

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка
Природничо-географічний факультет
Кафедра біології та методики навчання біології

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних занять
з «ГЕНЕТИКИ З ОСНОВАМИ СЕЛЕКЦІЇ»:
Частина 1
(для студентів спеціальності 091 Біологія)

Суми 2023

УДК 378.016:[575+575.827](076)
М 54

*Друкується згідно з рішенням вченої ради
Сумського державного педагогічного університету
імені А. С. Макаренка
(протокол № 8 від 22.02.2023 р.)*

Рецензенти:

Обухова Ольга Анатоліївна, кандидат біологічних наук, доцент кафедри фізіології та патофізіології з курсом медичної біології Сумського державного університету

Бондарєва Людмила Миколаївна, кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та ботаніки Сумського національного аграрного університету

М 54 Методичні вказівки до лабораторних занять з «Генетики з основами селекції»: Частина 1 (для студентів спеціальності 091 Біологія) / **Уклад. Торяник В.М.** – Суми : ФОП Цьома, 2023. – 36 с.

Методичні вказівки укладено відповідно до робочої програми навчальної дисципліни «Генетика з основами селекції» з метою допомоги здобувачам першого рівня вищої освіти за спеціальністю 091 Біологія у виконанні завдань лабораторних занять.

До змісту першої частини методичних вказівок входять розробки лабораторних занять з тем менделівської і неменделівської генетики організмів та генетики популяцій, та список рекомендованої літератури.

УДК 378.016:[575+575.827](076)

©Торяник В. М., 2023

© ФОП Цьома С. П., 2023

© СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2023

ЗМІСТ

Передмова	4
Лабораторне заняття № 1. Методи та об'єкти генетичних досліджень	5
Лабораторне заняття № 2. Закони Г. Менделя. Успадкування при моно-, ди- полігібридному схрещуванні	9
Лабораторне заняття № 3. Застосування критерію χ^2 для статистичної обробки даних гібридологічного аналізу	16
Лабораторне заняття № 4. Взаємодія алельних і неалельних генів	23
Лабораторне заняття № 5. Генетичні механізми визначення статі	25
Заняття № 6. Зчеплення генів. Кросинговер	27
Заняття № 7. Мінливість: спадкова і не спадкова	29
Лабораторне заняття № 8. Закономірності успадкування генів та їх алелів у популяціях	31
Рекомендована література	34

ПЕРЕДМОВА

Навчальна дисципліна «Генетика з основами селекції» є обов'язковою складовою загальнобіологічної підготовки здобувачів першого рівня вищої освіти за спеціальністю 091 (Біологія).

Головна мета навчальної дисципліни «Генетика з основами селекції» – сформувати у здобувачів освіти систему знань про матеріальні та молекулярні основи спадковості, надати поняття про закономірності та механізми успадкування ознак, типи мінливості та причини її виникнення; ознайомити з теоретичними та практичними аспектами селекції рослин, виробити навички застосування сучасних методів генетичних та селекційних досліджень для покращення продуктивності та стійкості рослин до хвороб на основі управління їх спадковістю та спадковою мінливістю.

Методичні вказівки укладено відповідно до робочої програми навчальної дисципліни «Генетика з основами селекції» для здобувачів першого рівня вищої освіти за спеціальністю 091 (Біологія) природничо-географічного факультету СумДПУ імені А. С. Макаренка. Оскільки за навчальним планом здобувачі освіти набору 2020 р. вивчають дану дисципліну протягом 6-го та 7-го семестрів, методичні вказівки укладені у двох частинах. Метою укладання першої частини є прагнення викладача:

- допомогти здобувачам освіти опанувати теоретичну частину навчальної дисципліни щодо закономірностей та механізмів спадковості та мінливості на організменому та популяційно-видовому рівнях організації;
- ознайомити здобувачів освіти із сучасними методами генетичного аналізу, навчити застосовувати деякі з них на практиці; сприяти формуванню логіки планування генетичного експерименту та навичок коректної інтерпретації результатів генетичного аналізу; навчити розв'язувати генетичні задачі.

До структури методичних вказівок входять розробки лабораторних занять та список рекомендованої літератури.

Схема методичної розробки лабораторного заняття наступна:

- ❖ тема і мета лабораторного заняття;
- ❖ самопідготовка до заняття: терміни, що потрібно вивчити, питання для обговорення на лабораторному занятті;
- ❖ завдання для аудиторної роботи;
- ❖ завдання для самостійної позааудиторної роботи.

До списку рекомендованої літератури включені підручники та навчальні посібники, з яких здобувач освіти може отримати необхідну інформацію для теоретичної підготовки з тем лабораторних занять, а також збірники, в яких наведені приклади розв'язання генетичних задач, що допоможе здобувачу освіти виконати завдання самостійної позааудиторної роботи.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

Тема: Методи та об'єкти генетичних досліджень.

Мета: сформувати знання про методи та модельні об'єкти, що застосовуються у генетичному аналізі, вміння їх лабораторного дослідження.

