times \frac{Ab}{aB}$

$G: \text{♀ } \begin{matrix} AB \\ ab \end{matrix} \quad G \text{ ♂: } \begin{matrix} Ab \\ aB \end{matrix} \quad F_1: \frac{AB}{Ab}; \frac{AB}{aB}; \frac{Ab}{ab}; \frac{aB}{ab}$ .

Ймовірність у матері передати потомству обидва захворювання дорівнює 50%, у батька – нульова. Отже, з 50%-ною ймовірністю матір передасть дитині обидва захворювання разом.

**2-й тип задач.** Визначення характеру успадкування ознак (зчеплені гени або не зчеплені).

1. При схрещуванні особини, дигетерозиготної за генами  $A$  і  $B$ , з рецесивною гомозиготною особиною одержано розщеплення за фенотипом в процентному співвідношенні 25:25:25:25. Визначити, чи успадковуються ці гени зчеплено і пояснити відповідь генетичною символікою.

Відповідь: рівна кількість особин за всіма можливими сполученнями ознак вказує, що гени  $A$  і  $B$  знаходяться в різних групах зчеплення і комбінюються вільно. Таким чином, генотип особини, дигетерозиготної

за генами  $A$  і  $B$ , можна записати так:  $\frac{A}{A} \frac{B}{b}$  або  $AaBb$ .

2. В аналізуючому схрещуванні дрозофіли, дигетерозиготної за генами  $w$  (білі очі) і  $f$  (вільчасті щетинки), одержано два різних результати для двох самок, подібних за фенотипом (в %):

1)  $w^+f^+ : w^+f : wf^+ : wf = 41:9:9:41$

2)  $w^+f^+ : w^+f : wf^+ : wf = 9:41:41:9$

Визначити характер успадкування цих ознак. Написати генотип гетерозиготних особин в обох випадках; вказати, в чому відмінності їх генотипів. Визначити приблизну відстань між вказаними генами.

Відповідь: характер розщеплення при аналізуючому схрещуванні дрозофіли вказує, що гени  $w$  і  $f$  зчеплені неповністю, оскільки утворилося 4 класи розщеплення в різному співвідношенні: кросоверних особин – по 9%, некросоверів – по 41%. Тому робимо висновок, що в одній хромосомі у першій самки  $w^+f^+$  зчеплені гени, а в іншій гомологічній хромосомі –  $wf$  (кросоверів завжди менше). У другій самки некросоверні особини трап-

ляються з частотою по 41%, ( $w^+f^+wf^+$ ). Тому робимо висновок, що у цієї самки в одній гомологічній хромосомі зчеплені гени  $w$  і  $f^+$ , а в іншій  $w^+$  – і  $f$ . Таким чином, генотип першої самки  $w^+f^+wf$ , другої  $w^+fwf^+$ . Оскільки частота кросинговера прямо пропорційна відстані між генами і дорівнює відсоткові кросоверних особин, то у обох самок відстань між зчепленими генами дорівнюватиме  $9\%+9\%=18\%$ .

3. Самець рудого таргана-прусака, який має чорне тіло і блідні очі, схрестився із самкою з рудим тілом і опуклими очима сірого кольору. Усі нащадки першого покоління мали чорне тіло і очі нормального кольору і форми. Вони активно схрещувалися між собою і в  $F_2$  студенти підраховували: рудих з нормальними очима – 74 637, чорних з нормальними очима – 150 363, рудих з блідими очима нормальної форми – 363, чорних з блідими очима нормальної форми – 7 4637, рудих з опуклими очима кольору дикого типу – 24 879, чорних з опуклими очима кольору дикого типу – 50 121, рудих з опуклими блідими очима – 121, чорних з опуклими блідими очима – 24 876. Визначити, як успадковуються ці ознаки.

*Відповідь: аналіз гібридів  $F_1$  вказує на те, що чорне забарвлення тіла (A) домінує над жовтим (a), нормальна форма очей (B) – над опуклою (b) і сіре забарвлення очей (C) – над блідим (c). В  $F_2$  виникають 8 фенотипових класів у співвідношенні, яке не відповідає формулі незалежного комбінування генів (27:9:9:9:3:3:3:1) в чому легко впевнитися, поділивши загальну кількість нащадків на 64 частини ( $4^3=64$  можливих генотипи, див. розділ 3) і підрахувати теоретично очікувану кількість кожного фенотипового класу. Отже, всі три гени або зчеплені між собою, або два з них знаходяться в одній групі зчеплення, третій – в іншій. Для відповіді на це питання проаналізуємо у гібридів  $F_2$  успадкування лише двох ознак в різних комбінаціях.*

*За забарвленням тіла і формою очей виникають 4 класи: 225000 чорних з нормальними очима, 75000 чорних з опуклими очима, 75000 рудих з нормальними очима і 25000 рудих з опуклими очима. Одержане в цьому випадку розщеплення співпадає з формулою 9:3:3:1, що свідчить про незалежне успадкування генів, які контролюють забарвлення тіла і форму очей.*

*Аналогічним чином аналізуємо успадкування ознак забарвлення і форми очей. В цьому випадку також виникають 4 фенотипових класи: 225000 тарганів з нормальними очима сірого забарвлення, 75000 з нормальними очима блідого забарвлення, 75000 з опуклими очима сірого забарвлення і 25000 з опуклими очима блідого забарвлення. Одержане розщеплення також свідчить про незалежних характер успадкування генів, які визначають забарвлення і форму очей. Розглянемо тепер останню комбінацію ознак забарвлення тіла і забарвлення очей. В другому по-*

колінні з'явилися 200484 чорних таргана з сірими очима, 99 516 чорних з блідими очима, 99516 рудих з сірими очима і 484 рудих з блідими очима. Одержане розщеплення свідчить про те, що гени забарвлення тіла і забарвлення очей успадковуються зчеплено.

Позначивши літерами гени, розпишемо генотип вихідних батьківських особин і гібридів першого покоління:

$$P: \frac{Ac}{Ac} \frac{B}{B} \times \frac{aC}{aC} \frac{b}{b} \quad F_1: \frac{Ac}{aC} \frac{B}{b}$$

Відповідь: гени забарвлення тіла і забарвлення очей успадковуються зчеплено, ген форми очей знаходиться в іншій групі зчеплення і успадковується незалежно.

**3-ій тип задач.** Визначення фенотипу і генотипу потомства.

1. У кукурудзи гени, що обумовлюють згорнуте листя (*cr*) і карликовість (*d*) розміщені в локусах 0 та 18 третьої хромосоми. Схрещували рослини *CrCrdd* і *crD*. Визначити: а) генотипи і фенотипи рослин  $F_1$ ; б) очікуване співвідношення фенотипових класів в  $F_2$ .

$$P: \frac{CrD}{CrD} \times \frac{crd}{crD} \quad F_1: \frac{CrD}{crD} \times \frac{CrD}{crD}$$

$F_2$ :

♀ \ ♂	41% Crd	41% crD	9% CrD	9% crd
41% Crd	Crd/Crd 16,8%	Crd/crD 16,8%	Crd/CrD 3,7%	Crd/crd 3,7%
41% crD	Crd/crD 16,8%	crD/crD 16,8%	CrD/crD 3,7%	crd/crD 3,7%
9% CrD	CrD/Crd 3,7%	CrD/crD 3,7%	CrD/CrD 0,8%	CrD/crd 0,8%
9% crd	crd/Crd 3,7%	crD/crd 3,7%	CrD/crd 0,8%	crd/crd 0,8%

Відповідь: відстань між генами *cr* і *d* в третій хромосомі дорівнює 18 см, або 18% кросинговера. Серед 18% кросоверних гамет 9% матиме генотип *CrD*, 9% - *crd*.

а)  $F_1$ : *CrD crD* – високорослі (нормальні) рослини з нормальним листям;

- б)  $F_2$ : *Cr-dd* 24,19% – нормальні листя, карликовий зріст;  
*Cr-D* – 50,81% – нормальні листя, нормальний зріст;  
*CrD-cr* – 24,19% – згорнуте листя, нормальний зріст;  
*CrD-crd* – 0,81% – згорнуте листя, карликовий зріст.

2. У кукурудзи гени згорнутого листя (*cr*) і карликовість (*d*) розміщені в третій хромосомі на відстані 18 одиниць перехреста, а гени стійкості до іржі (*Rp*) та вузького листя (*Nl*) в 10-тій хромосомі на відстані 24 одиниці перехреста. Рослину, гомозиготну за домінантними алелями *Cr*, *D*, *Rp*, *Nl* схрестили з рослиною, гомозиготною за рецесивними алелями цих генів.

Визначити: а) які типи гамет і в якому співвідношенні може утворювати рослина з  $F_1$ ? Б) який процент константних рослин карликових, чтійких до іржі, з нормальним листям можна очікувати в  $F_2$ ?

Відповідь:

$$P: \frac{CrD}{CrD} \frac{RpNl}{RpNl} \times \frac{crd}{crd} \frac{rpnl}{rpnl} \quad F_1: \frac{CrD}{crd} \frac{RpNl}{rpnl} \times \frac{CrD}{crd} \frac{RpNl}{rpnl}$$

Сполучення генів в хромосомах може бути:

CrD – 41%	}	некросовери	RpNl –	}	некросовери
Crd – 41%			38%		
			rpnl – 38%		
Crd – 41%	}	кросовери	Rpnl – 12%	}	кросовери
crD – 41%			rpNl – 12%		

Згідно з правилом незалежного комбінування генів випикуємо можливі генотипи в  $F_2$ :

1.  $CrD RpNl = 41/100 \times 38/100 \times 100\% = 15,58\%$
2.  $crd RpNl = 41/100 \times 38/100 \times 100\% = 15,58\%$
3.  $Crd RpNl = 9/100 \times 38/100 \times 100\% = 3,42\%$
4.  $crD RpNl = 9/100 \times 38/100 \times 100\% = 3,42\%$
5.  $CrD rpnl = 41/100 \times 38/100 \times 100\% = 15,58\%$
6.  $crd rpnl = 41/100 \times 38/100 \times 100\% = 15,58\%$
7.  $Crd rpnl = 9/100 \times 38/100 \times 100\% = 3,42\%$
8.  $crD rpnl = 9/100 \times 38/100 \times 100\% = 3,42\%$
9.  $CrD Rpnl = 41/100 \times 12/100 \times 100\% = 4,92\%$
10.  $crd Rpnl = 41/100 \times 12/100 \times 100\% = 4,92\%$
11.  $Crd Rpnl = 9/100 \times 12/100 \times 100\% = 1,08\%$
12.  $crD Rpnl = 9/100 \times 12/100 \times 100\% = 1,08\%$
13.  $CrD rpNl = 41/100 \times 12/100 \times 100\% = 4,92\%$
14.  $crd rpNl = 41/100 \times 12/100 \times 100\% = 4,92\%$
15.  $Crd rpNl = 9/100 \times 12/100 \times 100\% = 1,08\%$
16.  $crD rpNl = 9/100 \times 12/100 \times 100\% = 1,08\%$

Гомозиготними за карликовістю, стійкими до іржі, з нормальними листям будуть рослини  $F_2$ , які утворилися в результаті сполучення жіночих і чоловічих гамет однакового генотипа  $Crd RpNl$ . Ймовірність утворення таких гамет дорівнює по 3,42%. Отже, в  $F_2$  можна очікувати  $3,42/100 \times 3,42/100 \times 100\% = 0,12\%$  рослин з необхідними ознаками, або приблизно 1 рослина на 1000.

**4-й тип задач.** Визначення частоти кросинговера та відстані між генами. Локалізація генів в хромосомі.

1. Рослину кукурудзи, гетерозиготну за трьома парами генів, схрестили з рослиною, гомозиготною за рецесивними алелями цих генів. В



одержаному потомстві спостерігалось наступне співвідношення фенотипів:

$A - B - C$  113       $aaavcc$  105  
 $A - B - cc$  70       $aaB - cc$  21  
 $aaavC - 64$   
 $A - vvc - 17$

Визначити порядок розміщення цих генів в хромосомі і відстань між ними в одиницях кросинговеру.

*Відповідь:* Гени розміщені в порядку  $B A C$ .

*Фенотипи нащадків:*

$B-A-C - 113$   
 $bbaacc - 105$  } некросовери  
 $B-aacc - 21$   
 $bbA-C - 17$  } кросовери I

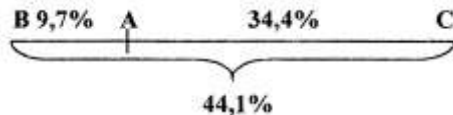
Частота кросинговеру  $B / A = \frac{17+21}{390} \times 100\% = 9,7\%$

$B-A-cc - 70$   
 $bbaa C - 17$  } кросовери II

Частота кросинговеру  $A / C = \frac{64+70}{390} \times 100\% = 34,4\%$

Частота кросинговеру  $B / C = \frac{17+21+64+70}{390} \times 100\% = 44,1\%$

Відстань між генами  $B$  9,7  $A$  34,4  $C$ .



2. В потомстві аналізуючого схрещування одержано наступне співвідношення фенотипів:

$A - B - C - 120$        $aaB - C - 62$   
 $A - B - cc - 10$        $aaB - cc - 68$   
 $A - bbC - 65$        $aabbC - 12$   
 $A - bbcc - 63$        $aabbcc - 125$

Визначити порядок розміщення генів в хромосомі і відстань між ними в одиницях кросинговеру.

*Відповідь:*

$B-A-C - 120$   
 $aabbcc - 125$  } некросовери  
 $A-bbC - 65$   
 $aaB-cc - 68$  } кросовери II

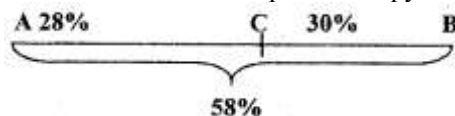
A-bbcc	63	}	кросовери I
aaB-C	62		
A-B-cc	10	}	подвійні кросовери
aabbC	12		

Частота кросинговеру  $A/C = \frac{63+62+22}{525} \times 100\% = 28\%$

Частота кросинговеру  $C/B = \frac{65+68+22}{525} \times 100\% = 30\%$

Частота кросинговеру  $A/B = \frac{63+62+65+68}{525} \times 100\% = 49,1\%$

Відстань між генами в одиницях кросинговеру:



3. Зелене забарвлення паростків ячменя обумовлене присутністю домінантних алелів генів  $A$  і  $B$  в гомо- або гетерозиготному стані. При відсутності алеля  $B$  з'являються жовті паростки, в решті випадків – білі.

В  $F_2$  одного із схрещувань було одержано 205 зелених, 105 білих і 98 жовтих паростків. Як пояснити подібне розщеплення, враховуючи явище зчеплення?

*Відповідь:* За умовою задачі в досліді одержано паростків: зелених ( $A-B$  -) 205, жовтих ( $A-bb$ ) 98, білих ( $aaB$  -) 103. Отже, в  $F_2$  спостерігається звичайне моногенне розщеплення у співвідношенні 1 частина жовтих, 2 частини зелених, 1 частина білих, що вказує на зчеплення генів:

$$P: \frac{Ab}{Ab} \times \frac{aB}{aB} \quad F_1: \frac{Ab}{aB} \times \frac{Ab}{aB}$$

$F_2$ : 1  $Ab//Ab$  жовті  
 2  $Ab//aB$  зелені  
 1  $aB//aB$  білі

Таким чином, вказане розщеплення пояснюється комплементарною взаємодією двох тісно зчеплених генів.

4. У дрозофілі є два зчеплених мутантних гени, які визначаються киноварне забарвлення очей ( $v$  – *vermilion*) і розсечені крила ( $c$  – *cleft wings*). Домінантні алелі цих генів визначаються розвиток ознак, характерних для мух дикого типу (червоне забарвлення очей і нормальні крила). В одному із схрещувань було одержано наступне співвідношення гібридів  $F_2$ :

Самці:

- 1) 35 дикого типу
- 2) 71 з киноварними очима, нормальними крилами
- 3) 65 з червоними очима, розсеченими крилами
- 4) 30 з киноварними очима і розсеченими крилами

Визначити:

- а) які це гени – зчеплені із статтю або аутосомні;
- б) яка відстань в одиницях кросинговеру розділяє ці гени;
- в) вказати генотипи батьків.

Дано:

Самці:

$X^{Vc}Y$ :35 – дикого типу, кросоверні  
 $X^{Vc}Y$ :71 – з киноварними очима – некросоверні  
 $X^{Vc}y$ :65 – з розсеченими крилами – некросоверні  
 $X^{Vc}y$ :30 – з киноварними очима і розсеченими крилами - кросоверні

Самки:

$V - C -$ :100 дикого типу  
 $V - cc$ : 103 з розсеченими крилами

$P_{\text{♂}} - ? \quad P_{\text{♀}} - ? \quad \% \text{ кросинговера} - ?$

Самки:

- 1) 100 дикого типу
- 2) 103 з червоними очима та розсеченими крилами

Розв'язання.

В  $F_2$  спостерігається різниця за кількістю фенотипових класів серед самок і самців. Тому робимо висновок, що ці гени зчеплені із статтю. Оскільки генотип самців (за виключенням статевої  $Y$  - хромосоми) визначається гаметами самки, з яких є кросоверні і некросоверні (кросоверних завжди менше), то можемо легко визначити генотип самки:

$$F_1: \quad X^{Vc}X^{Vc} \quad \times \quad X^{Vc}Y$$

$$F_2: \quad X^{Vc}Y \quad \quad X^{Vc}X^{Vc}$$

$$\quad \quad X^{Vc}Y \quad \quad X^{Vc}X^{Vc}$$

$$\quad \quad X^{Vc}Y$$

$$\quad \quad X^{Vc}Y$$

Що і спостерігалось в умові задачі. Таким чином, генотипи батьківських форм  $F_1$  визначені вірно.

Тепер визначаємо генотипи вихідних батьків:  $P \quad X^{Vc}X^{Vc} \times X^{Vc}Y$   
 $F_1: X^{Vc}X^{Vc}; X^{Vc}Y$

Відстань між генами  $V$  і  $C$  дорівнює:

$$\% \text{ кросинговера } V/C = \frac{35+30}{201} \times 100\% = 32\%$$

Відповідь:

а) гени *V* і *C* зчеплені із статтю;

б) відстань між цими генами дорівнює 32% або 32 одиниці кросинговеру;

в) генотипи вихідних батьків:  $P \ X^{Vc}X^{Vc} \times X^{vC}Y$ .

5. Встановлена наступна карта хромосоми *A 20 B 11 C*. Коефіцієнт співпаданья дорівнює 0,7. Яке співвідношення спостерігатиметься в потомстві аналізуючого схрещування рослини генотипа *Abc//aBC* з рослиною *abc//abc*?

Відповідь.

$$P: \frac{Abc}{aBC} \times \frac{abc}{abc}$$

$$F_1: \left. \begin{array}{l} \frac{Abc}{abc} \\ \frac{aBC}{abc} \end{array} \right\} \text{некросинговерні генотипи}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{ABC}{abc} \\ \frac{abc}{abc} \end{array} \right\} \text{кросинговерні I порядку}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{AbC}{abc} \\ \frac{aBc}{abc} \end{array} \right\} \text{кросинговерні II порядку}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{ABc}{abc} \\ \frac{abC}{abc} \end{array} \right\} \text{подвійний кросинговер}$$

Подвійний кросинговер теоретичний:  $20 \times 11 = 2,2\%$ , фактичний:  $2,2 \times 0,7 = 1,54\%$ .

Відстань між генами *A* і *B* дорівнює 20. Вона відповідає проценту кросинговерних особин, у яких відбувався кросинговер між генами *A* і *B*. Сюди входять особини з одинарним і подвійним кросинговером. Отже, кросинговер  $A/B = 20\% = I$  перехрест + двійний перехрест;  $I$  перехрест =  $20\% - 1,54\% = 18,46\%$ . Перехрест  $B/C = 11\% - 1,54\% = 9,46\%$ . Всього кросинговерних особин  $18,46\% + 9,46\% + 1,54\% = 29,46\%$ , некросинговерних –  $100\% - 29,46\% = 70,54\%$ . В потомстві вказаного схрещування спостерігатиметься наступне розщеплення за генотипом й фенотипом:

$Abc//abc - 35,27\%$	$AbC//abc - 4,73\%$	$aBC//abc - 35,27\%$
$ABC//abc - 9,23\%$	$Abc//abc - 0,77\%$	$abc//abc - 9,23\%$
$aBc//abc - 4,73\%$	$abC//abc - 0,77\%$	

## Задачі для самостійного розв'язання

1. Для схрещування були взяті дрозофіли: нормальна самка і самець з жовтим тілом, обрізаними крилами і гранатовими очима. В першому поколінні були одержані чотири класи мух: самки дикого типа, самки з обрізаними крилами, самці дикого типа, самці з обрізаними крилами. Якщо жовте тіло – ознака, рецесивна по відношенню до сірого, гранатові очі – по відношенню до темно-червоних, а обрізані крила – по відношенню до довгих і всі три гени – *y*, *gn*, *ct* локалізовані в *X*-хромосомі, які найбільш ймовірні генотипи бітьківських форм?

2. Гомозиготна самка дрозофіли з жовтими волосками (*straw - stw*), вузькими крилами (*jammed - j*) і коричневими очима (*sepia - se*) схрещена із самцем дикого фенотипа. Які будуть гібриди першого покоління? Яке потомство буде від схрещування самця  $F_1$  з рецесивною гомозиготною самкою? Гени *stw* і *j* знаходяться в другій хромосомі, а ген *se* – в третій.

3. В аналізуючому схрещуванні дигетерозиготи відбулося розщеплення на чотири фенотипових класи у співвідношенні: 42,4% – *AB*, 8% – *Ab*, 7,0% *AB*, 42,6% – *ab*. Як успадковуються гени? В якій фазі вони знаходяться: “притяжіння” або “відштовхування”?

4. Кури з довгими ногами і простим гребнем при схрещуванні з півнем-коротконіжкою з трояндоподібним гребнем, який одержав коротконогість від батька, а трояндоподібний гребінь від матері, дали наступне потомство: 5 коротконіжок з трояндоподібним гребнем, 103 коротконіжки з простим гребнем, 89 довгоногих з трояндоподібним гребнем, 12 довгоногих з простим гребнем. Як успадковуються дані ознаки? Визначити генотипи вихідних птахів.

5. В аналізуючому схрещуванні від дигетерозиготи *AaBb* одержано: *AB* – 243, *Ab* – 762, *aB* – 758, *ab* – 237. Який характер успадкування генів? Якщо вони зчеплені, то яка відстань між ними? Визначити генотип гетерозиготи. Яке співвідношення генотипів спостерігатиметься в потомстві аналізуючого схрещування, якщо б спочатку схрещували гомозиготних особин *AABB*  $\times$  *aabb*?

6. Диплоїдна тригетерозиготна клітина хламідомонади виникла в результаті злиття двох гаплоїдних клітин (гамет) з генотипами *ABC* і *abc*. Частота рекомбінантів серед дочірніх клітин за генами *B* і *C* – 20%, а за генами *A* і *C* – 38%. Скільки різних типів рекомбінантів і в якому співвідношенні може виникнути в результаті мейозу у цієї зиготи при її проростанні? Якою може бути послідовність генів на карті і яка частота зустрічальності в кожному з випадків подвійних рекомбінантів?

7. Фенотипово нормальна самка при схрещуванні з нормальним самцем дала нормальних самок і самців: *vermilion* – 336, *нормальних* – 52, *cut* – 340 *mi cut*, *vermilion* – 49. Встановити генотип самки.

8. Від схрещування білих курей без чуба з чорними чубатими півнями в  $F_1$  всі курчата опинилися білими чубатими, а в  $F_2$  відбулося розщеплення: 5005 білих чубатих, 2505 білих без чуба, 2460 чорних чубатих, 30 чорних без чуба. Всього 10000 особин. Як успадковуються ознаки? Визначити генотип вихідних батьків і гібридів  $F_1$ . Якщо кросинговер відбувається у особин обох статей, то яке розщеплення очікується в аналізуючому схрещуванні і яких птахів слід використовувати для нього?

9\*. Який процент білих і жовтих нащадків слід теоретично очікувати в другому поколінні від схрещування двох пацюків: самки-альбіноса із самцем з жовтим забарвленням шерсті, якщо відомо: 1) альбінізм у пацюків визначається рецесивним геном  $s$ , який знаходиться в локусі 21 першої групи зчеплення;

2) жовте забарвлення шерсті визначається рецесивним геном  $p$ , локалізованим в локусі  $O$  тієї ж  $X$ -хромосоми;

3) для одержання  $F_2$  між собою схрещувалися пацюки з першого покоління, всі нащадки якого мали характерний для диких тварин сірий колір;

4) гени  $s$  і  $p$  взаємодіють між собою за типом криптомерії;

5) кросинговер за аутосомами відбувається у обох статей. Але, хоч локуси  $s$  і  $p$  є не тільки в  $x$ -, але і в  $y$ -хромосомах, кон'югація між  $x$ - та  $y$ -хромосомами у пацюків неможлива.

10. У пацюків темне забарвлення шерсті домінує над світлим, рожевий колір очей – над червоним. Обидві ознаки зчеплені. В лабораторії від схрещування рожевооких темношерстних пацюків з червоноокими світлошерстними одержано потомство: світлошерстних червонооких – 77, темношерстних рожевооких – 73, світлошерстних рожевооких – 24, темношерстних червонооких – 26. Визначити відстань між генами на генетичній карті. (Відповідь: 25 сМ).

11. Посмикування головою (*shaker*) – нервове захворювання лабораторних лінійних мишей. Такі миші роблять різкі рухи головою, часто бігають по колу і, до того ж, глухі. Це захворювання обумовлене рецесивним геном  $sh$ , він знаходиться в тій самій хромосомі, що й ген, який викликає альбінізм ( $c$ ). Частота кросинговера між генами  $c$  та  $sh$  складає близько 4%. Самка з головою, яка смикається, була схрещена із самцем-альбіносом з такою ж головою. В результаті декількох пометів одержано 200 мишат. Скільки з них буде альбіносів з головою, яка смикається, і скільки альбіносів із звичною для робітників виварію поведінкою? Самці-альбіноси з головою, яка смикається, одержані від попереднього схрещування, були спарені з нормальними самками. Особин  $F_1$  потім схрестили з

мишами-альбіносами з головою, яка смикається, і одержали знову 200 мишат. Скільки з них, за вашою думкою, має бути альбіносів з головою, яка смикається, і скільки альбіносів, які звичайно поводять себе?

(Відповідь: перше схрещування:  $P_{\text{♀}} shC//shc \times \text{♂} shc//shc$

$F_1: \frac{1}{2} shC//shc; \frac{1}{2} shc//shc$

За фенотипом всі 200 нащадків – з головою, яка смикається, з них  $\frac{1}{2}$  - альбіноси,  $\frac{1}{2}$  - нормального забарвлення.

Друге схрещування:  $P_{\text{♀}} sh^+C//sh^+C \times \text{♂} shc//shc$

$F_1: sh^+C//shc$

За фенотипом всі особини з нормальним забарвленням тіла і нормальною поведінкою.

$F_1: sh^+C//shc \times shc//shc$

$F_2: sh^+C//shc; shc//shc; Sh^+c//Shc; ShC//shc$

$G: \underline{sh^+C}$  (некросоверні гамети, 48%)

$\underline{Shc}$  (некросоверні гамети, 48%)

$\underline{Sh^+c}$  (кросоверні гамети, 2%)

$\underline{ShC}$  (кросоверні гамети, 2%)

В  $F_2$  з'являються чотири фенотипових класи, співвідношення яких буде визначатися кількістю відповідних гамет. Отже, серед 200 нащадків другого схрещування повинно бути 96 альбіносів з головою, яка підсмикується, та 4 альбіноси з нормальною поведінкою).

12. У кролів забарвлення шерсті визначається геном  $C$ , альбінізм –  $c$ , чорне забарвлення –  $B$ , коричневе –  $b$ . Чорний кроль схрещений з альбіносом, а гібриди  $F_1$  схрещувалися з подвійною рецесивною формою. В потомстві одержано: чорних кроленят – 68, коричневих – 132, альбіносів – 200. Визначити, як успадковуються ці ознаки і яка відстань між генами, які взаємодіють.

13. Колір очей у пацюків обумовлений взаємодією генів  $P$  і  $R$ . Рецесивні алелі (один або обидва) обумовлюють світле забарвлення очей. Схрещені гомозиготні темноокі пацюки ( $PR$ ) ( $PR$ ) з подвійними рецесивами ( $pr$ ) ( $pr$ ) і  $F_1$  від цього схрещування знову схрестили з подвійними рецесивами. При цьому одержано наступне потомство: темнооких – 1255, світлооких – 1777. Перше покоління від схрещування особин ( $Pr$ ) ( $Pr$ ) з особинами ( $pR$ ) ( $pR$ ) зворотньо схрестили з подвійними рецесивами. При цьому одержано наступне потомство: темнооких – 174, світлооких – 1540. Визначити силу зчеплення між генами  $P$  і  $R$ .

14. Білий короткошерстний кроль із звивистими вусами схрещується з крольчихою, яка має чорну нормальної довжини шерсть і прямі вуса. В  $F_1$  всі кроленята чорні з нормальною шерстю і прямими вусами. В  $F_2$  спостерігається розщеплення: 11 білих з нормальною шерстю і прямими вусами, 10 чорних короткошерстних із звивистими вусами, 3 білих

короткошерстних із звивистими вусами і 29 чорних з нормальною шерстю і прямими вусами. Як успадковуються ці ознаки?

15. У кукурудзи забарвлений ендосперм і гладкий алейрон контролюється доміантними генами  $C$  і  $S$ , а незабарвлений ендосперм і зморшкуватий алейрон – їх рецесивними алелями  $c$  та  $s$ . Ці гени знаходяться в одній парі гомологічний хромосом, тобто вони зчеплені. Відстань між генами  $S$  і  $C$  складає 3,6 одиниці кросинговера.

16. Які типи гамет і в якому процентному співвідношенні утворюються у рослин, які мають генотипи: а)  $CS//cs$ ; б)  $Cs//cS$ .

16. Які різниці в чисельному співвідношенні гамет спостерігатимуться у двох організмів, які мають таку структуру генотипів: а)  $A//a B//b$ ; б)  $AB//ab$ .

17. Відстань між генами  $A$  і  $B$ , розміщеними в одній групі зчеплення, дорівнює 4,6 одиниці кросинговера. Визначити, які типи гамет і в якому процентному відношенні утворюють особини генотипу  $AB//ab$ ?

18. Визначити відстань між генами  $A$  і  $B$ , якщо при схрещуванні дигетерозиготної за цими генами особини з гомозиготним рецесивом одержано 6,4% рекомбінантів.

19. При схрещуванні самки дрозофіли, гетерозиготної за генами  $A$  і  $B$ , з рецесивним самцем одержано 8,2% рекомбінантів, а при схрещуванні самки, гетерозиготної за генами  $M$  і  $N$ , з рецесивним самцем одержано 10,4% рекомбінантів. Визначити, на скільки одиниць кросинговеру відстань між генами  $M$  і  $N$  більше відстані між генами  $A$  і  $B$ ? (Відповідь: на 2,2% кросинговера).

20. Схрещені дві пари дрозофіл. В обох парах самки були гетерозиготними за генами  $A$  і  $B$ , а самці рецесивні за цими генами. В потомстві одержано наступне співвідношення класів. Перше схрещування – 41,5%  $AaBb$  : 8,5%  $Aabb$  : 8,5%  $aaBb$  : 41,5%  $aabb$ . Друге схрещування – 41,5%  $Aabb$  : 8,5%  $AaBb$  : 8,5%  $aabb$  : 41,5%  $aaBb$ . Визначити відстань між генами  $A$  і  $B$  і вказати, як комбінуються в парних хромосомах гени  $A$ ,  $a$ ,  $B$ ,  $b$  у самок в першому та другому схрещуваннях.

21. В результаті аналізуючого схрещування одержано наступне співвідношення фенотипів:

$X - Y - Z - 30$	$xx Y - zz 15$
$X - Y - zz 172$	$ххуу Z - 172$
$X - уу Z - 17$	$ххууzz 28$
$X - ууzz 2$	$xx Y - Z - 3$

Вказати порядок розміщення генів і відстань між ними в одиницях кросинговеру.

(Відповідь:  $X 8,4 Y 14,3 Z$ )

22,7



$$X/Y = \frac{32+5}{439} \times 100\% = 8,4\%$$

$$X/Y = \frac{58+5}{439} \times 100\% = 14,3\%$$

$$X/Y = \frac{32+58}{439} \times 100\% = 20,5\%.$$

22. У дрозофіли ген зрізаних крил (*cut wings*) знаходиться в локусі 13,7, а ген гранатових очей (*garnet*) в локусі 44,4 статевій хоромосомі. Обидві ознаки рецесивні. Самку, гомозиготну за генами зрізаних крил і нормальних очей, схрестили з самцем, який має нормальні крила і гранатові очі. Самку  $F_1$  з схрестили з самцем з  $F_1$ . Одержане потомство аналізували. Визначити: а) генотипи батьківських особин, генотипи й фенотипи потомства; б) теоретично очікуване співвідношення мух кожного фенотипа в  $F_2$  (самок і самців окремо).

(Відповідь:

$$P: X^{cG}X^{cG} \times X^{cG}Y$$

$$F_1: X^{cG}X^{cG} \times X^{cG}Y$$

$$F_2: \text{самці: } X^{cG}Y - 34,65\%, X^{cG}Y - 34,65\%, X^{cG}Y - 15,35\%, X^{cG}Y - 15,35\%.$$

самки: C-G- 50%, ccG - 50%).

23. У дрозофіли в одному досліді було одержано наступне співвідношення фенотипових класів в  $F_2$ :

Фенотипи	Самці	Самки
A – B – C -	27	152
aa B – C -	106	148
A – B – cc	4	-
A – bb C -	13	-
A – bb cc	111	-
aa B - cc	10	-
aa bb C -	3	-
aa bb cc	26	-
	$\Sigma = 300$	$\Sigma = 300$

Визначити: а) чи є ці гени аутомсомні або зчеплені із статтю; б) відстань між генами в одиницях кросинговеру; в) генотип вихідної батьківської пари.

Відповідь: Вказані гени зчеплені із статтю оскільки серед самок і самців в  $F_2$  спостерігається різниця за кількістю фенотипових класів.

$$\text{Частота кросинговеру } A/B = \frac{27+26+7}{300} \times 100\% = 20\%$$

$$\text{Частота перехресту } B/C = \frac{13+10+7}{300} \times 100\% = 10\%$$

$$\text{Частота кросинговеру } A/C = \frac{27+26+13+10}{300} \times 100\% = 25,3\%$$

*Відстань між генами A 20 B 10 C).*

24. В потомстві одного із схещувань у дрозофіли, де самка була з рубіновими очима, а самець – з коричневими, були одержані самки дикого типу і самці з рубіновими очима. Визначити, як успадковуються гени, що контролюють вказані ознаки (зчеплено або незалежно).