Завдання для самопідготовки до заняття

Вивчіть терміни: ген, генетика, генотип, гібрид, гібридологічний аналіз, гібридологічний метод, імуногенетичний метод, методи антропогенетики, мінливість, молекулярно-біологічні методи, модель, мутація, мутація соматична, об'єкт дослідження, ознака, ознаки альтернативні, онтогенетичний метод, популяційно-статистичний метод, самець, самка, спадковий фактор, спадковість, схрещування, фен, фенотип, успадкування, цитогенетичний метод.

Опрацюйте питання для обговорення на занятті:

- 2.1. Предмет та методи генетики.
- 2.2. Застосування теорії ймовірності для розв'язання генетичних задач.
- 2.3. Основні об'єкти генетичних досліджень.
- 2.4. Вимоги, які висуваються до модельних генетичних об'єктів.

Завдання для аудиторної роботи

Виконайте тести з теми заняття.

Виконайте лабораторну роботу.

Тема: *Drosophila melanogaster* як об'єкт генетичних досліджень.

Мета: ознайомитися з життєвим циклом *D. melanogaster*, правилами культивування мух в лабораторних умовах, статевим диморфізмом імаго, фенотиповими характеристиками ліній дикого типу та мутантів.

Матеріали та обладнання: пробірки з різними лініями дрозофіл, ефіризатор, біокулярні мікроскопи або лупи, фільтрувальний папір, пташине пір'я.

Хід роботи:

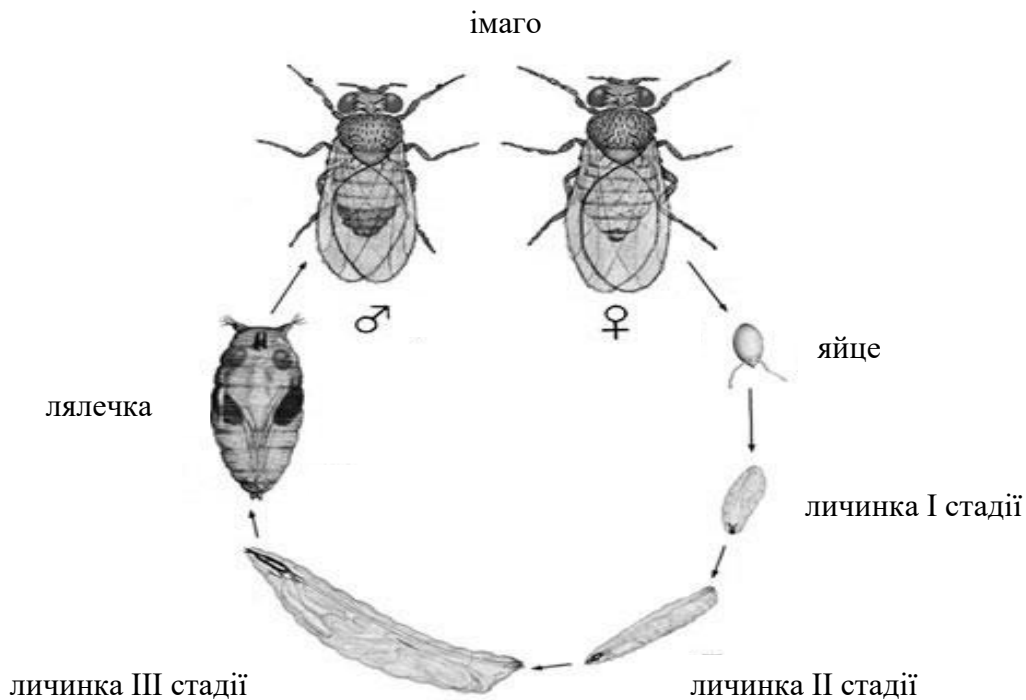
1. Ознайомтеся з систематичним положенням та особливостями біології *Drosophila melanogaster* (оцтової або плодової мушки), що є класичним модельним об'єктом генетики.

Систематичне положення: тип *Arthropoda*, підтип *Tracheata*, клас *Insecta*, ряд *Diptera*, рід *Drosophila*, родина *Drosophilidae*, вид *Drosophila melanogaster*.

Легко розмножується в лабораторних умовах, має короткий цикл розвитку, високу плодючість та чіткі морфологічні ознаки, за якими зручно вести генетичний аналіз.

Життєвий цикл дрозофіли проходить з повним перетворенням (яйце, три личинкові стадії, лялечка, імаго).

Життєздатна сперма може зберігатися в статевих шляхах самки протягом декількох діб після спарювання. Тому кожна запліднена самка будь-якої миті може мати в сім'яприймачі деяку кількість сперми від попередньої копуляції. Звідси виникає необхідність брати для схрещування незайманих (віргінних) самок не доросліших 5-7 год. після вилуплення.



Життєвий цикл *Drosophila melanogaster*

Доросла особина відкладає яйця продовгуватої форми, близько 0,5 мм у довжину (їх легко помітити відкладеними на поживному середовищі поряд зі стінками склянки). Запліднення яєць відбувається в момент проходження їх через верхній відділ вагіни.