*(Відповідь: рубінове і коричневе забарвлення очей обумовлені неалельними рецесивними генами, розміщеними в різних хромосомах і тому успадковуються незалежно. Ген рубінових очей розміщений в статевій хромосомі x, а ген коричневих очей в аутосомі. Вказані гени комплементарні, оскільки взаємодія домінантних алелів цих генів обумовлює забарвлення очей дикого типу.)*

25. Материнська рослина кукурудзи має рецесивні ознаки забарвленості, зморшкуватості і крохмалистості зерен. Батьківська рослина гетерозиготна за кожним з цих ознак, зерна у нього без кольору, гладкі, воскові. Потомство від цього схещування опинилося наступним (в %):

Забарвлених зморшкуватих крохмалистих – 40

Забарвлених зморшкуватих воскових – 9

Забарвлених гладких крохмалистих – 0

Забарвлених гладких воскових – 1

Без кольору зморшкуватих крохмалистих – 1

Без кольору зморшкуватих воскових – 0

Без кольору гладких крохмалистих – 9

Без кольору гладких воскових – 40

Визначити: а) в одній чи декількох хромосомах знаходяться гени вказаних ознак і чи спостерігається в даному випадку явище перехреста? Б) порядок розміщення генів в хромосомі і відстань між ними.

*(Відповідь: всі три гени знаходяться в одній хромосомі, перехрест зустрічається. Ген зморшкуватості зерен знаходиться між генами крохмалистості і забарвлення, причому значно (в дев'ять разів) ближче до гена забарвлення, ніж до гена крохмалистості. Утворення нащадків із забарвленим гладким і крохмалистим зерном (тобто заміна "проміжного" гена зморшкуватості проміжним геном, який визначає гладке зерно, гомологічної хромосоми) можливе лише в результаті подвійного кросинговера).*

26. Схещують дві лінії дрозофіли  $b^+pr^+$  (сіре тіло, червоні очі – обидва гени з II групи зчеплення) і  $bpr$  (чорне тіло, пурпурні очі). Кросинговер між генами  $b-pr$  складає 6 %. Визначити розщеплення в  $F_2$ . Яке буде  $F_2$  від схещування ліній  $b^+pr$  і  $bpr^+$ ?

У дрозофіли кросинговер між генами  $b$ - $vg$ - складає 20%. Визначити, яке буде  $F_2$  від схрещування ліній  $bvg \times b^+vg^+$  та  $bvg^+ \times b^+Vg$ .

Чи можна визначити процент кросинговера між генами  $A$  і  $B$  в схрещуванні  $Ab//ab \times aB//ab$ ?

(Відповідь: не можна, оскільки гени  $A$  і  $B$  знаходяться в різних не-гомологічних хромосомах, тобто не зчеплені).

29. У томатів високий зріст стебла домінує над карліковим, а шароподібна форма плоду – над грушоподібною. Гени висоти стебла і форми плоду зчеплені і знаходяться один від одного на відстані 20 морганід. Схрещено гетерозиготну за обома ознаками рослину з карликовою, яка має грушоподібні плоди. Яке потомство слід очікувати від цього схрещування?

(Відповідь: якщо генотип  $AB \ ab$ , то в потомстві  $F_1$ : 40%  $Abab$ , 40%  $abab$ , 10%  $Abab$ , 10%  $aBab$ . Якщо генотип  $Ab$ , то 40%  $Abab$ , 40%  $aBab$ , 10%  $Abab$ , 10%  $abab$ ).

30. У дрозофіл ознаки забарвлення тіла і форми крил зчеплені. Темне забарвлення тіла рецесивне по відношенню до сірого, короткі крила – до довгого. В лабораторії схрещувалися сірі довгокрилі самки, гетерозиготні за обома ознаками, з самцями, які мали чорне тіло і короткі крила. В потомстві опинилося сірих довгокрилих особин 1394, чорних короткокрилих – 1418, чорних довгокрилих – 287, сірих короткокрилих – 288. Визначити відстань між генами.

31. У дрозофіли ген нормального забарвлення очей домінує над генем білоокості, ген аномальної будови черевця над генем нормальної будови. Обидві пари розміщені в  $x$ -хромосомі на відстані трьох морганід. Визначити ймовірні генотипи й фенотипи потомства від схрещування гетерозиготної за обома ознаками самки і самцем, який має нормальний колір очей та нормальну будову черевця.

32. У людини локус резус-фактора, зчеплений із локусом, який визначає форму еритроцитів, і знаходиться від нього на відстані трьох морганід (К.Штерн, 1967). Резус – позитивність та еліптоцитоз (еритроцити еліптичної форми) визначаються домінантними аутосомними генами. Один з подружжя є гетерозиготним за обома ознаками. При цьому резус – позитивність він успадкував від одного батька, еліптоцитоз – від іншого. Другий супруг резус – негативний і має нормальні еритроцити. Визначити процентні співвідношення ймовірних генотипів і фенотипів дітей в цій сім'ї.

(Відповідь: 48,5%  $Rha \ rha$  – резус – позитивний з еритроцитами нормальної форми, 48,5%  $rHa \ rha$  – резус негативний з еліптозом, 1,5%  $RhA \ rha$  – резус-позитивний з еліптозом; 1,5%  $rha \ rha$  – резус-негативний з еліптозом).

33. Синдром дефекта нігтів і колінної чашечки визначається домінантним аутосомним генем. На відстані 10 морганід від нього знахо-

диться локус груп крові за системою *ABO*. Один з подружжя має групу крові *A*, інший – *B*. Той, у якого група крові *A*, страждає дефектом нігтів і колінної чашечки. Відомо, що його батько був з групою крові *O* і не мав цих аномалій, а матір з групою крові *AB* мала обидва дифекти. Один з подружжя, який мав групу крові *B*, нормальний у відношенні гена дефекта нігтів і колінної чашечки та гомозиготний за обома парами генів, які аналізуються.

Визначити ймовірність народження в цій сім'ї дітей, які страждають дефектом нігтів і колінної чашечки і можливі їх групи крові.

*(Відповідь: 50%, з них з групою крові B-5%, з групою крові AB-45%).*

34. Катаракта іколідактімія у людини обумовлені домінантними аутосомними тісно зчепленими можуть бути необов'язково гени вказаних аномалій, але й ген катаракти з геном нормальної будови кисті і навпаки.

1) Жінка успадкувал катаракту від матері, а полідактілію від батька. Її чоловік нормальний у відношенні обох ознак. Чого скоріше можна очікувати їхніх дітей: одночасної появи катаракти і полідактілії, відсутності обох цих ознак або присутності аномалії – катаракти або полідактілії?

2) Яке потомство слід очікувати в сім'ї, де чоловік нормальний, а жінка гетерозиготна за обома ознаками, якщо відомо, що матір жінки страждає обома аномаліями, а чоловік її був нормальним?

3) Яке потомство слід очікувати сім'ї у батьків, гетерозиготні за обома ознаками, якщо відомо, що матері обох подружжя страждали тільки катарактою, а батьки – лише полідактілією?

35. Класична гомофілія і дальтонізм успадковуються як рецесивні ознаки, зчеплені з *x*-хромосоною. Відстань між генами 9,8 морганід.

1) Дівчина, батько якої страждає одночасно гемофілією і дальтонізмом, а матір здорова і походить від благополучної за цими захворюваннями сім'ї, виходить заміж за здорового чоловіка. Визначити ймовірні фенотипи дітей від цього шлюбу.

2) Жінка, матір якої страждає дальтонізмом, а батько гемофілією вступає в шлюб з чоловіком, який страждає обома захворюваннями. Визначити ймовірність народження дітей і цій сім'ї одночасно з обома аномаліями.

*(Відповідь: 1) 22,55% – з обома аномаліями; 2,45% з дальтонізмом; 2,45% з гемофілією; 72,55% – здорові. 2) 2,45% – хлопчики і дівчатка).*

36. У кукурудзи буває забарвлений ендосперм (*A*) і незабарвлений (*a*), гладкі зерна (*B*) і зморшкуваті (*b*). Гени, які визначають ці ознаки, успадковуються зчеплено, частота кросинговеру – 3,6%. Визначити, яке буде потомство від схрещування *AB//ab*  $\times$  *ab//ab* і в якому співвідношенні? *(Відповідь: 1,8% Abab, 1,8% aBab, 48,2% abab, 48,2% ABab.)*

## РОЗДІЛ VI. МОЛЕКУЛЯРНІ ОСНОВИ СПАДКОВСТІ

Молекулярна біологія – це розділ науки, який вивчає функціонування живих організмів скрізь призму хімічної структури їх молекул. Цей термін вперше застосував у 1938 році амер. вчений Уоррен Уівер для визначення нового розділу біології, що межує з хімією та фізикою. В основі більшості сучасних молекулярно-біологічних досліджень знаходиться відкриття дволанцюгової моделі ДНК у 1953 році Ф.Криком та Д.Уотсоном – нім.фізиком та амер.біохіміком. Вперше цю особливість будови ДНК теоретично обґрунтував вітчизняний біолог М.К.Кольцов у 1927 році. Центральним завданням молекулярної біології є вивчення трьохмірних структур ДНК, РНК, а також їх генезис і функції. Молекулярна біологія тісно пов'язана з клітинною біологією. Наприклад, будь-яке обговорення ролі ядра в збереженні, реплікації та експресії генетичного матеріалу зводиться до розглядання структури і властивостей ДНК, РНК та специфічних білків. Центральним поняттям молекулярної біології є уявлення про ген. Ділянка молекули ДНК або РНК, яка містить в собі інформацію про первинну структуру білка, входить у клітинах до складу більш крупних структурних одиниць – хромосом. При поділі клітин хромосоми самокопіюються і нові клітини одержують точну копію набору батьківських генів. В основі цього процесу знаходиться здатність нуклеїнових кислот (ДНК, РНК) до редуплікації, тобто самоподвоєння. Ця властивість здійснюється за принципом комплементарності, коли кількість нуклеотидів одного виду дорівнює кількості нуклеотидів другого:  $A=T$ ,  $G=C$ , що пояснюється просторовим співвідношенням певних азотистих основ даних нуклеотидів. Сучасна молекулярна біологія лежить в основі генноінженерних досліджень, що мають велике прикладне значення у медицині, селекції, ґрунтознавстві та інших галузях науки та народного господарства.

### Методика розв'язання задач з молекулярної біології

Задачі з молекулярної біології можна поділити на два типи: перший тип потребує використання знань будови нуклеїнових кислот та їх функцій, другий – пов'язаний з біосинтезом білка і потребує знань механізму транскрипції, елонгації, трансляції. При цьому треба використовувати правила Е. Чаргаффа (амер. вчен.) :

$$1. A+G = T+C$$

$$2. A = T; G = C$$

$$3. A+C = G+T$$

4.  $A+T / G+C$  (коефіцієнт специфічності, який є варіабельною одиницею)

При виконанні розрахунків треба пам'ятати такі кількісні дані, які використовуються при розв'язанні задач:

$M_r$  (середня) нуклеотиду = 300 або 345 (за різними даними),

$M_r$  (середня) амінокислоти = 100

$\Delta L$  між двома сусідніми нуклеотидами = 0,34 нм

1 нанометр =  $10^{-9}$  м,  $\Delta R$  між АК = 0,35 нм (АК – амінокислоти).

$L$  гена =  $\Delta L_{\text{нукл.}} \cdot (N_{\text{нукл.}} - 1)$ , де  $N$  – загальна кількість нуклеоти-

дів

Час однієї операції трансляції = 1/5 або 1/6 сек

Швидкість елонгації (ріст ланцюгу і-РНК) 50 нуклеотидів за секунду.

Довжина ДНК однієї клітини майже 1м.

При розв'язанні задач першого типу треба пам'ятати властивості генетичного кода:

1. Універсальність.

2. Триплетність (одну амінокислоту кодує три певних нуклеотиди).

3. Виродженість (одну амінокислоту можуть кодувати декілька триплетів).

4. Колінеарність (один генетичний кодон може шифрувати тільки одну амінокислоту).

5. Перекривання кода – нуклеотид одного триплету не може входити до складу сусіднього триплету.

6. Термінальні кодони не шифрують ніяку амінокислоту, їх функція – регулююча.

**При розв'язанні задач другого типу треба пам'ятати, що:**

1. Екзони – активні ділянки гена, інтрони – пасивні ділянки.

2. Транскрипція (переписування інформації з гена на і-РНК) завжди йде тільки на одному (матричному) ланцюзі ДНК в напрямку від 5' до 3' через пентози розміщених нуклеотидів.

3. Редуплікація (або реплікація) ДНК завжди йде в напрямку від 3' до 5' положення цукру в дезоксирибозі.

## 6.1. Приклади розв'язання задач з молекулярної біології: 1<sup>й</sup> тип задач – структура та властивості нуклеїнових кислот

### Задача 1.

Визначте молекулярну масу та довжину гена, що складається з 510 нуклеотидів.

Дано: ген	Розв'язання
$N_{\text{нукл.}} = 510$	$M_{\text{г}}(\text{гена}) = M_{\text{г}}(\text{нукл.}) \times N(\text{нукл.})$
$M_{\text{г}}(\text{гена}) = ?$	$L(\text{гена}) = \Delta L(\text{нукл.}) \times (N_{\text{нукл.}} - 1)$
$L(\text{гена}) = ?$	
$M_{\text{г}}(\text{нукл.}) = 300$	$M_{\text{г}}(\text{гена}) = 300 \cdot 510 = 153000$
$\Delta L(\text{нукл.}) = 0,34 \text{ нм}$	$L(\text{гена}) = 0,34 \text{ нм} \cdot (510 - 1) = 173,06 \text{ нм}$

*Відповідь: молекулярна маса даного гена 153000, довжина гена 173,06 нм*

### Задача 2.

Один ланцюг ДНК містить 125 аденілових і 310 гуанілових нуклеотидів, другий ланцюг – 278 аденілових і 115 гуанілових нуклеотидів. Визначте довжину гена.

Дано: ген	Розв'язання
1 <sup>й</sup> ланцюг ДНК:	1. Визначаємо загальну кількість нуклеотидів в одному ланцюгу ДНК (на основі принципу комплементарності): $N(A) = N(T)$ ; $N(G) = N(C)$
$N(A) = 125$	$1^{\text{й}} \text{ л.} = 2^{\text{й}} \text{ л.} \quad 1^{\text{й}} \text{ л.} = 2^{\text{й}} \text{ л.}$
$N(G) = 310$	Звідси у одному ланцюзі загальна кількість нуклеотидів становить: $125(A) + 310(G) + 278(T) + 115(C) = 828$ така ж сама кількість нуклеотидів буде і в другому ланцюзі
2 <sup>й</sup> ланцюг ДНК:	2. Визначаємо довжину гена:
$N(A) = 278$	$L(\text{гена}) = \Delta L(\text{нукл.}) \times (N_{\text{нукл.}} - 1)$
$N(G) = 115$	$L(\text{гена}) = 0,34 \text{ нм} \times (828 - 1) = 281,18 \text{ нм}$
$L(\text{гена}) = ?$	
$\Delta L(\text{нукл.}) = 0,34 \text{ нм}$	

*(Відповідь: довжина даного гена становить 281,18 нм).*

### Задача 3.

Дослідження показали, що 34% загальної чисельності нуклеотидів даної і-РНК приходить на гуанін, 18% – на урацил, 28% – на цитозин і 20% – на аденін. Визначите відсотковий склад азотистих основ ДНК, копією якої є ця і-РНК.

Дано:  
% (нукл) і-РНК:  
Г=34, У=18,  
Ц=28, А=20

% склад (нукл.) ДНК – ?

Розв'язання

1. Так як і-РНК є дзеркальною копією матричного ланцюга ДНК, то на основі принципу комплементарності:

% і-РНК: 34Г, 18У, 28Ц, 20А

% 1<sup>го</sup> л. ДНК: 34Ц, 18А, 28Г, 20Т

% 2<sup>го</sup> л. ДНК: 34Г, 18Т, 28Ц, 20А

2. Знаходимо сумарне значення відсоткового складу різних нуклеотидів в дволанцюговій ДНК:

%Ц = 34+28=62; %Г = 28+34=62;

%А = 18+20=38; %Т = 20+18=38

3. Так як дволанцюгова молекула ДНК уявляє собою одну полімерну молекулу (100%), то в перерахунку на цей факт загальне значення відсоткового складу нуклеотидів ДНК становить: %Ц = %Г = 62/2 = 31, %А = %Т = 38/2 = 19

(Відповідь: відсотковий склад ДНК становить по 31% Ц і Г, по 19% А і Т).

#### Задача 4.

В молекулі ДНК аденілових нуклеотидів налічується 23% від загальної їх кількості. Загальна довжина молекул ДНК в людській клітині становить близько 1м. Кожний нуклеотид має довжину  $3,4 \cdot 10^{-4}$  мкм. Визначте кількість тимідилових і цитоділових нуклеотидів. Визначте загальну кількість залишків фосфорної кислоти, азотистих основ, дезоксирибози в молекулах ДНК однієї клітини.

Дано:

$L^{\text{заг}}(\text{ДНК}) = 1\text{м}$

$L^{\text{середн.}}(\text{нукл.}) = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ мкм}$

% (А нукл.) ДНК = 23

N (Т) -? N (Ц) -? N (фосфорн. к-ти) -?

N (азот. основ) -? N (дезоксириб.) -?

$1\text{м} = 10^6 \text{ мкм}$

$3,4 \cdot 10^{-4} = 1/3,4 \text{ мкм}$

Розв'язання

1. % (А) = % (Т) = 23 (за принципом комплементарності)

% (Г) = % (Ц) =  $[100\% - \% (А+Т)] / 2$

% (Г) = % (Ц) =  $(100 - 46) / 2 = 27\%$

2.  $N^{\text{заг.}}(\text{нукл.}) = L^{\text{заг.}}(\text{ДНК}) \times 2 / L^{\text{середн.}}(\text{нукл.})$

$N^{\text{заг.}}(\text{нукл.}) = 10^6 \times 2 \times 3,4 \cdot 10^{-4} = 267,28 \cdot 10^6$

3.  $N(\text{Т}) = \%(\text{Т}) \times N^{\text{заг.}}(\text{нукл.}) / 100\%$

$N(\text{Т}) = 23\% \times 267,28 \cdot 10^6 / 100\% = 61,47 \cdot 10^6$

4.  $N(\text{Ц}) = 27\% \times 267,28 \cdot 10^6 / 100\% = 72,1656 \cdot 10^6$

5.  $N(\text{фосфорн. к-ти}) = N(\text{азот. основ.}) =$

$N(\text{дезоксириб.}) = N^{\text{заг.}}(\text{нукл.}) = 267,28 \cdot 10^6$

(Відповідь:  $N(\text{Т}) = 61,47 \cdot 10^6$ ;  $N(\text{Ц}) = 72,1656 \cdot 10^6$ ;  $N(\text{фосфорн. к-ти}) = N(\text{азот. осн.}) = N(\text{дезоксириб.}) = 267,28 \cdot 10^6$ .)



### Задача 5

В молекулі ДНК відстань між двома нуклеотидами близько 3,4 Ангстрем ( $A^0$ ). Визначте довжину ДНК, коли в одній гаметі ДНК міститься  $10^9$  пар азотистих основ.

Дано:	Розв'язання
$N$ (пар азот. основ) = $10^9$	1. $N$ (пар азот. основ) = $N$ (пар нукл) = $N$ (нукл) <sup>1-</sup> <sub>го ланцюгу</sub>
$L$ (нукл.) = $3,4 A^0$	2. $L$ (ДНК) = $L$ (нукл.) $\times$ ( $N^{\text{заг. нукл.}} - 1$ )
$L$ (ДНК) -?	3. $L$ (ДНК) = $3,4 A^0 \times (10^9 - 1) = 3,339 A^0 = 3,39 \times 10^5$ мм
$A^0 = 1 / 10000$ мм	

(Відповідь: довжина ДНК =  $3,39 \times 10^5$ ).

### Задача 6

Фермент ДНК – полімераза синтезує комплементарний ланцюжок за ДНК-матрицею. Визначте послідовність азотистих основ у синтезованому ланцюзі, виходячи з такої послідовності їх у вихідній молекулі:

Ц-Ц-Ц-Г-Т-Ц-Т-Г-Ц-Т-А-Ц-Г-А-Т-А-Т-Т-А-Ц-Ц

Дано:	Розв'язання
Ланцюг ДНК-матриці:	За принципом комплементарності:
ЦЦЦГТЦТГЦТАЦГАТАТТАЦЦ	$A=T, G=C$
Склад комплементарного ланцюгу ДНК -?	Ланцюг ДНК-матриці: ЦЦЦГТЦТГЦТАЦГАТАТТАЦЦ Новий ланцюг, що синтезує ДНК-полімераза: ГГГЦАГАЦГАТГЦТАТААТГГ

(Відповідь: послідовність азотистих основ у синтезованому ланцюзі ДНК: ГГГЦАГАЦГАТГЦТАТААТГГ).

### Задача 7.

У молекулі ДНК одного виду тварин тимін становить 18% від загальної кількості нуклеотидів. Враховуючи комплементарність поєднання азотистих основ у молекулі ДНК визначте їх вміст ( $y$  %).

Дано:	Розв'язання
ДНК (тварини):	1. За принципом комплементарності:
% (тиміну) = 18	$A = T, G = C$
% (гуаніну, аденіну, цитозину) -?	% (Т) = % (А) = 18 % (Г) = % (Ц) = $[100\% - (\%T + \%A)] / 2$ % (Г) = % (Ц) = $(100\% - 36\%) / 2 = 32\%$

(Відповідь: % (А) = 18, % (Г) = % (Ц) = 32).

**Задача 8.**

Відносна молекулярна маса ДНК 69000, з них 8625 приходить на долю аденілових нуклеотидів.

Визначте довжину цієї ДНК та кількість нуклеотидів кожного окремо.

Дано:	Розв'язання
$M_r(\text{ДНК}) = 69000$	1. $N^{\text{зар.}}(\text{нукл.}) = M_r(\text{ДНК}) / M_r(\text{нукл.}) = 69000 / 345$
$M_r(A) = 8625$	$= 200$
$L(\text{ДНК}) - ?$	2. $L(\text{ДНК}) = N^{\text{зар.}}(\text{нукл.}) / 2 \times 0,34 \text{ нм}$
$N(\text{нукл.}) - ?$	$L(\text{ДНК}) = 200 / 2 \times 0,34 = 34 \text{ нм}$
$M_r(\text{нукл.}) = 345$	3. $N(T) = N(A) = M_r(A) / M_r(\text{нукл.})$
	$N(T) = N(A) = 8625 / 345 = 25$
	4. $N(G) = N(C) = [N^{\text{зар.}}(\text{нукл.}) - (N^A + N^T)] / 2$
	$L(\text{нукл.}) = 0,34 \text{ нм}$ $N(G) = N(C) = 200 - 50 / 2 = 75$

(Відповідь: довжина ДНК = 34 нм,  $N(T) = N(A) = 25$

$N(G) = N(C) = 75$ ).

**Задача 9.**

Макромолекула ДНК до редуплікації мала масу 10 мг і обидва її ланцюги містили мічені атоми фосфору ( $P^*$ ). Визначите, яку масу буде мати продукт реплікації і в яких ланцюгах дочірних молекул ДНК не будуть міститися мічені атоми фосфору.

Дано: реплікація	Розв'язання
$M(\text{ДНК}) = 10 \text{ мг}$	1. $M(\text{продукту реплікації}) = M(\text{ДНК}) \times 2$ (нових ДНК)
$P^*$ (в обох ланцюгах)	
$M(\text{продукту реплікації}) - ?$	$M(\text{продукту реплікації}) = 10 \text{ мг} \times 2 = 20 \text{ мг}$
У яких ланцюгах немає $P^*$ - ?	2. Новий ланцюг ДНК синтезується на ланцюгу-матриці (містить $P^*$ ) з вільних нуклеотидів і тому немає мічених атомів фосфору. У другій молекулі ДНК (дочірній) теж немає $P^*$ тільки в одному ланцюгу.

(Відповідь: маса продукту реплікації = 20 мг).

**Задача 10.**

Скільки і яких видів вільних нуклеотидів необхідно при реплікації молекули ДНК, в якій міститься  $A = 600$  тис.,  $G = 2400$  ?

Дано:	Розв'язання
Реплікація ДНК	1. При реплікації ДНК утворюється також самі дві молекули ДНК, тому треба стільки ж нових нуклеотидів, як у цій молекулі:
$N(A) = 600 \text{ тис.}, N(G) = 2400$	$N(A) = N(T) = 600 \text{ тис.}; N(G) = N(C) = 2400 \text{ тис.}$
$N(\text{різних видів нукл.}) - ?$	2. $N^{\text{зар.}}(\text{нукл.}) = 600 + 600 + 2400 + 2400 = 6000000$

(Відповідь: при реплікації ДНК необхідно вільних нуклеотидів:  $A=T=600$  тис.,  $G=C=2400$ ).

### Задачі для самостійного розв'язання

1. Фрагмент ланцюгу ДНК має склад: Г-Г-Ц-А-Т-А-А-Ц-Г-А-А-Г.

Визначте: а) довжину гена; б) відсотковий зміст нуклеотидів в цьому ланцюзі.

(Відповідь:  $L(\text{гена}) \approx 4,08$  нм;  $W(A)=W(T) = 33,4\%$ ,  $W(G) = W(C) = 16,6\%$ ).

2. В молекулі ДНК одного виду тварин тимін складає 18 % від загальної кількості нуклеотидів. Відносна молекулярна маса цієї молекули 600000. Відносна мол. маса одного нуклеотида  $\approx 300$ .

Визначте кількість усіх нуклеотидів ДНК.

(Відповідь:  $A = T = 360$ ;  $G = C = 640$ ).

3. Один з ланцюгів молекули ДНК має таку послідовність нуклеотидів: А-Г-А-Ц-Ц-А-Г-А-Т-А-Ц-Т

Визначте: а) довжину даної молекули; б) склад іншого ланцюзі ДНК.

(Відповідь: а) 4,08 нм; б) Т-Ц-Т-Г-Г-Т-Ц-Т-А-Т-Г-А).

4. Визначте тривалість елонгації ланцюгу і-РНК, яка є дзеркальним відображенням ділянки ДНК (одного ланцюга), який містить 9000 нуклеотидів

(Відповідь: 180 сек).

5. Фермент РНК-полімераза прискорює синтез і-РНК на ДНК-матриці. Визначте послідовність азотистих основ в синтезованому ланцюзі, виходячи з такої послідовності їх в ланцюзі ДНК: А-Т-Г-А-Т-Ц-Т-Т-Г-А-А-А-А-Т-Г

(Відповідь: послідовність нуклеотидів синтезуємої і-РНК, виходячи з принципу комплементарності: - У-А-Ц-У-А-Г-А-А-Ц-У-У-У-У-А-Ц).

6. Довжина ланцюгу і-РНК 3,4 нм. Визначте відносну масу молекули. Відносна молекулярна маса одного нуклеотида  $\approx 300$ .

(Відповідь:  $M_r(\text{і-РНК}) \approx 3300$ ).

7. Чому дорівнює загальна довжина молекул ДНК однієї бактерії, якщо у складі молекул налічується всього 20000 тис. пар нуклеотидів?

(Відповідь: 6,8 мм).

8. Кількість нуклеотидів в і-РНК: У=300, А=170, Г=250, Ц=150.

Визначте довжину ланцюгу ДНК, дзеркальним відображенням якого є ця і-РНК.

(Відповідь: 295,8 нм).

## 6.2. Приклади розв'язання задач з молекулярної біології: 2<sup>й</sup> тип задач . Біосинтез білка.

### Задача 1.

Визначте тривалість біосинтезу білка, який складається з 172 амінокислотних залишків.

Дано:

Білок

$$n(\text{амінок-т}) = 172$$

$t(\text{трансляції})$ -?

(Відповідь:

Розв'язання

$$t(\text{трансляції}) = \Delta t(\text{тр.}) \cdot n(\text{амінок-т})$$

$$t(\text{трансляції}) = \frac{1}{5\text{сек}} \cdot 172 = 34,4\text{ сек}$$

час трансляції даного білка 34,4сек;  $\Delta t(\text{трансляції}) = 1/5-1/6\text{ сек}$ ).

### Задача 2.

Білок складається з 150 амінокислотних залишків. Визначте: а) масу даного поліпептиду і б) масу кодуючого його гена.

Дано:

білок

$$n(\text{амінок-т}) = 150$$

1)  $M_r(\text{поліпептида})$ -?

2)  $M_r(\text{гена})$ -?

3) 1 АК=3 нукл.

4)  $M_r(\text{амінок-ти}) \approx$

100

5)  $M_r(\text{нуклеотида}) \approx$

300-345

Розв'язання

$$1) M_r(\text{поліпептида}) = M_r(\text{амінок-ти}) \cdot n(\text{амінок-ти})$$

$$M_r(\text{поліпептида}) = 100 \cdot 150 = 15000$$

$$2) n(\text{нукл.}) = 3 \cdot n(\text{АК})$$

$$n(\text{нукл.}) = 3 \cdot 150 = 450$$

$$3) M_r(\text{гена}) = n(\text{нукл.}) \cdot$$

$M_r(\text{нукл.})$

$$M_r(\text{гена}) = 450 \cdot 300 \cdot 2 = 270000$$

(Відповідь: а)  $M_r(\text{поліпептида}) = 15000$ ; б)  $M_r(\text{гена}) = 270000$ ).

### Задача 3.

Ген складається з 15 тис. нуклеотидів. Визначте час трансляції поліпептида, який шифрується даним геном.

Дано:

Ген;

$$n(\text{нукл.}) = 15000$$

$t(\text{трансляції})$  -?

$$\Delta t(\text{трансл.}) = \frac{1}{5} - \frac{1}{6}\text{ сек}$$

Розв'язання

1) Визначаємо кількість амінокислотних залишків в поліпептид: 1 АК=3 нукл.

$$n = (\text{амінок-т}) = \frac{n(\text{нукл.})}{3} = \frac{15000}{3} = 5000$$

2)  $t(\text{трансляції}) = \Delta t(\text{трансл.}) \cdot n(\text{амінок-т})$

$$t(\text{трансляції}) = \frac{1}{5}\text{ сек} \cdot 5000 = 1000\text{сек}$$

(Відповідь: час трансляції = 1000сек).

#### Задача 4.

Ген курячого овальбуміну містить 7 екзонних ділянок, приблизна довжина яких за різними даними складає 185-189, 45-53, 129-134, 116-119, 140-144, 152-158, 1030-1034 нуклеотидних пар. Скільки амінокислот входить до складу курячого овальбуміну?

Дано:

Білок-курячий овальбумін;

$n$  (екзонів) = 7

$L$  (екзонів):

1) 185-189

2) 45-53

3) 129-134

4) 116-119

5) 140-144

6) 152-158

7) 1030-1034

нуклеотидних пар

$n$  (амінокислот)-?

Розв'язання

1) Генетичний код триплетний. Виходячи з цього, визначимо загальну кількість амінокислот в білку за формулою:

$$n(\text{амінок-т}) = \frac{n(\text{нукл.})}{3}$$

2) Загальна кількість нуклеотидів в 1<sup>му</sup> ланцюгу ДНК дорівнює кількості нуклеотидних пар в 2<sup>х</sup> його ланцюгах:

$$n^{заг.}(\text{нукл.}) = \underbrace{185 - 189}_{5+}; \underbrace{45 - 53}_{9+}; \underbrace{129 - 137}_{6+}; \underbrace{116 - 119}_{4+}; \underbrace{140 - 144}_{5+};$$

$$\underbrace{152 - 158}_{7+}; \underbrace{1030 - 1034}_{5+} = 41$$

$$\text{Звідси } n(\text{амінок-т}) = \frac{41}{3} \approx 13.$$

(Відповідь: кількість амінокислот в курячому овальбуміні = 13).

#### Задача 5.

Дана ділянка ланцюгу ДНК: А-Ц-А-А-А-А-Т-А. Визначте: а) первинну структуру білка, що кодується цим геном; б) триплети (антикодони) т-РНК, які беруть участь у синтезі цього білка; в) загальну кількість т-РНК, що приймають участь у цьому процесі.

Дано:

Ген:

А-Ц-А-А-А-А-Т-А

Первинна структура білка -?

Антикодони т-РНК -?

$n$  (т-РНК) -?

## Розв'язання



(Відповідь: а) цис-фен-тир; б) антикодони т-РНК: А-Ц-А; А-А-А; А-У-А; в) в цьому процесі прийняли участь 3 молекули т-РНК).

## Задача 6.

Дана ділянка лівого ланцюга ДНК: Ц-Ц-Т-Т-Г-Т-Г-А-Т-Ц-А-Т. Визначте: а) первинну структуру білка, синтезованого за генетичною інформацією у правому ланцюгу; б) як зміниться структура синтезованого білка, коли в лівому ланцюгу ДНК випадє внаслідок опромінення восьмий зліва нуклеотид?

Дано: репараційний лівий ланцюг ДНК (до опромінення)

Ц-Ц-Т-Т-Г-Т-Г-А-Т-Ц-А-Т-Ц

лівий репараційний ланцюг ДНК(після опромінення)

Ц-Ц-Т-Т-Г-Т-Г-Т-Ц-А-Т-Ц

а) первинна структура білка (інф-я про нього на правому матричному ланцюгу ДНК)- до опромінення -?

б) первинна структура білка (після опромінення) -?



Поліпептид<sup>2</sup> (після опромінення) – використовуваємою таблицю генетичного коду: Про – Цис – Вал – Ала

Відповідь: а) Про – Цис – Асп – Гіс; б) Про – Цис – Вал – Ала.

## Задача 7.

Одноланцюгова РНК ВТМ (віруса тютюнової мозаїки) складається з 6500 нуклеотидів. Одна білкова молекула ВТМ складається з 158 амінокислот.

Визначте: а) що має більшу масу (і в скільки разів?) – молекула білка ВТМ чи кодуєчий його ген? б) Скільки видів білка (коли кожний з них складається приблизно з 200 мономерів) закодовано в РНК ВТМ?