За оптимальної температури (23-25°C) стадія яйця триває приблизно однієї доби. Із яєць виходять личинки I стадії, які деякий час знаходяться на поверхні поживного середовища, і потім вони заглиблюються в нього. Личинки I та II стадії знаходяться у верхньому шарі поживного середовища і активно харчуються, личинки III стадії мають найбільші розміри і виходять з поживного середовища на стінки склянки. Проходження дрозофілою личинкових стадій триває 5 діб. Після виходу на стінки пробірки личинки перестають рухатися, період з моменту знерухомлення личинки III стадії до моменту потемніння її покривів називається стадією передлялечки. Лялечки дрозофіли мають вигляд коричневих коконів, які прикріплені нерухомо до стінок склянки (стадія лялечки триває 5 діб). На стадії лялечки органи личинки (крім статеві та нервової систем) проходять зворотний розвиток і заміщуються іншими, які розвиваються з певних зачатків ембріональних тканин, що називаються імагінальними дисками. Таким чином, виліт нового покоління мух відбувається через 10-12 діб після відкладення яєць мухами на свіжому середовищі.

Дрозофіла має виражений статевий диморфізм. В лабораторних та польових умовах легко відрізнити самку від самця за наступними ознаками: самки, переважно, дещо більші від самців; кінець черевця у них загострений, тоді як у самця форма черевця заокруглена; останні сегменти черевця у самок

пігментовані значно слабше, ніж у самця Особини дикого типу (особини, які мають набір фенотипових характеристик, що притаманний значній кількості особин у природі) мають розміри близько 3 мм, коричнево-червоні очі, сіре тіло та відповідну довжину та форму крила.

Завдяки наявності великої кількості ліній мух дикого типу та мутантних ліній, і невеликого числа хромосом ($2n=8$) дрозофіла визнана зручним об'єктом при проведенні досліджень в лабораторних умовах.

2. Розгляньте основні стадії розвитку дрозофіли в пробірках з культурою. Знайдіть яйця дрозофіли, личинок на різних стадіях та лялечки.

3. Навчіться розрізняти стать дрозофіли. З цією метою за допомогою ефіризатора наркотизуйте (приморіть) мух дикого типу. Пересипте наркотизованих мух на фільтрувальний папір та за допомогою пір'їнки розподіліть їх на самок і самців.

4. Розгляньте фенотипи мух дикого типу та мутантних ліній, попередньо наркотизувавши їх.

5. Визначте основні фенотипові відмінності мутантних ліній від лінії дикого типу. Запишіть їх у порівняльну таблицю:

Лінії дрозофіл	Очі		Крила		Тіло		Інші ознаки
	Форма	Колір	Форма	Розміри	Забарвлення	Форма	
Дикий тип							
Мутантні							

6. Зробіть висновок про можливий вплив описаних мутацій на життєздатність мутантних форм.

Пригадайте елементи теорії ймовірностей.

Випадкова подія – подія, яка може відбутися в даних умовах (тобто при проведенні випробування) як відбутися, так і не відбутися. Наприклад, при підкиданні монети може випасти як орел, так і решка.

Для випадкової події є певна ймовірність її настання. *Ймовірність події* – це числова характеристика можливості появи випадкової події за умов, які можуть повторюватися нескінченну кількість разів (тобто, при нескінченній кількості випробувань). Вона вимірюється як частка подій, які очікуються (цікавлять дослідника) серед усіх можливих подій: $p = m / n$, де m – кількість очікуваних подій, n – кількість усіх можливих подій. Наприклад, якщо нескінченну кількість разів підкидати монету, то рівно половину разів випаде орел, а половину – решка. Тобто, ймовірність випадання орла: $p = 1/2$, решки теж – $1/2$. Очевидно, що ймовірність настання будь-якої з можливих подій дорівнює 1 (ймовірність випадання орла або решки: $p = 1$).

Ймовірність випадкової події може приймати значення від 0 до 1: $0 \leq p \leq 1$. Чисельно ймовірність можна вимірювати й у відсотках: від 0% до 100%.

Після проведення перевірки учені виявили, що частка подій, які трапилися, відрізняється від очікуваної ймовірності, але наближається до неї при більшій кількості випробувань. Якщо підкинути монету 6 разів, може виявитися, що орел випаде 2 рази, а решка – 4 рази, тобто для орла в цьому

випадку $p \approx 0,33$. Але якщо монету підкинути 600 разів, ймовірність випадання орла може виявитися, наприклад, 0,497, тобто вже набагато ближчою до очікуваного числа 0,5.

Тепер розглянемо випадок, коли підкидають дві монети. Вони можуть упасти такими комбінаціями: орел-орел, орел-решка, решка-орел, решка-решка. Яка ймовірність випадання двох орлів? Нас цікавить одна подія з чотирьох. Отже, ймовірність кожної з цих подій дорівнює $\frac{1}{4}$ або 0,25, або 25%. Це ж саме число можна отримати, якщо перемножити ймовірності випадання одного й іншого орла: $p = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$.

Сформулюємо *правило добутку* – ймовірність одночасного настання декількох випадкових подій дорівнює добутку ймовірностей кожної з цих подій: $p = p_1 \times p_2 \times \dots \times p_n$, де n – кількість подій, що відбуваються одночасно.

Припустимо тепер, що ми підкидаємо кубик. Яка ймовірність випадання п'яти очок при підкиданні кубика? Сторін у кубика шість, нас цікавить одна подія з шести, виходить її ймовірність: $p = 1/6$. А яка ймовірність того, що випаде парне число очок? Сторін з парним числом очок у кубика три (2, 4, 6), отже ймовірність випадання кожної з них $3/6$ або $\frac{1}{2}$. Це ж саме число ми б одержали, якби склали ймовірності випадання кожної з цих сторін: $p = 1/6 + 1/6 + 1/6 = 3/6$ або $\frac{1}{2}$.

Сформулюємо *правило додавання* – ймовірність настання будь-якої з очікуваних випадкових подій дорівнює сумі ймовірностей кожної з цих подій: $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$, де n – кількість подій, що відбуваються одночасно.

Випадкові події вивчає теорія ймовірностей, що є, зокрема, основою математичної статистики.

Розв'яжіть задачі.

1. Яка ймовірність, що при: а) підкиданні кубика випаде непарна кількість очок? б) підкиданні двох кубиків на кожному випаде по шість очок?

2. Яка ймовірність витягти з колоди в 36 карт: а) пікову даму? б) короля? в) «хлопчика»? г) одночасно витягти з двох колод по одному тузу?

3. Розрахуйте ймовірність народження поспіль у батьків двох хлопців та дівчинки.

Завдання для самостійної позааудиторної роботи

1. Ви підкидаєте три гральні кості. Яка ймовірність того, що на першій випаде 5, на другій – 3 і на третій – 1?

2. Ви підкидаєте три гральні кості. Яка ймовірність того, що сума значень, яка випаде на гранях, буде дорівнювати 5?

3. Розрахуйте ймовірність народження у батьків дівчинки, якщо у родині вже є двоє дітей – хлопчик та дівчинка.

4. *Arabidopsis thaliana* генетики називають «рослинною дрозофілою». Підготуйте повідомлення про цей модельний генетичний об'єкт.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

Тема: Закони Г. Менделя. Успадкування при моно-, ди-, полігібридному схрещуваннях.

Мета: сформувати знання про гібридологічний метод генетики, основні види схрещувань в яких цей метод реалізується, дозволяючі можливості цього методу, вміння розв'язувати генетичні задачі за допомогою цих знань.

Завдання для самопідготовки до заняття

Вивчіть терміни: алель [алеломорф], алель домінантний і рецесивний, алельний, гамета, гаплоїд, гаплоїдний, ген, генетика, геном, генотип, гени алельні, гетерозигота, гібрид, гомозигота, дигетерозигота, диплоїд, диплоїдний, домінантний, домінування, експеримент, запліднення, зигота, імовірність, мінливість, покоління, ознака, ознака домінантна й рецесивна, ознака менделююча, ознаки альтернативні, подія випадкова, рецесивний, розмноження безстатеве і статеве, розщеплення, розщеплення за генотипом і фенотипом, спадковість, статистика, статистичний, схрещування, схрещування аналізуюче і моногібридне, схрещування дигібридне й полігібридне, успадковування, фен, фенотип, фенотипічний радикал, хромосоми гомологічні і не гомологічні, чиста лінія.

Опрацюйте питання для обговорення на занятті:

- 2.1. Особливості гібридологічного методу Г. Менделя.
- 2.2. Моногібридне схрещування. I-й та II-й закони Менделя.
- 2.3. Проміжне успадкування ознак.
- 2.4. Реципрокні та зворотні схрещування. Аналізуюче схрещування.
- 2.5. Дигібридне схрещування. III-й закон Менделя.
- 2.6. Полігібридне схрещування.
- 2.7. Умови прояву менделівських закономірностей.
- 2.8. Статистичний характер законів Менделя.

Завдання для аудиторної роботи

Виконайте тести з теми заняття.

Ознайомтеся з основами гібридологічного методу.

Гібридологічний метод, що базується на проведенні експериментальних схрещувань та аналізі їх результатів, дозволяє встановити закономірності спадкування ознак. При використанні даного методу для запису схем схрещувань необхідно застосовувати загальноживану символіку та дотримуватися відповідних правил:

- Схрещування позначають знаком ×.
- В схемах схрещувань на перше місце ставлять генотип особини жіночої статі (використовують символ ♀), на друге – чоловічої (використовують символ ♂). Під генотипом у схемах схрещувань розуміють сукупність тільки тих генів, які контролюють лише ті ознаки, що аналізуються.
- Алелі генів позначають латинськими літерами, домінантний алель гену позначають великою літерою, рецесивний – маленькою.