Дано:	Розв'язання
РНК ВТМ	1) $M_r(\text{гена}) = n(\text{нукл.}) \cdot M_r(\text{нукл.})$
$N^{\text{заг.}}(\text{нукл.}) = 6500$	$n(\text{нукл.}) = n(\text{амінок-т}) \cdot 3$
$n(\text{амінок-т}) = 158$	$M_r(\text{гена}) = 158 \cdot 3 \cdot 345 = 163530$
а) $M_r(\text{ВТМ})^{\text{білка}} - ?$	2) $M_r(\text{білка}) = n(\text{амінок-т}) \cdot 100$
б) $n(\text{видів білка}) - ?$	$M_r(\text{білка}) 158 \cdot 100 = 15800$
в) $M_r(\text{ВТМ})^{\text{гена}} - ?$	3) Більшу масу має ген:
$M_r(\text{амінок-ти}) \approx 100$	$\frac{M_r(\text{гена})}{M_r(\text{білка})} = \frac{163530}{15800} \approx \text{в } 10 \text{ раз}$
$M_r(\text{нукл.}) \approx 345 (300).$	4) $n(\text{видів білка}) \approx \frac{n(\text{нукл.})^{\text{заг.}}}{n(\text{нукл.гена})}$
	$n(\text{видів білка}) \approx \frac{6500}{474} \approx 13 - 14$

(Відповідь: більшу масу має ген, в 10 разів; 13-14 видів білка).

### Задача 8.

Бактерія кишкова паличка містить всього одну молекулу ДНК з молекулярною масою  $2 \cdot 10^9$ , а бактеріофаг, який паразитує в кишковій палочці, містить також одну молекулу ДНК, але з масою  $3 \cdot 10^7$ .

Чому ДНК бактерії довше ДНК фага? У скільки разів?

Дано:	Розв'язання
$M_r(\text{ДНК бактерії}) = 2 \cdot 10^9$	1) $n(\text{ДНК бакт.}) = \frac{M_r(\text{ДНК бакт.})}{M_r(\text{нукл.})}$
$M_r(\text{бактеріофага}) = 3 \cdot 10^7$	$n(\text{ДНК бакт.}) = \frac{2 \cdot 10^9}{300} = 0,66 \cdot 10^7$
$L(\text{ДНК бакт.}) - ?$	2) $n(\text{ДНК фага}) = \frac{M_r(\text{фага})}{M_r(\text{нукл.})}$
$L(\text{ДНК фага}) - ?$	$n(\text{ДНК фага}) = \frac{3 \cdot 10^7}{300} = 1 \cdot 10^5$
$M_r(\text{нукл.}) \approx 300-345$	3) $L(\text{ДНК бакт.}) = n(\text{нукл.бакт.}) \cdot \Delta L(\text{нукл.})$
$\Delta L(\text{нукл.}) \approx 0,34 \text{ нм}$	$L(\text{ДНК бакт.}) = 0,66 \cdot 10^7 \cdot 0,34 \text{ нм} = 22,44 \cdot 10^5 \text{ нм}$
	4) $L(\text{ДНК фага}) = n(\text{нукл.фага}) \cdot \Delta L(\text{нукл.})$
	$L(\text{ДНК фага}) = 1 \cdot 10^5 \cdot 0,34 \text{ нм} = 0,34 \cdot 10^5 \text{ нм}$
	5) $\frac{L(\text{ДНК бакт.})}{L(\text{фага})} = \frac{22,44 \cdot 10^5}{0,34 \cdot 10^5} = 66 \text{ разів}$

(Відповідь: довжина ДНК бактерії в 66 разів більша, ніж у фага, так як містить більше інформації про білки (через послідовність нуклеотидів).

**Задача 9.**

Яку довжину має молекула ДНК, що кодує інсулін бугая, якщо відомо, що молекула інсуліна бугая має 51 амінокислоту, а відстань між двома сусідніми нуклеотидами в ДНК 0,34 нм.

Дано:	Розв'язання
Інсулін бугая	L (ДНК) = Δ L нукл. x (n нукл. -1), або Δ L нукл. x n
n (амінок-т) = 51	(нукл.) Δ L (нукл.) = 0,34 нм
L (ДНК) -?	1) n (нукл.) = 3 x n (амінок-т); n (нукл.) = 3 x 51 = 153
	2) L (ДНК) = 0,34 нм x 153 ≈ 52,02 нм

(Відповідь: L (ДНК) ≈ 52 нм.)

**Задача 10.**

Початкова ділянка ланцюгу В-інсуліна складена наступними 10-ма амінокислотами: фенілаланін – валін – аспарагінова кислота – глутамін – гістидин – лейцин – цистеїн – гліцин – серін – гістидин. Визначте кількісне співвідношення аденін + тимін і гуанін + цитозин в ланцюгу ДНК, який кодує цю ділянку інсуліна.

Дано:	
В-інсулін:	
Фен-вал-аспараг-глу-гіс-лей-цис-глі-сер-гіс	
$\frac{n(A+T)}{n(G+C)} - ?$	

Розв'язання

1) В-інсулін: фен-вал-аспарал-глу- гіс-лей-цис-глі-сер-гіс.

ДНК : A-A-A-C-A-A-C-T-A-C-T-T-G-T-A-G-A-A-A-C-A-C-C-C-A-G-A-G-T-A

2) n (A) = 14; n (T) = 5; n (G) = 4; n (C) = 7.

3)  $\frac{n(A+T)}{n(G+C)} = \frac{19}{11} = 1,7$

(Відповідь:  $\frac{n(A+T)}{n(G+C)} = 1,7$ )

**Задачі для самостійного розв'язання**

1. У людини, хворої на цистинурію (вміст в сечі більшої, за норму, кількості амінокислот) з сечею виділяються амінокислоти, яким відповідають такі триплеті і-РНК: Ц-У-У, Г-У-У, Ц-У-Г, Г-У-Г, У-Ц-Г, Г-У-Ц, А-У-А. У здорової людини в сечі знайдено: аланін, серін, глутамінова кислота, гліцин. Визначте:



а) виділення яких амінокислот з сечею характерно для хворих цистинурією?

б) які триплетні і-РНК відповідають амінокислотам, що знаходяться в сечі здорової людини?

(Відповідь: а) серин, цистеїн, аланін, гліцин, глутамін, аргінін, лізін;

б)  $\underbrace{Ц-У-Г}_{ала}, \underbrace{Ц-У-У}_{сер}, \underbrace{А-У-Г}_{глут}, \underbrace{Г-У-Г}_{гли}$ .

2. Як зміниться структура білка і його довжина, якщо з кодуючої його ділянки ДНК:  $\underbrace{Г-А-Т}_{i} - \underbrace{А-Ц-Т}_{i} - \underbrace{Т-А-Т}_{i} - \underbrace{А-А-А}_{i} - \underbrace{Г-А-Ц}_{i}$

видалити 5<sup>й</sup> і 13<sup>й</sup> (зліва) нуклеотиди?

(Відповідь: виникла заміна 2<sup>й</sup> і 3<sup>й</sup> амінокислоти, а довжина ланцюгу скоротилася на одну амінокислоту).

3. Одна макромолекула білка-гемоглобіна, що складається з 574 амінокислот, синтезується в рибосомі протягом 90с. Визначте: а) час однієї операції трансляції, б) масу цього білка.

(Відповідь: а) 6-7с.; б) 57400).

4. Бактерія кишкова паличка містить всього одну молекулу ДНК з молекулярною масою  $2 \cdot 10^9$ . Скільки видів білків може бути закодовано в ДНК бактерії, якщо прийняти, що типовий білок складається з 200 мономерів? (Відповідь:  $1,1 \cdot 10^4$ ).

5. Молекулярна маса білка 78000. Визначте довжину відповідного гена. (Відповідь: 795, 6 нм).

6. Скільки нуклеотидів містить ген (обидва ланцюги ДНК), в якому запрограмований білок інсулін, що складається з 51 амінокислоти?

(Відповідь: 306).

7. Скільки нуклеотидів містить ген (один ланцюг ДНК), в якому записана інформація про білок, що складається з 500 амінокислот? Яка його довжина?

(Відповідь: 1500;  $L(\text{гена}) = 510 \text{ нм}$ ).

8. Визначте антикодони т-РНК, які приймають участь в синтезі білка складу: асп – ала – гли – ліз – ала.

(Відповідь: Г-А-У, Г-А-Ц, Ц-А-Ц, У-А-У, Г-А-Ц).

9. Білок містить 400 амінокислот. Яку довжину має ген, під контролем якого білок синтезується, якщо відстань між двома нуклеотидами в молекулі ДНК складає 0,34 нм?

(Відповідь: 4080 нм).

10. Визначте первинну структуру білка і його масу, якщо кодуєчий його ген має склад:  $\underbrace{Т-Т-Т}_{i} - \underbrace{Т-А-Ц}_{i} - \underbrace{А-Ц-А}_{i} - \underbrace{Т-Г-Т}_{i} - \underbrace{Ц-А-Г}_{i}$

(Відповідь: ліз-мет-цис-тре-вал; 500).

## РОЗДІЛ VII. ГЕНЕТИЧНІ ПРОЦЕСИ В ПОПУЛЯЦІЯХ

Популяційна генетика (синтетична теорія еволюції) вивчає генетичні закономірності в популяціях. У популяціях, які вільно схрещуються, встановлюється рівновага генних часток, яка відображається законом Харді-Вайнберга (1908):

$$p^2 AA + 2pqAa + q^2 aa = 1$$

де  $p$  — частота гена  $A$ ,

$q$  — частота гена  $a$ .

Сума частот генів однієї алельної пари в даній популяції є величиною постійною:

$$pA + qa = 1$$

Частоти генів можуть бути виражені у долях одиниці або у відсотках, тоді:

$$pA + qa = 100\%$$

Цей закон виконується для так званих «менделівських» популяцій, які відповідають таким умовам: вільна панміксія (схрещування), відсутність притоку генів за рахунок міграцій і мутацій, відсутність відтоку генів за рахунок добору, однакова плодючість гомозигот і гетерозигот, повна ізоляція даної популяції, велика чисельність популяції.

Таким чином, знайдена ймовірність є модельним дослідом.

Але, з умовними поправками, закон Харді-Вайнберга використовується для математичних прогнозів кількісних співвідношень особин з різними генотипами за одним алелем, або для визначення зустрічальності цього гену серед даної популяції. Такі прогнози знаходять практичне застосування в екології, соціології (наука про охорону природи), сільсько-господарській практиці та селекції, в медичній практиці тощо.

### 7.1. Методика розв'язання задач з популяційної генетики

При розв'язуванні задач даного типу необхідно визначити частоти гомозиготних ( $AA$ ,  $aa$ ) або гетерозиготних ( $Aa$ ) генотипів у першому поколінні, або, навпаки, за ймовірністю (або абсолютною кількістю) особин з даними генотипами (або генотипом) визначити у долях одиниці (або у відсотках) їхні частоти після встановлення рівноваги у популяції.

При рішенні задач цього типу використовують два рівняння:

$$1) p^2 AA + 2pq + q^2 aa = 1 \qquad 2) pA + qa = 1$$

Знаючи  $p^2 AA$  (або  $q^2 aa$ ) можливо визначити  $pA$ , а потім  $qa$

$$3) pA = \sqrt{p^2 AA} \qquad 4) qa = 1 - pA$$

Звідси частота гетерозигот у даній популяції буде визначатися таким чином:

$$5) 2pqAa$$

## 7.2. Приклади розв'язання задач даного типу

### Задача 1.

Розрахувати частоту ( $p$ ) алеля  $A$  і частоту ( $q$ ) алеля  $a$  у даній популяції:  $AA = 36\%$ ,  $Aa = 48\%$ ,  $aa = 16\%$

Дано:	Розв'язання 1) Визначаємо частоту ( $p$ ) алелю $A$ : $pA = \sqrt{p^2 AA}$ $pA = \sqrt{36 / 100} = 0,6 (60\%)$ 2) Визначаємо частоту ( $q$ ) алелю $a$ : $qa = 1 - 0,6 = 0,4 (40\%)$
$p^2 AA = 36\%$	
$2pqAa = 48\%$	
$q^2 aa = 16\%$	
$pA - ?$	
$qa - ?$	

Відповідь:  $pA = 0,6$ ,  $qa = 0,4$ .

### Задача 2.

Альбінізм у кукурудзи успадковується, як аутосомна рецесивна ознака. У деяких сортів кукурудзи рослини-альбіноси зустрічаються з частотою  $25/10000$ . Визначте частоту гена альбінізму у цих сортів, а також частоту генотипів ( $RR$  і  $Rr$ ) з нормальним забарвленням.

Дано:	Розв'язання 1) Визначаємо частоту ( $q$ ) алеля $r$ : $qr = \sqrt{q^2 rr}$ $qr = \sqrt{25 / 10000} = 5 / 100$ 2) Визначаємо частоту ( $p$ ) алелю $R$ : $pR = 1 - qr$ $pR = 1 - 0,05 = 0,95$ 3) Визначаємо частоту генотипів з нормальним забарвленням $p^2 RR = 0,95^2 = 0,9025 (90,25\%)$ $2pqRr = 2 \times 0,95 \times 0,05 = 0,0950 (9,5\%)$
$R$ – ген нормального забарвлення кукурудзи	
$r$ – альбінізму кукурудзи	
$q^2 rr = 25 / 10000$	
$qr - ?$	
$p^2 RR - ?$	
$2pqRR - ?$	

*Відповідь: частота гену альбінізму 5%, частота гомозигот за домінантною ознакою (RR) 90,25% і гетерозигот 9,5%.*

### **Задача 3.**

Як зміниться кожний розподіл генотипів у популяції ( $p^2AA=0,49$ )+ $2pqAa=0,42$ )+(  $q^2aa=0,9$ ) при встановленні нової концентрації алелів:  $pA = 0,6$  ,  $qa = 0,4$  .

Дано:

Початкове співвідношення частот генотипів:

$$0,49AA + 0,42Aa + 0,09aa = 1$$

Остаточна концентрація алелів:

$$pA = 0,6$$

$$qa = 0,4$$

Остаточне співвідношення частот генотипів – ?

Розв'язання

1) Визначаємо частоту генотипу  $AA$ :

$$p^2AA = (pA)^2$$

$$p^2AA = 0,6^2 = 0,36$$

2) Визначаємо частоту генотипу  $aa$ :

$$q^2aa = (qa)^2$$

$$q^2aa = 0,4^2 = 0,16$$

3) Визначаємо частоту генотипу  $Aa$ :

$$2pqAa = 2 \times 0,6 \times 0,4 = 0,48$$

4) Визначаю остаточне

співвідношення частот генотипів:

$$p^2AA + 2pqAa + q^2aa = 1$$

$$0,36AA + 0,48Aa + 0,16aa = 1$$

*Відповідь: остаточне співвідношення частот генотипів виражається рівнянням:  $0,36AA + 0,48Aa + 0,16aa = 1$ . Звідси бачимо, що частота гомозиготних рецесивів збільшилася, а гомозиготних домінант зменшилася в порівнянні з вихідними даними.*

### **Задача 4.**

У великої рогатої худоби породи шортгорн червона масть неповністю домінує над білою. Гібриди від схрещування червоних з білими мають чалу масть. У районі, який спеціалізувався на розведенні шортгорнів, зареєстровано 4169 червоних тварин: 3780 чалих і 756 білих. Визначте частоту генів червоного і білого забарвлення худоби у даному регіоні.

Дано:  
*A* – ген червоного забарвлення  
*a* – ген білого забарвлення  
*Aa* – чала масть  
*AA* – червона масть  
*aa* – біла масть  
 $n(Aa) = 3780$   
 $n(aa) = 756$   


---

 $pA = ?$   
 $qa = ?$

Розв'язання.

1) Визначаємо загальну кількість худоби різного фенотипу:

$$n(\text{заг.}) = n(AA) + n(Aa) + n(aa)$$

$$n(\text{заг.}) = 4169 + 3780 + 756 = 8705$$

2) Визначаємо частоту генотипу *AA*:

$$p^2 AA + 2pqAa + q^2 aa = 1$$

$$p^2 AA = \frac{n(AA)}{n(\text{заг.})}$$

$$p^2 AA = \frac{4169}{8705} = 0,5$$

3) Визначаємо частоту генотипу *Aa*:

$$2pqAa = \frac{n(Aa)}{n(\text{заг.})}$$

$$2pqAa = \frac{3780}{8705} = 0,4$$

4) Визначаю частоту генотипу *aa*:

$$q^2 aa = \frac{n(aa)}{n(\text{заг.})}$$

$$q^2 aa = \frac{756}{8705} = 0,09$$

5) Визначаємо частоту гена *a*:

$$qa = \sqrt{q^2 aa}$$

$$qa = \sqrt{0,09} = 0,3 (30\%)$$

6) Визначаємо частоту гена *A*:

$$pA = 1 - qa$$

$$pA = 1 - 0,3 = 0,7 (70\%)$$

Відповідь: частота гена *A* = 0,7, частота гена *a* = 0,3.

### Задача 5

Розрахувати частоти генотипів *AA*, *Aa* у % , коли гомозиготні особини *aa* складають у популяції 1%.

Дано: $q^2 aa = 1\% = 0,01$	Розв'язання. 1) Визначаємо частоту гена $a$ : $q^2 aa = 0,01$ $qa = \sqrt{q^2 aa}$ $qa = \sqrt{1/100} = 1/10$
$p^2 AA - ?$ $2pqAa - ?$	2) Визначаємо частоту гена $A$ : $pA + qa = 1$ $pA = 1 - qa$ $pA = 1 - 0,1 = 0,9$ 3) Визначаємо частоту генотипу $AA$ : $p^2 AA = 0,9^2 = 0,81 (81\%)$ 4) Визначаю частоту генотипу $Aa$ : $2pqAa = 2 \times 0,9 \times 0,1 = 0,18 (18\%)$

Відповідь: частини генотипів  $AA$  і  $Aa$  відповідно  $81\%$  і  $18\%$ .