➤ Батьківські особини позначають літерою Р, а нащадків – літерою F. Біля літери F ставлять цифровий індекс, який відповідає порядковому номеру гібридного покоління (F_1 – гібриди першого покоління, F_2 – гібриди другого покоління тощо). Типи гамет позначають літерою G і обводять їх у кружечок.

Формально, гени, що контролюють ознаки, успадкування яких досліджується, можна позначати будь-якими літерами, але при проведенні генетичних досліджень необхідно використовувати символи та назви згідно з правилами генетичної номенклатури (правила можуть змінюватися залежно від генетичного об'єкта):

- ген, здебільшого, отримує назву за фенотиповим проявом мутантного алеля, або за назвою продукту, який цей ген кодує, наприклад:

w - white — білі очі (*D. melanogaster*);

vg - vestigial - редуковані крила (*D. melanogaster*);

ct - cut - обрізані крила (*D. melanogaster*);

$BRCA$ – Breast Cancer (*H. sapiens*);

CYP – cytochrome P450 (*H. sapiens*).

- Різні гени, які належать до однієї родини, прийнято позначати однаково, за виключенням цифрових або літерних індексів після назви ($CYP1A1$, $CYP1A2$). Подібним чином інколи позначають неспоріднені гени, які впливають на розвиток однієї ознаки ($BRCA1$, $BRCA2$).

- При позначенні рецесивних алелів використовують маленькі літери; домінантні алелі записують або за допомогою всіх великих літер (мікроорганізми та людина), або великою є лише перша літера (більшість вищих організмів).

- У дрозофіли алель дикого типу можна позначати значком «+» (окремо або, як індекс після назви гену), причому, незалежно домінантний він, чи рецесивний. Наприклад, домінантний алель, який контролює редукцію фасеток ока у дрозофіли (смужкоподібні очі) позначається B (від *Bar*). Тоді, символами $+$ або B^+ позначають алель дикого типу, рецесивний по відношенню до мутантного. Аналогічно, $+$ або w^+ можна позначати домінантний алель дикого типу гена *white*.

- Множинні алелі одного гену позначають за допомогою літерних та цифрових надрядкових індексів після назви гену (I^A , I^B та I^0 – алелі гену, який контролює групи крові за системою АВ0), або індекс алеля відокремлюється від назви гену за допомогою знаку «*» ($CYP1A1^*1$, $CYP1A1^*2$). Інколи індекс позначає фенотиповий прояв даного мутантного алеля. Прикладом може бути серія множинних алелів, які спричиняють зміну забарвлення очей дрозофіли: w – білі очі, w^a – абрикосові очі, w^{ch} – очі вишневого кольору, w^h – очі кольору меду.

Для запису генотипів використовують дві допустимі форми:

1. Традиційну «менделівську» – $AaBbCc$;

2. «Морганівську», яку доцільно використовувати, коли потрібно вказати знаходяться гени, що контролюють різні ознаки, в одній хромосомі чи ні:

$\begin{array}{ccc} A & B & C \\ \hline a & b & c \end{array}$ – гени знаходяться в різних хромосомах;

$\begin{array}{ccc} A & C & B \\ \hline a & c & b \end{array}$ – гени A і C знаходяться в одній хромосомі, B – в іншій;

$\begin{array}{ccc} A & B & C \\ \hline a & b & c \end{array}$ – усі гени знаходяться в одній хромосомі.

Ознайомтеся з правилами запису та порядком розв'язання задач на схрещування.

Під час розв'язання генетичних задач у схемі схрещування спочатку записується генотип самки, потім самця. Якщо генотип гетерозиготний, спочатку записується домінантний алель, потім рецесивний, наприклад Aa , $AaBB$, $AaBb$, $aaBb$ тощо. У решітці Пеннета (див. далі) ліворуч по вертикалі записуються гамети самки, а вгорі по горизонталі – гамети самця.

Увага! При розв'язанні задачі відповідати слід тільки на поставлені в задачі питання. Необхідно враховувати, що велика кількість задач має ймовірнісний характер, і тому немає однозначної відповіді.

Порядок розв'язання задач наступний.

Спочатку потрібно проаналізувати умову задачі за такими питаннями:

- про спадкування скількох пар альтернативних ознак йдеться в задачі,
- скількома генами контролюється кожна з них,
- чи відомо, яка в парі альтернативних ознак є домінантною, а яка рецесивною,
- що відомо про батьківські форми – чи їх фенотипи, чи їх генотипи,
- що відомо про нащадків: чи їх фенотипи, чи їх генотипи, чи розщеплення за фенотипом, чи кількості кожного фенотипу,
- що потрібно встановити.

Потім за допомогою символів потрібно записати коротку умову задачі. Почати слід з вибору символів для позначення гену, що контролює пару альтернативних ознак. Потім потрібно переписати умову задачі у вигляді схеми схрещування. Рецесивний фенотип записується як генотип aa , а домінантний може бути записаний у вигляді фенотипічного радикалу – $A_$ – (якщо з умови задачі невідомий генотип організму з домінантною ознакою, тоді його генотип може бути або AA , або Aa). І після з'ясування точних генотипів батьківських організмів можна продовжити генетичну схему.

Після розв'язання задачі потрібно записати повну відповідь (якщо потрібно, з поясненням).

Увага! Хід розв'язання різних генетичних задач може відрізнятися! (див. далі).

Розгляньте зразок розв'язання задачі на моногібридне схрещування.

Умова задачі. У батька-правші і матері-лівші народився син-лівша. Краще володіння правою рукою – домінантна ознака. Визначити генотипи усіх членів родини та ймовірність народження другої дитини: а) дитини-правш; б) доньки-правші?

Розв'язання. Виходячи з умови задачі позначимо алель гену, що контролює краще володіння правою рукою літерою А (домінантна ознака), а лівою рукою – літерою а (рецесивна ознака). Генотипи матері та сина будуть однакові – аа, тому що рецесивна ознака виявляється тільки в гомозиготі. Генотип батька може бути АА і Аа – домінантна ознака виявляється як в гомотак і в гетерозиготі. Тому запишемо генотип батька у вигляді фенотипового радикалу А_. Тепер міркуємо так: дитина аа одержує один алель від матері, інший – від батька, тому генотип батька Аа. Записуємо в генотип батька літеру а.

	Запис задачі:
Ген – Ознака	P ♀ аа x ♂ А а
А – правша	
а – лівша	F ₁ аа

Розраховуємо ймовірність народження другої дитини. Для цього наново записуємо схему схрещування з уже встановленими генотипами батьків, типами гамет та варіантами генотипів дітей. Підкреслюємо генотип дитини, що нас цікавить.

	P ♀ аа x ♂ А а
G	а А а
F ₁	<u>Аа</u> аа

Ймовірність народження дитини з певним генотипом можна обчислити двома способами:

1) написати всі можливі генотипи й підрахувати частку, що нас цікавлять, серед усіх можливих генотипів (у даній задачі $\frac{1}{2}$ або 50%);

2) можна написати лише генотип, що нас цікавить, (Аа), а далі визначити, які алелі необхідні для його утворення (А і а), від кого з батьків і з якою ймовірністю одержить їх дитина, а потім перемножити ці ймовірності. (Гамети з алелем А утворює лише батько з ймовірністю $\frac{1}{2}$, мати утворює гамети одного типу – з алелем а, тобто ймовірністю 1. Тоді ймовірність народження дитини з генотипом Аа: $p = \frac{1}{2} \times 1 = \frac{1}{2}$. Отже, ймовірність народження дитини-правші в даній родині $\frac{1}{2}$ або 50% (такий фенотип є часткою серед усіх можливих фенотипів).

Серед дітей половина повинні бути доньки, а половина – сини (див. далі – чому?). Тому ймовірність народження доньки-правші складатиме половину від 50%, тобто 25%. Або інакше: народження доньки правші – це дві події, що відбуваються одночасно (народжується дитина-правша, і ця дитина – дівчинка); для дитини-правші $p = \frac{1}{2}$, для дівчинки $p = \frac{1}{2}$. Отже, ймовірність народження дівчинки-правші: $p = p_1 \times p_2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ або 25%.

Розгляньте зразок розв'язання задач на дигібридне схрещування.

Умова задачі. Визначити ймовірність народження блакитноокої дитини-правші в дигетерозиготних батьків.

Розв'язання. Позначимо алель гену, що контролює карі очі А, а алель, що контролює блакитні очі – а, алель гену, що контролює краще володіння правою рукою – В, лівою – в. Складаємо скорочену схему схрещування:

$$\begin{array}{l} P \quad \text{♀ } AaBb \times \text{♂ } AaBb \\ F_1 \quad aaB_ \end{array}$$

Дану задачу можна розв'язати двома способами – звичайним, визначивши типи гамет і за допомогою решітки Пеннета варіанти генотипів потомства, але швидше можна розрахувати ймовірність народження дитини з даним фенотипом і генотипом математичним способом.

Розглянемо звичайний спосіб:

$$\begin{array}{l} P \quad \text{♀ } AaBb \times \text{♂ } AaBb \\ G \quad AB \ Ab \quad AB \ Ab \\ \quad \quad aB \ ab \quad aB \ ab \end{array}$$

F_1	♀/♂	AB	Ab	aB	ab
	AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
	Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
	aB	AaBB	AaBb	<u>aaBB</u>	<u>aaBb</u>
	ab	AaBb	Aabb	<u>aaBb</u>	aabb

Підкреслюємо потрібний нам генотип. Варіантів такого генотипу – два. Усього можливих варіантів генотипів дітей – $4 \times 4 = 16$, тому ймовірність народження дитини блакитноокої правші $3/16$ або $18,75\%$.