### Задача 6

В популяції, яка розмножується шляхом вільного схрещування, існує така частота генотипів:  $0,2 AA$  і  $0,8 Aa$ . Визначити, які частоти генотипів  $AA$ ,  $Aa$  і  $aa$  встановляться у першому поколінні після схрещування в даній популяції.

Дано: $p^2 AA = 0,2 (20\%)$ $2pqAa = 0,8 (80\%)$	Розв'язання. В даній популяції за кожним генотипом утворюється однакова чисельність яйцеклітин і сперматозоїдів. Оскільки відбувається вільне схрещування, чисельність ймовірних співвідношень знаходимо алгебраїчним шляхом:
В $F_1$ : $p^2 AA - ?$ $2pqAa - ?$ $q^2 aa - ?$	Утворення яйцеклітин: $p^2 AA = 0,2$ $2pqAa = 0,8 \begin{cases} \text{гамет}(A) = 0,4 \\ \text{гамет}(a) = 0,4 \end{cases}$ Стільки ж утворюється і сперматозоїдів. Звідси співвідношення особин, які утворилися з різними генотипами: $(0,2A + 0,4A + 0,4a) \times (0,2A + 0,4A + 0,4a) =$ $= 0,36 AA + 0,48 Aa + 0,16 aa = 1$

Відповідь:  $p^2 AA = 0,36$ ,  $2pqAa = 0,48$ ,  $q^2 aa = 0,16$ .

### Задача 7

На одному з островів було обстежено 10000 лисиць, з них виявилось 9991 рудих і 9 білих особин. Рудий колір домінує над білим. Визначте відсоткове співвідношення рудих гомозиготних, рудих гетерозиготних і білих лисиць.

Дано:	Розв'язання.
$A$ – ген рудого забарвлення	1) Визначаємо частоту гена $a$ :
$a$ – ген білого забарвлення	$q^2 aa = \frac{9}{10000}$
$n(\text{лисиць}) = 10000$	$qa = \sqrt{q^2 aa}$
$n(AA + Aa) = 9991$	$qa = \sqrt{9 / 10000} = \frac{3}{100} (3\%)$
$n(aa) = 9$	2) Визначаємо частоту гена $A$ :
$p^2 AA - ?$	$pA + qa = 1$
$2pqAa - ?$	$pA = 1 - qa$
$q^2 aa(\%) - ?$	$pA = 1 - 0,03 = 0,97 (97\%)$
	3) Визначаємо частоту генотипу $Aa$ :
	$2pqAa = 2 \times 0,97 \times 0,03 = 0,0582 (5,82\%)$
	4) Відсоткове співвідношення гомозиготних і гетерозиготних лисиць:
	$p^2 AA : 2pqAa : q^2 aa = 0,97^2 : 0,0582 : 0,03^2$
	$p^2 AA : pqAa : q^2 aa = 94,09\% (AA) : 5,82\% (Aa) : 0,09\% (aa)$

*Відповідь: Відсоткове співвідношення рудих гомозиготних, рудих гетерозиготних і білих лисиць складає відповідно 94,09%(AA), 5,82%(Aa), 0,09%(aa).*

### Задача 8

Популяція складається з 60% особин з генотипом  $NN$  і 40% з генотипом  $nn$ . Визначити у долях одиниці частоти генотипів  $NN$ ,  $Nn$  і  $nn$  після встановлення у популяції рівноваги згідно з законом Харді-Вайнберга.

Дано:	Розв'язання.
Вихідна популяція	1) Визначаємо частоту гена $N$ :
$\%NN = 60$	$pN = 0,6(\text{вихідн.})$
$\%nn = 40$	2) Визначаємо частоту гена $n$ :
Остаточна популяція:	$qn = 0,4(\text{вихідн.})$
$p^2 NN - ?$	3) Згідно з законом Харді-Вайнберга у популяції після першого схрещування встановлюється така рівновага генотипів.
$2pqNn - ?$	$p^2 NN + 2pqNn + q^2 nn = 1$
$q^2 nn - ?$	$0,36NN + 0,48Nn + 0,16nn = 1$

*Відповідь: частоти генотипів  $NN$ ,  $Nn$  і  $nn$  в даній популяції після встановлення рівноваги становлять відповідно 0,36, 0,48, 0,16.*

### Задача 9

Альбінізм загальний успадковується у людини як рецесивна ауто-сомна ознака. Захворювання зустрічається з частотою 1 : 20000. Розрахувати кількість гетерозигот у популяції.

Дано:

$A$  – ген нормальної пігментації  
 $a$  – ген альбінізму

$$q^2 aa = \frac{1}{20000}$$

$$2pqAa - ?$$

Розв'язання.

1) Визначаємо частоту гена  $a$ :

$$qa = \sqrt{q^2 aa}$$

$$qa = \sqrt{1/20000} = 1/141$$

2) Визначаємо частоту гена  $A$ :

$$pA + qa = 1$$

$$pA = 1 - qa$$

$$pA = 1 - \frac{1}{141} = \frac{140}{141}$$

3) Визначаємо число гетерозигот у популяції:

$$2pqAa = 2 \times \frac{140}{141} \times \frac{1}{141} = \frac{1}{70} (1,4\%)$$

Відповідь: кількість гетерозигот у даній популяції 1/70 (1,4%).

### Задача 10

Розрахувати частоту ( $p$ ) домінантного алеля і частоту ( $q$ ) рецесивного алеля у даних виборках з популяцій: 1) 400 особин  $CC$  і 100 особин  $cc$ ; 2) 700 особин  $AA$  і 300 особин  $aa$ .

Дано:

Популяція 1:

$$n(CC) = 400$$

$$n(cc) = 100$$

Популяція 2:

$$n(AA) = 700$$

$$n(aa) = 300$$

$$p(A) - ?$$

$$q(a) - ?$$

$$p(C) - ?$$

$$q(c) - ?$$

Розв'язання.

1) Визначаємо загальну кількість особин в популяції 1:

$$n(CC + cc) = 400 + 100 = 500$$

2) Визначаємо частоту генотипу  $cc$  і  $CC$  (співпадає з частотою гена)

$$q^2 cc = \frac{100}{500} = 0,2$$

$$p^2 CC = \frac{400}{500} = 0,8$$

3) Визначаємо загальну кількість особин в популяції 2:

$$n(AA + aa) = 700 + 300 = 1000$$

4) Визначаємо частоту генотипу  $aa$  і  $AA$  (співпадає з частотою гена)

$$q^2 aa = \frac{300}{1000} = 0,3$$

$$p^2 AA = \frac{700}{1000} = 0,7$$

Відповідь:  $pA = 0,7$ ;  $qa = 0,3$ ;  $pC = 0,8$ ;  $qc = 0,2$ .



### Задача 11

Популяція складається з 80% особин з генотипом  $AA$  і 20% з генотипом  $aa$ . Визначити у долях одиниці частоти генотипів  $AA$ ,  $Aa$  і  $aa$  після встановлення рівноваги у популяції.

Дано:

Вихідна популяція:

$$\%AA = 80$$

$$\%aa = 20$$

Кінцева популяція:

$$p^2 AA - ?$$

$$2pqAa - ?$$

$$q^2 aa - ?$$

Розв'язання.

1) Визначаємо частоту генів  $A$  і  $a$ :

$$pA = 0,8(\text{вихідн.})$$

$$qa = 0,2(\text{вихідн.})$$

2) Після встановлення рівноваги у даній популяції

згідно з законом Харді-Вайнберга після першого схрещування встановиться така рівновага генотипів:

$$p^2 AA + 2pqAa + q^2 aa = 1$$

$$0,64AA + 0,32Aa + 0,04aa = 1$$

Відповідь: частоти генотипів  $AA$ ,  $Aa$  і  $aa$  у даній популяції після встановлення рівноваги відповідно будуть 0,64, 0,32, 0,04.

### Задача 12

Уроджений вивих стегна успадковується домінантно, середня пенетрантність (проява ознаки) 25%. Захворювання зустрічається з частотою 6/10000. Визначити число гомозиготних особин за рецесивним геном.

Дано:

$A$  – ген уродженого вивиху стегна

пенетрантність  $A = 25\%$

$$\text{хворих} = 6 / 10000\%$$

$$q^2 aa - ?$$

Розв'язання.

$$p^2 AA + 2pqAa + q^2 aa = 1$$

1) Визначаємо частоту генотипу  $aa$ :

$$q^2 aa = 1 - (p^2 AA + 2pqAa)$$

2) Визначаємо частоту генотипів з геном  $A$ :

$$p^2 AA + 2pqAa = 25\% (1/4)$$

3) Визначаємо число гомозиготних особин за рецесивним геном:

$$\frac{p^2 AA + 2pqAa}{4} = \frac{6}{10000}$$

$$p^2 AA + 2pqAa = 4 \times \frac{6}{10000}$$

$$q^2 aa = 1 - \frac{24}{10000} = \frac{9976}{10000} = 99,76\%$$

Відповідь: число гомозиготних особин за рецесивним геном складає  $q^2 aa = 99,76\%$

### Задача 13

У деякій державі кожний десятий чоловік – дальтонік. Скільки у цій державі людей, хворих дальтонізмом, коли населення держави 1млн., а кількість жінок і чоловіків однакове?

Дано:

$A$  – ген нормального зору

$a$  – ген дальтонізму

$X^A, X^a$

$n(\text{заг.}) = 1\text{млн}$

$$X^aY = \frac{1}{10}$$

$n(\text{чол.}) = n(\text{жінок})$

$n(\text{хворих}) = ?$

Розв'язання.

1) Визначаємо частоту зустрічальності дальтонізму у чоловіків: так як альбінізм успадковується зчеплено із статтю, частота зустрічальності дальтонізма у чоловіків дорівнює частоті ( $q$ ) алелю, який визначає цю ознаку, тобто  
 $qa = 0,1 \times 500\text{тис.} = 50\text{тис.}$

2) Визначаємо частоту зустрічальності дальтонізму у жінок: у жінок частота зустрічальності дальтонізму буде складати  $q^2$ , так як хворі жінки мають 2 алеля гену “ $a$ ”, що контролює дальтонізм.  
 $q^2aa = 0,1^2 = 0,01$

3)  $n = \frac{50000 \times 0,01}{0,1} = 5(\text{тис.})$  – хворих жінок

4) Визначаємо загальну кількість хворих людей:  
 $50\text{тис.}(\text{хв.чолов.}) + 5\text{тис.}(\text{хв.жін.}) = 55\text{тис.}$

*Відповідь: в даній державі буде 55тис. хворих людей на дальтонізм.*

### 7.3. Задачі для самостійного розв'язання

1. Одна з форм фруктозонурії (послаблене засвоєння фруктози і збільшений зміст її у сечі) проявляється субклінічно. Дефекти обміну знижуються при виключенні фруктози з їжі. Захворювання успадковуються аутосомно-рецесивно і зустрічається з частотою  $7/1000000$ . Визначте ймовірність гетерозигот у популяції.

*(Відповідь:  $2pq = \frac{1}{189}$ ).*

2. Алькаптонурія характеризується забарвленням хрящових тканин і швидким потемнінням підлуженої сечі. У старості при цій аномалії розвивається артрит. Успадковується як аутосомна рецесивна ознака. Захворювання зустрічається з частотою  $1:100000$ . Розрахувати ймовірність гетерозигот у популяції.

*(Відповідь:  $2pq = \frac{1}{158}$ ).*

3. Альбінізм у жита успадковується як аутосомна рецесивна ознака. При обстеженні ділянки серед 84000 рослин виявлено 210 альбіносів. Визначте частоту гена альбінізму у жита.

*(Відповідь:  $q(a) = 0,05$ ).*

4. Розрахувати частоту ( $p$ ) алеля “ $B$ ” і частоту ( $q$ ) алеля “ $b$ ” в такій популяції:  $AA = 49\%$ ;  $Aa = 42\%$ ;  $aa = 9\%$ .

*Відповідь*:  $pA = 0,7$ ;  $qa = 0,3$ .

5. В популяції, яка розмножується шляхом вільного схрещування, існує така частота генотипів:  $0,4 AA$ ,  $0,4Aa$  і  $0,2aa$ . Визначте частоти генотипів  $AA$ ,  $Aa$  і  $aa$  в першому поколінні у даній популяції.

*Відповідь*:  $0,36AA + 0,48Aa + 0,16aa$ .

6. Розрахувати частоту ( $p$ ) доміантного алеля і частоту ( $q$ ) рецесивного алеля в наступних популяціях: 1) 180 особин  $MM$  і 20 особин  $mm$ ; 2) 60 особин  $NN$  і 40 особин  $nn$ .

*Відповідь*: 1)  $pM = 0,9$ ,  $qm = 0,1$ ; 2)  $pN = 0,6$ ,  $qn = 0,4$ .

7. Виборка рослин складається з 128 гетерозигот  $Kk$ . Визначте частоту ( $p$ )  $K$  і частоту ( $q$ )  $k$  у долях одиниці і у відсотках загальної чисельності алелів ( $K+k$ ).

*Відповідь*:  $pK = 0,5(50\%)$ ;  $qk = 0,5(50\%)$ .

8. Глухонімота, що пов’язана з уродженою глухотою, перешкоджує нормальному засвоєнню мови. Успадкування аутосомно-рецесивне. Середня частота захворювання коливається в різних країнах. Для європейських країн вона дорівнює приблизно 2:10000. Визначте ймовірну чисельність гетерозиготних за глухонімотою людей у районі, який включає 800000 чоловік населення.

9. У районі з населенням в 500000 людей зареєстровано 4 хворих алькаптонуриєю (успадкування аутосомно-рецесивне). Визначте кількість гетерозигот за аналізуємою ознакою у даній популяції.

10. Подагра зустрічається у 2% людей і обумовлена аутосомним доміантним геном. У жінок ген подагри не проявляється, у чоловіків його пенетрантність (ступінь фенотипового проявлення) дорівнює 20%. Визначте генетичну структуру популяції за аналізуємою ознакою, виходячи з цих даних.

11. При обстеженні населення південної Польщі виявлено особин з групою крові  $MM-11163$ ,  $MN-15267$ ,  $NN-5134$ . Визначте частоту генотипів  $M$  і  $N$  серед населення південної Польщі.

12. Анірідія успадковується як доміантна аутосомна ознака і зустрічається з частотою 1:10000. Визначте генетичну структуру популяції.

13. В одному місті з стабільним складом населення протягом 5 років серед 25000 новонароджених зареєстровано 2 хворих фенілкетонуриєю, яка успадковується за аутосомно-рецесивним типом. Визначте кількість гетерозигот за фенілкетонуриєю серед населення даного міста.

14. Визначте частоту аутосомного доміантного гена  $S$  (поява у кішок білих плям на тілі, білого трикутника на шиї і білих кінчиків лап), якщо з 420 кішок, які зустрічалися на вулицях і дворах, 350 мали білий “воротничок”.

15. Серед каракульських овець однієї вівчарні було виявлено таке співвідношення генотипів за геном безвухості:  $729AA : 111Aa : 4aa$ . Чи співпадає це співвідношення з формулою Харді-Вайнберга?

16. Штучно створена популяція складається з 20 особин з генотипом  $AA$ , однієї –  $aa$  і 40 –  $Aa$ . Визначте співвідношення генотипів у  $F_1$  при умові панміксії.

17. В популяції зустрічальність рецесивного захворювання складає 1 на 400 людей. Визначте кількість носіїв мутантного алеля.

18. В популяції мишей протягом одного року народилося 2% альбіносів. Визначте частоти алелів і долю гетерозигот в  $F_1$  в цій популяції при умові панміксії.

19. Група складається з 50% особин  $AA$  і 50%  $aa$ . Доведіть, що в умовах панміксії у першому поколінні встановиться рівновага між частотами генотипів  $AA$ ,  $aa$  і  $Aa$ . Визначте ці частоти.

20. В одному з пологових будинків протягом років виявлено 210 дітей з патологічною рецесивною ознакою серед 84000 новонароджених. Встановіть генетичну структуру популяції даного міста, коли вона відповідає умовам панміксії.

21. Група особин складається з 30 гетерозигот  $Aa$  і 1000 гомозигот  $AA$ . Розрахувати частоту обох алелів, виразивши їх в долях одиниці і відсотках.

22. Частота кодомінантного, зчепленого із статтю гена  $D$  (знаходиться тільки в X-хромосомах кішок), який обумовлює руде забарвлення шерсті, складає у Лондоні 0,19. Який відсоток складають черепахові кішки від загального числа їх? А чорні коти?

*Відповідь: черепахових кішок=15,4%; чорних котів=40,5%.*

23. Серед італійських переселенців, що живуть в одному з американських міст у вигляді ізоляту, в період з 1928 по 1942 роки на 26000 новонароджених 11 виявилось з тяжкою формою таласемії (генотипів  $TT$ ). Визначте чисельність гетерозигот серед італійських переселенців даного міста.

24. В популяції 16% людей мають групу крові  $N$ . Припускаючи панміксію, визначте ймовірний відсоток індивідів, які мають групи крові  $M$  і  $MN$ .

25. Серед білого населення Північної Америки доля резус-негативних індивідумів складає 15% (рецесивна ознака). Припускаючи, що вибір подружжя не визначається антигенами їх крові, розрахувати ймовірність того, що резус-негативна дівчина стане жінкою чоловіка:  $Rh\ rh$ ?

26. У районі з населенням 280000 людей при повній реєстрації випадків хвороби Шпильмейера-Фогта (юнацька форма амавротичної ідіотії) виявлено 7 хворих. Хвороба контролюється рецесивним аутосомним геном. Визначте кількість гетерозиготних носіїв на 1 мільйон населення.

## ДОДАТКИ

### 1. Етапи розвитку генетики

Роки	Події	Автори
<i>І етап. Гіпотези спадковості. Розвиток класичної генетики.</i>		
1838-1839	Виникнення клітинної теорії	Т.Шванн М.Шлейден
1865	Надрукована праця “Досліди над рослинними гібридами”	Грегор Йоганн Мендель (Mendel, 1822-1884, Австрія)
1868	Висунення теорії пангенезіса, яка намагалася пояснити явище спадковості (в книзі “Изменение животных и растений в домашнем состоянии”)	Чарлз Дарвін (Darwin, 1809-1882, Англія)
1868	Відкриття хімічної будови ДНК	Р.Мішер (США)
1870 1879-1882	Описання мітозу: у рослин у тварин	Е.Страсбургер, В.Флеммінг (США)
1875 1883	Відкриття злиття пронуклеусів при заплідненні: у тварин у рослин	Е.Ван Бенеден, О.Гертвіг, І.М.Горожанкін, Е.Страсбургер
1883-1884	Виникнення ядерної теорії спадковості	В.Ру, О.Гертвіг, Е.Страсбургер
1883	Виникнення терміну “хромосоми”	В.Вальдейер
1884-1887	Відкриття “розщеплення” хромосом	Л.Лейзер, Л.Гін’яр, Е.Ван Бенеден
1885	Встановлення постійності хромосомних наборів	К.Рабль
1887	Описання редукційного поділу мейозу	В.Флеммінг, Е.Ван Бенеден
1900	Перевідкриття законів Г. Менделя	К.Корренс (Німеччина), Е.Чермак (Австрія), Г.де Фриз (Голандія)
1903	Виявлення зв’язку в поведінці хромосом в мейозі і при заплідненні з успадкуванням ознак за законами Менделя	Т.Бовері І.Сеттон (США)
1906	Введений в науку термін “генетика”	В.Бетсон (Англія)
1906	Відкрито явище зчепленого успадкування	В.Бетсон, Р.Пеннет (Англія)
1908	Сформульований закон рівноваги генних концентрацій в панміктичній популяції	Г.Харді (Hardy, Англія), В.Вайнберг

		(Weinberg, Німеччина)
1908	Вивчення закономірностей успадкування кількісних ознак (полімерія) в дослідженнях забарвлення зерен пшениці	Г.Нильсон-Еле (Швеція, 1873-1949)
1909	Введені поняття "ген", "генотип", "фенотип"	В.Йогансен (Данія)
1909	Представлені перші цитологічні докази кросинговеру – утворення хіазм в профазі мейозу	Ф.Янсенс (Данія)
<b>II етап. Створення і затвердження хромосомної теорії спадковості.</b>		
1911-1915	Сформульовані основні положення хромосомної теорії спадковості на основі дослідів з дрозофілою ( <i>Drosophila melanogaster</i> )	Т.Морган (1866-1945) та його співробітники: А.Стертевант, К.Бріджерс, Г.Меллер (США)
1920	Сформульований закон гомологічних рядів в спадковій мінливості	М.І.Вавілов (1887-1943)
1922	Сформульована балансова теорія визначення етапів в дослідях з дрозофілою	К.Бріджерс (США)
<b>III етап. Відкриття можливості штучного одержання мутацій (ера індукованого мутагенезу)</b>		
1925	Відкритий вплив радіоактивного випромінювання на мутаційний процес у нижчих грибів	Г.О.Надсон, Г.С.Філіпов (СРСР)
1927	" – у дрозофіли	Г.Меллер (США), Дж.Стадлер (США)
1927	" – у рослин	Г.Меллер (США), Дж.Стадлер (США)
1926	Вивчення генетики панміктичних популяцій	С.С.Четвериков (СРСР)
1927	Сформульована білкова гіпотеза будови гена	М.К.Кольцов (СРСР)
1928	Відкриття трансформації у пневмоконів	Ф.Гриффітс (Англія)
1929-1937	Вивчення будови генів у дрозофіли і відкриття їх складної структури	О.С.Серебровський (1892-1948) та співробітники (СРСР)
1932-1939	Відкриття перших хімічних мутагенів	В.В.Сахаров, М.Ю.Лобашев, С.М.Гершензон (СРСР)
1938-1965	Розгром генетики в СРСР	
<b>IV етап. Вивчення біохімічних процесів, які є основою передачі генетичної інформації</b>		
1941	Вивчений генетичний контроль метаболізму у нейроспори за допомогою мутацій.	Дж.Бідл, Е.Тейтем (Tatum, США)

	Сформульований постулат “один ген – один фермент” (за синтез кожного фермента в клітині відповідає певний ген).	
1944	Доведено, що носієм спадкової інформації є ДНК (в дослідях з трансформації ознак у пневмококів)	О.Евері та співробітники (США)
1946	Відкрито явище трансдукції. Наевдені вище відкриття ознаменували народження молекулярної генетики	Леденберг, Зиндер (Німеччина)
1946	Відкриття супермутагенів – хімічних сполук, що індуюють мутації з частотою до 100%	І.А.Рапопорт (СРСР), Ш.Ауербах, Дж.Робсон (Англія)
1947-1950	Відкриття транспозонів – мігруючих генетичних елементів (МДГ-елементів) в дослідях по забарвленню зерна у кукурудзи	Б.Мак Клінток (США) (Нобелівська премія, 1956)
50-ті роки	Встановлено, що у бактеріях, здатних до кон'югації, спостерігається полярність (диференціація на статеві типи)	Б.Хейс (США)
1952	Доведена роль ДНК у спадковості при вивченні трансдукції бактеріофага T2, який інфікує <i>E. coli</i>	А.Хейші, М.Чейз (США)
1953	На основі фізико-хімічних досліджень (див. правило Чаргаффа) побудована молекулярна модель ДНК	Дж.Уотсон Ф.Крик (США)
<b><i>V етап. Дослідження генів на молекулярному рівні</i></b>		
1958	Сформульована центральна догма молекулярної біології	Ф.Крік (США)
1961-1966	Розшифрований генетичний код – система запису генетичної інформації в ДНК	Ф.Крік, М.Ниренберг, Дж.Маттеї (США), С.Очоа (Японія), Х.Корана (США)
1969	Вперше здійснений хімічний синтез гена (аланінової-РНК дріжджів – 71 п.н.)	Х.Корана (США)
1969	Виділення групи генів лактозного оперона <i>E. coli</i> .	Шапіро, Беквіт (США)
1970	В онкогенних вірусах відкриті ферменти зворотної транскрипції – ревертази, що каталізують синтез ДНК на матриці РНК <i>in vitro</i> (Нобелівська премія 1975 р.) Відкрита здатність синтезувати гени ферментативним шляхом	Г.Тьомін С.Мізутані Д.Балтимор (США)
1972	Створена перша рекомбінантна ДНК <i>in vitro</i> , яка об'єднала в своєму складі генетичний матеріал трьох джерел: повний геном онкогенного вірусу мавпи (SV40), частину	П.Берг та співробітники (станфордський університет, США)

	генома бактеріофага гени галактозного оперона <i>E. coli</i> . Почалася ера генної інженерії	
1972	Створена схема регуляції білкового синтеза	Ф.Жакоб, Ж.Моно (Франція)
70-ті роки	Відкриття явища надлишковості ДНК	Група вчених США
1970-1972	Розроблені методи виділення і фрагментації R-плазмід (векторів для переносу генетичної інформації)	С.Коен та співробітники (США)
1977-1978	Вияснено, що ряд генів еукаріот має перервчасту структуру і складається з екзонів (копіюються в і-РНК) та інтронів (копій в і-РНК немає)	Група вчених США
80-ті роки	Визначення порядку чергування нуклеотидів в генах	Група вчених різних країн світу
1997	Початок ери клітинної інженерії. Вперше здійснено генетичне клонування тварини (вівці). Доведено: 1) що диференційовані соматичні клітини дорослого організму ссавців мають тотипотентність – здатність передавати повну генетичну інформацію про розвиток його ознак і властивостей; 2) експериментально підтверджена гіпотеза про диференційну активність генів в процесі розвитку	Ян Вілмут (Единбургський університет, Шотландія)
2000	Розшифрований геном людини (50 тис. структурних генів)	Група вчених США і Англії

## 2. Закони і правила генетики

Закони Менделя – встановлені Г. Менделем (1865) основні генетичні закономірності успадкування ознак, які проявляються при схрещуваннях.

### 1. Закон одноманітності гібридів $F_1$ :

За схрещування двох гомозиготних батьків, які розрізняються парою альтернативних (протилежних) ознак, гібриди  $F_1$  є повністю генотипово і фенотипово одноманітними, причому ця одноманітність не залежить від напрямку схрещування:

$$P: \quad \text{♀ } AA \times \text{♂ } aa$$

$$F_1: \quad Aa$$

$$P: \quad \text{♀ } aa \times \text{♂ } AA$$

$$F_1: \quad Aa$$

### 2. Закон розщеплення:

В другому поколінні ( $F_2$ ), яке походить від самоzapліднення рослин в  $F_1$  або від схрещування  $F_1$  сестринських особин, відбувається розщеп-



лення на особини, що несуть ознаки вихідних батьків в чистому вигляді, і на особини гібридні.

В залежності від числа генів, за яким розрізнялися вихідні батьки, та від відношень домінантності-рецесивності алелів, існують різні кількісні відношення розщеплення за генотипом і фенотипом. Наприклад, 3:1 – розщеплення за фенотипом при моногібридному схрещуванні і повному домінуванні; 1:2:1 – розщеплення за фенотипом при моногібридному схрещуванні і неповному домінуванні, а також розщеплення за генотипом:

$$F_1: \text{♀ } Aa \quad \text{♂ } Aa$$

$$F_2: 1AA : 2Aa : 1aa$$

За фенотипом 3:1 (повне домінування) або 1:2:1 (неповне домінування). За дигібридного схрещування розщеплення за фенотипом 9:3:3:1 і т.д.

### 3. Закон незалежного комбінування генів.

У нащадків від схрещування бітків, які розрізняються більше ніж за однією парою ознак, кожна пара ознак підкоряється закону розщеплення незалежно від інших пар, в результаті чого виникають нові комбінації ознак, які не зустрічалися у батьків.

Наприклад,

$$P: AABB \times aabb$$

$$F_1: AaBb \times AaBb$$

$$F_2: 9A-B- : 3A-bb : 3aaB- : 1aabb$$

нові комбінації генів і ознак

Цей закон справедливий для генів, які відносяться до різних груп зчеплення.

З приведених законів успадкування, встановлених Г.Менделем, походять основні закони спадковості:

1. Закон дискретної (генної) спадкової детермінації ознак. Цей закон лежить в основі теорії гена.

2. Закон відносної стабільності спадкової одиниці (гена).

3. Закон аельного стану гена (домінантність і рецесивність).

**Закони Морган** – основні положення хромосомної теорії спадковості, остаточно розроблені Г.Морганом і його співробітниками (1911-1915):

1. Гени знаходяться в хромосомах і в границях однієї хромосоми утворюють одну групу зчеплення. Кількість груп зчеплення дорівнює гаплоїдному числу хромосом.

2. В хромосомі гени розміщені лінійно.

3. Під час мейозу між гомологічними хромосомами може відбуватися гросинговер, частота якого пропорційна відстані між генами.

**Закон чистоти гамет** – встановлений Г.Менделем закон, сутність якого в тому, що у диплоїдних гібридних організмів ( $Aa$ ) гамета може нести тільки один з двох алелів даного гена ( $a$  або  $A$ ), привнесених при заплідненні різними батьками ( $AA$  та  $aa$ ). Отже, гамета не може бути гібридною, вона несе алель одного з батьків у чистому вигляді, тобто в тому вигляді, в якому він був привнесений гаметою цього батька в гібридну зиготу. Матеріальною основою чистоти гамет є процес мейозу.

**Закон гомологічних рядів в спадковій мінливості (М.І.Вавілов):**

Генетично близькі види і роди рослин мають подібні, паралельні ряди спадкових форм (гомологічні ряди) з такою правильністю, що, знаючи ряд форм в межах одного виду, за гомологією можна передбачити існування паралельних форм у іншого виду, генетично близького першому. Отже, чим ближче один до одного стоять види за походженням, тим чіткіше проявляється подібність між рядами морфологічних ознак та фізіологічних властивостей.

**Правило Чаргаффа** – фундаментальне положення молекулярної генетики, за яким в будь-яких молекулах ДНК сума пуринових основ дорівнює сумі піримідинових основ:

$$\frac{A + G}{T + C} = 1$$

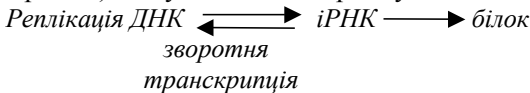
Дійсно, внаслідок комплементарності азотистих основ в молекулі ДНК молярна кількість аденіна дорівнює молярній кількості тиміна:  $A=T$  або  $A/T=1$

Так само  $C=G$ , або  $C/G=1$ . Отже,

$$\frac{A + G}{T + C} = 1$$

Наслідком цього закону є постулат, згідно з яким нуклеотидний склад ДНК різних видів може варіювати тільки по відношенню сум комплементарних основ,  $A+T = G+C$ .

**Центральна догма молекулярної біології** – встановлене в результаті фундаментальних досліджень основне положення теорії спадковості; згідно з яким потік генетичної інформації (з урахуванням зворотної транскрипції) відбувається в напрямку:



Отже, генетична інформація передається від нуклеїнових кислот до білка і ніколи не передається від білка до нуклеїнових кислот.

**Закон Харді-Вайнберга** (закон рівноваги генних концентрацій в панміктичній популяції): в присутності альтернативних алелів і при однаковій життєздатності різних генотипів вихідне співвідношення алелів (незалежно від їх абсолютної частоти) зберігається в усіх наступних поколіннях (тобто зберігається популяційна рівновага).

При частоті алеля  $A$ , яка дорівнює  $p$ , частота  $q$  алеля дорівнює  $1-p$ . При вільному схрещуванні частота генотипів від рівноймовірного сполучення різних типів гамет, що несуть ці алелі, дорівнюватиме:

$$(pA+qa)^2 = p^2AA + 2pqAa + q^2aa$$

яйцеклітини	спермії	
	pA	qa
pA	p <sup>2</sup> AA	pqAa
qa	pqAa	q <sup>2</sup> aa

Цей закон справедливий лише для ідеальної популяції.

Виражає ймовірні розподілення генотипів у популяції, яка вільно схрещується, у відповідності з коефіцієнтом розкладу бінома Ньютона  $(p+q)^2$ .

### 3. Таблиця генетичного коду

Перша азотиста основа	Друга азотиста основа І-РНК (ДНК)				Третя азотиста основа
	У(А)	Ц(Г)	А(Г)	Г(Ц)	
У(А)	Фен	Сер	Тир	Цис	У(А)
	Фен	Сер	Тир	Цис	Ц(Г)
	Лей	Сер	-	-	А(Г)
	Лей	Сер	-	Три	Г(Ц)
Ц(Г)	Лей	Про	Гіс	Арг	У(А)
	Лей	Про	Гіс	Арг	Ц(Г)
	Лей	Про	Глн	Арг	А(Г)
	Лей	Про	Глн	Арг	Г(Ц)
А(Г)	Іле	Тре	Асн	Сер	У(А)
	Іле	Тре	Асн	Сер	Ц(Г)
	Іле	Тре	Ліз	Арг	А(Г)
	Мет	Тре	Ліз	Арг	Г(Ц)
Г(Ц)	Вал	Ала	Асп	Глі	У(А)
	Вал	Ала	Асп	Глі	Ц(Г)
	Вал	Ала	Глу	Глі	А(Г)
	Вал	Ала	Глу	Глі	Г(Ц)

### 4. Довідкова таблиця диплоїдної кількості хромосом (2n)

Тварини		Диня – Cucumis melo	24
Аскарида – Ascaris meg'alocephala	2,4		
Бджола – Apis mellifera	16,32	Дуб звичайний – Quercus robur	24
Вепр – Sus scrofa	40	Дурман – Datura stramonium	24
Вівця – Ovis aries	54	Жито – Secale cereale	14+ (0-8)В
Воша головна – Pediculus capitis	12	Кавун – Citrullus vulgaris	22
Гідра прісноводна – Hydra vulgaris	32	Капуста городня – Brassica oleracea	18