Розглянемо математичний спосіб. Генотип дитини точно встановити не можна, тому що за геном В вона може бути як гомо-, так і гетерозиготою. Під кожним алелем генотипу $aaB_$ підписуємо ймовірність його «приходу» від одного з батьків. Міркуємо так: перший алель а дитина отримує від матері, причому з ймовірністю $1/2$ (оскільки у матері два різних алеля – А і а). Другий алель а дитина отримує від батька з тією ж самою ймовірністю $1/2$ (у батька також два різних алеля – А і а). Перший алель В дитина може отримати як від батька, так і від матері, від кого не зрозуміло, те ж саме можна сказати й про другий алель в. Тому в даному випадку будемо міркувати так: нам варто оцінити появу в дитини відразу всього генотипу B^B/b . Батьки гетерозиготні за геном В, і це схрещування нагадує 2-й закон Менделя, при якому при схрещуванні гетерозигот спостерігається розщеплення $3 : 1$, отже поява у нащадків домінантної ознаки В становить $3/4$.

$$\begin{array}{l} \text{Записуємо:} \quad F_1 \quad aaB_ \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \frac{1}{2} \quad \frac{1}{2} \quad \frac{3}{4} \end{array}$$

Ймовірність комбінації генів у генотипі дитини дорівнює добутку їхніх ймовірностей: $p = 1/2 \times 1/2 \times 3/4 = 3/16$.

Отже, часто буває швидше розв'язати задачу саме математичним способом, особливо у випадках складних тригібридних схрещувань. Однак

треба бути дуже уважним, щоб не пропустити можливість «приходу» відповідного алеля не тільки від матері, але й від батька. Щоб не помилитися, можна перевірити відповідь, розв'язавши задачу звичайним способом.

Умова задачі. У собак спанієлів чорна шерсть домінує над червоною, суцільне забарвлення над строкатим. Чорний батько і чорно-строката мати мають червоне цуценя. Якими будуть фенотипи цуценят, якщо його схрестити, коли воно виросте, з собакою, яка має генотип його матері.

Розв'язання. Позначимо гени, що кодують відповідні ознаки літерами: А – чорна шерсть, а – червона шерсть, В – суцільне забарвлення, b – строкате забарвлення. Запишемо схему схрещування:

$$P \quad \text{♀ } A_bb \times \text{♂ } A_B_$$

$$F_1 \quad aaB_$$

Генотипи батьків і їхнього нащадка ми можемо записати лише за допомогою фенотипових радикалів, оскільки домінантні гомозиготи і гетерозиготи мають однаковий фенотип. Щоб заповнити «порожні місця» у генотипах міркуємо: цуценя гомозиготне за геном а, тому один алель а воно отримало від матері, а другий – від батька, отже обоє батьків за цим геном – гетерозиготи (Aabb і AaB_). Допишуємо літери а в генотипи обох батьків. Отже, генотип матері цуценяти Aabb.

Алель В цуценя могло отримати тільки від батька, від матері воно отримало алель b, тому генотип цуценяти – aaBb. Від батька цуценя отримало тільки один алель В, щодо другого алеля – В чи b, нічого сказати не можна, тобто батько може бути як гомо-, так і гетерозиготою за ознакою В: AaBB або AaBb.

Остаточна схема схрещування є такою:

$$P \quad \text{♀ } Aabb \times \text{♂ } AaB_ \\ F_1 \quad aaBb$$

$$P \quad \text{♀ } aaBb \times \text{♂ } Aabb \\ G \quad aB \quad ab \quad Ab \quad ab \\ F_1 \quad AaBb \quad Aabb \quad aaBb \quad aabb$$

Отже, можливі генотипи цуценят: чорний (AaBb), чорно-строкатий (Aabb), червоний (aaBb), червоно-строкатий (aabb) у співвідношенні 1 : 1 : 1 : 1 або по 1/4, або по 0, 25, або по 25%.

Розв'яжіть задачі.

1. Скільки типів гамет продукує організм з генотипом: а) гомо- і гетерозигота за однією парою альтернативних ознак; б) гомозигота за двома парами альтернативних ознак; в) дигетерозигота; г) організм з генотипом AaBbCc; д) організм з генотипом AaBbCcddEeFfGgHhiiJj?

2. При схрещуванні між собою мишей, які мають чорне забарвлення, завжди отримують нащадків з чорним забарвленням. При схрещуванні між собою мишей з жовтим забарвленням одна третина нащадків виявляються чорними, а дві третини – жовтими. Як пояснити дане явище? Яким чином можна перевірити правильність вашого припущення?

3. Батько – резус позитивний, мати – резус-негативна. Які генотипи і

фенотипи можуть мати їхні діти? Яка ймовірність народження: а) резус-негативної дитини; б) резус-позитивної дитини; в) резус-позитивного сина; г) резус-позитивної доньки; д) двох резус-негативних синів?

Завдання для самостійної позааудиторної роботи

1. У персика (*Persica vulgare* Mill.) опушений плід домінує над гладеньким. Якими будуть:

а) гібриди F_1 і F_2 , якщо гомозиготний персик з опушеними плодами схрестити із гомозиготним, що має гладенькі плоди?

б) нащадки від зворотного схрещування рослин F_1 з батьківською опушеною формою?

в) нащадки від аналізуючого схрещування рослин F_1 з батьківською формою, у якої плоди гладенькі?