Голуб – <i>Columba livia</i>	80	Картопля – <i>Solanum tuberosum</i>	48
Жаба – <i>Rana</i> sp.	26	Квасоля звичайна – <i>Phaseolus vulgaris</i>	22
Індик – <i>Meleagris gali pavo</i>	82	Конвалія – <i>Convallaria majalis</i>	36,38
Капустяний білан – <i>Pieris brassicae</i>	30	Коноплі посівні – <i>Cannabis sativa</i>	20
Качка, крижень – <i>Anas platyrhynchos</i>	80	Конюшина лугова – <i>Trifolium pratense</i>	14
Квакша, жабка деревна – <i>Hyla arborea</i>	24	Конюшина повзуча – <i>Trifolium repens</i>	32
Кінь – <i>Equus caballus</i>	66	Куколиця біла – <i>Melandrium album</i>	24
Кішка домашня – <i>Felis catus</i>	38	Кукурудза – <i>Zea mays</i>	20+ (1-7)B
Коза домашня – <i>Capra hircus</i>	60	Кульбаба – <i>Taraxacum officinale</i>	24
Комар-пискун – <i>Culex pipiens</i>	6	Латук – <i>Lactuca sativa</i>	18
Коник – <i>Stenobothrus lineatus</i>	18	Ліщина звичайна – <i>Corylus avellana</i>	22
Курка – <i>Gallus domesticus</i>	78	Лілія – <i>Lilium</i> sp.	24
Кріль – <i>Lepus cuniculus</i>	44	Липа серцелиста – <i>Tilia cordata</i>	82
Корова – <i>Bos taurus</i>	60	Лисохвіст луговий – <i>Alopecurus pratensis</i>	28
Лисиця – <i>Vulpes vulpes</i>	38	Люцерна посівна – <i>Medicago sativa</i>	16,32
Людина – <i>Homo sapiens</i>	46	Льон звичайний – <i>Linum usitatissimum</i>	30
Миша домашня – <i>Mus musculus</i>	40	Мак снотворний – <i>Papaver somniferum</i>	22
Мотиль – <i>Chironomus plumosus</i>	6	Малина звичайна – <i>Rubus idaeus</i>	14,24,28
Муха хатня – <i>Musca domestica</i>	12	Модрина – <i>Larix</i> sp.	24
Мушка плодова – <i>Drosophila melanogaster</i>	8	Морква городня – <i>Daucus carota</i>	18
Окунь – <i>Perca fluviatilis</i>	28	Нічна краса – <i>Mirabilis jalapa</i>	58
Осел – <i>Equus asinus</i>	66	Овес – <i>Avena sativa</i>	42
Пацюк сірий – <i>Rattus norvegicus</i>	42	Огірок – <i>Cucumis sativus</i>	14
Плазмодій малярійний – <i>Plasmodium malariae</i>	2	Осика – <i>Populus tremula</i>	38,57
Планарія – <i>Planaria gonocephala</i>	16	Переступень – <i>Bryonia alba, B. dioica</i>	20
Равлик садовий – <i>Helix pomatia</i>	24,48	Перець – <i>Capsicum annum</i>	48
Ропуха – <i>Bufo</i> sp.	22	Персик – <i>Prunus persica</i>	16
Сазан – <i>Cyprinus carpio</i>	104	Пирій повзучий – <i>Elytrigia repens</i>	28
Саламандра – <i>Salamandra</i> sp.	24	Просо – <i>Panicum miliaceum</i>	36
Сарана мандрівна – <i>Locusta migratoria</i>	23	Пшениця дика однозернянка – <i>Triticum monocossum</i>	14
Свинка гвінейська – <i>Cavia cobbaya</i>	64	Пшениця тверда – <i>Triticum durum</i>	28
Свиня свійська – <i>Sus scrofa domestica</i>	40	Пшениця м'яка – <i>Triticum aestivum</i>	42
Собака домашній – <i>Canis familiaris</i>	78	Редис – <i>Raphanus sativus</i> var. <i>radicula</i>	18
Тарган – <i>Blatta orientalis</i>	48	Редька – <i>Raphanus sativus</i> var. <i>major</i>	18
Тритон – <i>Triturus vulgaris</i>	24	Рис – <i>Oryza sativa</i>	24
Хом'як золотистий – <i>Mesocricetus auratus</i>	44	Ріпак – <i>Brassica napus</i> var. <i>oleifera</i>	38
Хом'як сірий – <i>Cricetus griseus</i>	22	Свиріна – <i>Sinapis arvensis</i>	18

Черв'як дощовий – <i>Lumbricus terrestris</i>	36	Скереда – <i>Crepis capillaris</i>	6
Шовкопряд шовковичний – <i>Bombyx mori</i>	28,56	Слива – <i>Prunus domestica</i>	48
Шимпанзе – <i>Anthropopithecus pan</i>	48	Смородина – <i>Ribes nigrum</i>	16
Ящірка прудка – <i>Lacerta agilis</i>	38	Соняшник – <i>Helianthus annuus</i>	34
<b>Рослини</b>		Сосна – <i>Pinus sp.</i>	24
Абрикос – <i>Armeniaca vulgaris</i>	16	Стоколос – <i>Bromus inermis</i>	28,56
Аґрус – <i>Ribes grossularia</i>	16	Суниця лісові – <i>Fragaria vesca</i>	14
Акація біла – <i>Robinia pseudoacacia</i>	20	Суниця садові – <i>Fragaria ananassa</i>	56
Алиса – <i>Primus divaricata</i>	16	Суниця мускусні – <i>Fragaria moschata</i>	42
Арабідопсис – <i>Arabidopsis Thaliana</i>	10	Тимофіївка – <i>Phleum pratense</i>	14,42
Береза бородавчаста – <i>Betula verrucosa</i>	28,42	Томат – <i>Lycopersicum esculentum</i>	24
Боби кінські – <i>Vicia faba</i>	12	Тополя чорна – <i>Populus nigra</i>	38,57
Бруква – <i>Brassica napus . var. rapifera</i>	38	Традесканція – <i>Tradescantia virginiana</i>	24
Бук – <i>Fagus silvatica</i>	24	Тютюн – <i>Nicotiana tubacum</i>	24,48
Верба – <i>Salix sp.</i>	38,76	Флокс – <i>Phlox sp.</i>	14
Вербена – <i>Verbena hybrida</i>	10	Хміль – <i>Humulus lupulus</i>	20
Виноград – <i>Vitis vinifera</i>	38,57,76	Хрін – <i>Armoracia rusticana</i>	28,32
Вишня садова – <i>Prunus cerasus</i>	32	Цибуля – <i>Allium cepa</i>	16
Вільха клейка – <i>Alnus glutinosa</i>	28,56	Цикорій – <i>Cichorium intybus</i>	18
Гальтонія – <i>Galtonia sp.</i>	16	Черешня – <i>Prunus avium</i>	16
Галлопапус – <i>Haplopappus gracilis</i>	4	Шпинат – <i>Spinacia oleracea</i>	12
Гарбуз – <i>Cucurbita pepo</i>	24,40,44,48	Шовковиця біла – <i>Morus alba</i>	28
Горобина звичайна – <i>Sorbus arbuscularia</i>	34,51,68	Яблуня – <i>Malus silvestris</i>	34
Горіх волосський – <i>Juglans regia</i>	32	Ялина – <i>Picea sp.</i>	24
Горох посівний – <i>Pisum sativum</i>	14	Ялиця – <i>Abies sp.</i>	24
Горошок запашний – <i>Lathyrus odoratus</i>	14	Ясен звичайний – <i>Fraxinus excelsior</i>	46
Грицики – <i>Capsella bursa pastoris</i>	32	Ячмінь – <i>Hordeum vulgare</i>	14
Груша – <i>Pyrus communis</i>	34		

## 5. Характер успадкування деяких ознак у людей, тварин і рослин

Домінант	Рецесив
<b>ЛЮДИНА</b>	

<p><b>Волосся, шкіра, нігті, зуби</b>  Темне волосся  Неруде волосся  Кучеряве волосся  Дуже волосате тіло  Раннє облісіння (домінує у чоловіків)  Біле пасмо волосся  Плямистість (на шкірі і волоссі білі плями)  Нормальна пігментація шкіри, волосся і очей  Чорна шкіра (2 пари генів, домінування неповне)  Іхтіоз (луската шкіра)  Бульозний епідермоліз (чутливість до незначних саден)  Відсутність емалі на зубах  Нормальна шкіра</p> <p><b>Очі</b>  Карі  Світло-карі або зелені  Наявність епіканти  Вроджена катаракта  Короткозорість  Далекозорість  Астигматизм  Глаукома  Аніридія (відсутність райдужної оболонки)  Вроджене зміщення кришталіка  Нормальне око</p> <p>Нормальне око</p> <p><b>Риси обличчя</b>  Обличчя кругле  Вільні вушні мочки  Товсті губи  Здатність скручувати язик трубочкою</p> <p>Великі очі  Довгі вії  Широкі ніздрі  Високе і вузьке перенісся  Римський ніс  Наявність ластовиння</p> <p><b>Скелет і м'язи</b>  Низький зріст (зумовлений багатьма генами)  Ахондроплазія (карликовість)  Ателіоз (карликовість)  Полідактилія (більше п'яти пальців на руках або ногах)  Синдактилія (зрощення 2 або більшої кількості пальців)</p>	<p>Світле волосся  Руде волосся  Пряме волосся  Слабковолосате тіло  Нормальний термін облісіння  Здноколірне волосся  Відсутність плямистості  Альбінізм  Біла шкіра  Нормальна шкіра</p> <p>Нормальний стан  Нормальні зуби  Відсутність потових залоз</p> <p>Голубі або сірі  Голубі або сірі  Відсутність епіканти  Нормальний стан  Нормальний стан  Нормальний зір  Нормальний стан  Нормальне око  Нормальне око  Атрофія зорового нерва (ознака, зчеплена зі статтю)  Мікрофтальм</p> <p>Видовжене  Прирослі вушні мочки  Тонкі губи  Нездатність скручувати язик трубочкою  Маленькі очі  Короткі вії  Вузькі ніздрі  Вузьке і широке перенісся  Прямий ніс  Відсутність ластовиння</p> <p>Високий зріст  Нормальний стан  Нормальний стан  Нормальна кількість пальців</p> <p>Нормальні пальці</p>
--	--

<p>Брахідактилія (короткопалість) Хрящові екзостози (розростання кісток) Прогресивна м'язова атрофія <b>Системи кровообігу і дихання</b> Спадкова трофедема (хвороба Мілроя) Групи крові А, В і АВ Гіпертонія Нормальний стан крові</p> <p>Нормальний стан крові <b>Видільна система</b> Багатокамерні нирки <b>Ендокринна система</b> Нормальний стан <b>Органи травлення</b> Розширення товстої кишки (хвороба Гіршпрунга) <b>Нервова система</b> Здатність відчувати смак фенілтіокарбаміду</p> <p>Нормальний слух Нормальний стан Хорея Гентінгтона Нормальний стан Мігрень (головні болі) Нормальний стан Дрижачий параліч <b>Злоякісні пухлини</b> Нормальний стан Хвороба Реклінгаузена (нейрофіброматоз) Нормальний стан</p>	<p>Нормальні пальці Нормальний стан Нормальний стан</p> <p>Нормальний стан Група крові О Нормальний тиск Гемофілія (ознака, зчеплена зі статтю) Серпоподібно-клітинна анемія</p> <p>Нормальні нирки</p> <p>Цукровий діабет</p> <p>Нормальний стан</p> <p>Нездатність відчувати смак фенілтіокарбаміду Вроджена глухота Спинномозкова атаксія Нормальний стан Амавротична ідіотія Нормальний стан Фенілкетонурія Нормальний стан</p> <p>Пігментна ксеродерма Нормальний стан Іліома сітківки</p>
--	---

### ТВАРИНИ

<p><b>Велика рогата худоба</b> Комолість (безрогість) Чорна, чорно-ряба масть</p> <p><b>Кури</b> Короткі ноги Оперені ноги Розоподібний гребінь Горохоподібний гребінь Біле оперення у порід леггорн, корніш, російські білі Забарвлене оперення</p> <p>Чорне оперення порід: австралорпи, мінорки, чорні леггорни, чорні віандоти</p> <p><b>Лисиця</b> «Платинове» хутро Чорна шерсть</p> <p><b>Морська свинка</b> Кошлата шерсть</p> <p><b>Миша</b> Коротка шерсть Сіра шерсть дикого типу Чорна шерсть</p>	<p>Рогатість Червона масть</p> <p>Нормальні ноги Голі ноги Простий гребінь Простий гребінь Забарвлене оперення Біле оперення порід: плімутроки, віандоти, мінорки, дорксенги Червоне оперення (род-айленд нью-гемпшир)</p> <p>Сріблясте хутро Біла шерсть</p> <p>Гладенька шерсть</p> <p>Довга шерсть Альбінізм, чорна шерсть Коричнева шерсть</p>
---	--

Королівська шерсть (пряма, густа) Довгі вуха Скручений хвіст <b>Норка</b> Коричневе (стандартне) хутро <b>Вівці</b> Сіра шерсть Жовтий жир <b>Свиня</b> Біла щетина Зрослопала нога <b>Шовковичний шовкопряд</b> Жовті кокони <b>Хом'як</b> Золотистий колір шерсті Рожеве забарвлення шерсті	Гладенька шерсть Короткі вуха Прямий хвіст «Платинове», сіро-голубе хутро Чорна шерсть Білий жир Чорна щетина Нормальна нога Білі кокони Рожевий, білий колір шерсті Біла шерсть
--	--

### РОСЛИНИ

<b>Кавун</b> Темний плід з рисунком <b>Блекота</b> Дворічна форма <b>Горох</b> Високий Нормальні стебла Листки з вусиками Прилистки нормальні Забарвлені квітки Пурпурові квітки Цвітіння пізнє Прямий біб Зелене забарвлення плодів Пурпурові боби Боби сизі Кругле насіння Жовте забарвлення сім'ядоль Насіннева шкірка забарвлена рівномірно Рубчик чорний <b>Дурман</b> Пурпурові квітки Колюче насіння Лежача форма куща <b>Запашний горошок</b> Високий Темні пазухи листків Листок з вусиком Пізнє цвітіння Пурпурові квітки Забарвлені квітки Інтенсивне забарвлення квітки Прямий парус Пиляки фертильні Пилкові зерна видовжені Зелені боби	Світлий плід без рисунка Однорічна Карликовий Зрослі стебла Листки без вусиків Прилистки дуже зменшені Білі квітки Фіолетові, жовтувато-рожеві, рожево-білі квітки Цвітіння раннє Загнутий біб Жовте забарвлення плодів Зелені боби Смарагдові (не сизі) боби Зморщене насіння Зелене забарвлення сім'ядоль Насіннева шкірка плямиста Рубчик непігментований Білі квітки Гладеньке насіння Пряма форма куща Карликовий Світлі пазухи листків Листок без вусика Раннє цвітіння Червоні квітки Білі квітки Ослаблене забарвлення квітки Парус у вигляді капюшона Пиляки стерильні Пилкові зерна круглі Жовті боби
--	---



Кругле насіння	Зморщене насіння
<b>Суніці</b>	Білі ягоди
Червоні ягоди (неповне домінування)	
<b>Кукурудза</b>	Низьке стебло
Високе стебло	Зморщене зерно (у цукрових сортів)
Гладеньке зерно	Білий ендосперм
Забарвлений ендосперм	Зелене забарвлення
Фіолетове забарвлення рослин	Білі рослини (альбіноси)
Зелене забарвлення рослин	Стерильна волоть (ядерна стерильність)
Фертильна волоть	Білий стрижень качана
Червоний стрижень качана	Низький вміст білка
Високий процент білка	
<b>Левкой</b>	Карликовий
Високий	Негіллястий тип
Гіллястий тип	Із залозками на листках:
Без залозок на листках	Жовте забарвлення зародка
Синє забарвлення зародка	Світло-сіре забарвлення насін кевові шкірки
Біла насіннева шкірка	
<b>Мак</b>	Білі квітки
Червоні квітки (неповне домінування)	
<b>Овес</b>	Гігантизм
Нормальна висота стебла	Пізньостиглість
Ранньостиглість	Одногрива волоть
Розлога волоть	
<b>Персик</b>	Плід гладенький
Плід опушений	М'якуш плоду жовтий
М'якуш плоду білий	Дрібні квітки
Великі квітки (неповне домінування)	
Ниркоподібні залозки на листках (неповне домінування)	Без залозок
<b>Первоцвіт китайський</b>	Довгі маточки
Короткі маточки	Червона приймочка
Зелена приймочка	
<b>Пшениця</b>	Зелене забарвлення сходів
Фіолетове забарвлення сходів	Нормальна
Карликова	Солома без забарвлення
Антоціанове забарвлення соломи	Озима форма
Яра форма	Довгий колос
Короткий колос (неповне домінування)	Білі ості
Чорні ості	Гладенький колос
Опушений колос	Біле зерно
Червоне зерно	Білий колос
Червоне забарвлення колоса	Гіллястий колос
Звичайний колос	Остиста форма
Безоста форма (неповне домінування)	Зерно борошністе
Зерно склоподібне	
<b>Жито</b>	Зелені проростки
Фіолетові проростки	
<b>Соняшник</b>	Негіллясте стебло
Гіллясте стебло	Низьке стебло
Високе стебло	Низька лузжистість
Висока лузжистість	Низький вміст олії
Високий вміст олії	Відсутність стійкості до ураження вовчком
Стійкість до ураження вовчком (неповне домінування)	

<b>Ротики</b> Червоне забарвлення квіток (неповне домінування) Нормальні квітки Високий ріст <b>Томати</b> Високе стебло Нештамбовий кущ Пурпурове забарвлення стебла Розсічені листки	Біле забарвлення квіток Пілоричні квітки Низький ріст Карликове стебло Штамбовий кущ Зелене забарвлення стебла Цілі листки
--	--



Методичне видання

**ЛАНОВЕНКО Олена Геннадіївна,  
ЧИНКІНА Тамара Борисівна**

**ВІД МОЛЕКУЛ НУКЛЕЙНОВИХ  
КИСЛОТ ДО ЛЮДИНИ:  
ГЕНЕТИЧНІ ЗАДАЧІ  
З МЕТОДИКОЮ РОЗВ'ЯЗАННЯ**

Навчально-методичний посібник

ISBN 966-630-068-3

Технічний редактор – Дудченко С.Г.

Підписано до друку 02.12.2005 р.  
Формат 60х90 1/16. Ум.друк.арк. 9,75.  
Тираж 300.

Віддруковано в ТОВ "Айлант"  
73000, Україна, м.Херсон, пров.Пугачова, 5/20.  
Тел.: 26-67-22.