2. Рослина має генотип AaBbCc:

а) скільки типів гамет вона утворює?

б) скільки різних фенотипів буде при самозапиленні (за умови повного домінування за всіма парами генів)?

в) скільки різних генотипів буде при самозапиленні цієї рослини?

г) скільки різних фенотипів може бути при самозапиленні вищеназваної рослини, якщо припустити неповне домінування за всіма парами генів?

3. Короткозорий (домінантна ознака) без ластовиння чоловік одружився з жінкою, у якої нормальний зір і ластовиння (домінантна ознака). У сім'ї троє дітей, всі діти короткозорі і з ластовинням. Визначте генотипи батьків і дітей. Яка ймовірність народження: а) дитини з нормальним зором і з ластовинням; б) сина з нормальним зором без ластовиння; в) двох синів, схожих на батька.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

Тема: Застосування критерію χ^2 для статистичної обробки даних гібридологічного аналізу.

Мета: ознайомитися із основами статистичного аналізу експериментальних даних; навчитися здійснювати статистичну обробку даних гібридологічного аналізу для визначення закономірності масових явищ за допомогою критерію χ^2 .

Завдання для самопідготовки до заняття

Опрацюйте питання для обговорення на занятті.

1. В чому полягає заслуга Г.Менделя як засновника гібридологічного методу?
2. Чому необхідно здійснювати статистичну обробку експериментальних даних?
3. Які методи статистичної обробки експериментальних даних Ви знаєте?
4. В чому суть статистичного методу χ^2 (хі-квадрат)?
5. Що таке ступінь свободи?

Теоретичні відомості.

Всі параметри біологічних об'єктів є випадковими величинами, отже їх прояв підпорядкований основним положенням теорії ймовірності.

Ймовірність – це показник, який характеризує можливість появи саме цієї ознаки, або саме цього значення (властивості) серед великої кількості спостережень. Якщо при кожному спостереженні дана ознака або значення, обов'язково має місце, то вона є закономірною (або достовірною). Якщо в даних умовах, дана ознака або значення може мати місце, а може не мати місця, то вона є випадковою.

Різноманітність біологічного світу вимагає для одержання достовірних результатів проведення масових спостережень, а також здійснення статистичної обробки експериментальних даних для визначення закономірності масових явищ. Для того щоб переконатися, що характер розщеплення ознак при гібридологічному аналізі є закономірним, а не випадковим, застосовують коефіцієнт χ^2 (хі-квадрат), який розраховують за формулою:

$$\chi^2 = \sum(d^2 : q),$$

де Σ – знак суми; q – теоретично очікувана кількість особин з певною ознакою; d – відхилення фактично добутих даних від теоретично очікуваних для кожного класу ($p - q$); p – дослідні числові дані.

Спочатку складається таблиця за класами розщеплення на основі здобутих дослідних даних, а потім всі здобуті дані додаються (табл. 1).

Таблиця 1

Результати кількісного аналізу успадкування забарвлення тіла у дрізофілі
(моногібридне схрещування)

Дані	Обсяг вибірки			
	36		1000	
	сірих	чорних	сірих	чорних
Фактично здобуті, p	34	2	758	242
Теоретично очікувані при розщепленні 3:1, q	27	9	750	250
Відхилення, d	+7	-7	+8	-8

d^2	49	49	64	64
-------	----	----	----	----

Для малої вибірки (36 мух): $49 : 27 = 1,81$; $49 : 9 = 5,44$; $64 : 750 = 0,08$;
 $\chi^2 = 1,81 + 5,44 = 7,25$.

Для великої вибірки (1000 мух): $64 : 250 = 0,25$; $\chi^2 = 0,08 + 0,25 = 0,33$.

Для того щоб судити, чи випадкові відхилення від теоретично очікуваного співвідношення 3:1, треба добути коефіцієнти χ^2 порівняти із критичними значеннями критерію χ^2 , для прийнятого рівня значимості (табл. 2). Частіше приймається рівень значимості $P = 0,05$ (або 95%-ва точність дослід), рідше: $P = 0,01$ (або 99%).

Таблиця 2

Критичні значення критерію χ^2 при різних ступенях свободи (за Фішером, скорочена)

Ступінь свободи ($n-1$)	Ймовірність (P)	
	0,05	0,01
1	3,841	6,635
2	5,991	9,210
3	7,815	11,341
4	9,488	13,278
5	11,071	15,088

Однак, перш ніж приступити до цього, слід з'ясувати поняття «ступінь свободи». *Ступінь свободи* – це кількість незалежно розрахованих, теоретично очікуваних величин.

У даному прикладі розраховано дві теоретично очікувані величини: два класи мух (сірі і чорні). Якщо розраховувати кількість сірих мух, то кількість чорних можна визначити автоматично, знаючи суму мух і кількість сірих мух. З цього виходить, що кількість незалежно розрахованих величин тут дорівнює одиниці. Це і є ступінь свободи в нашому прикладі. Кількість ступенів свободи завжди дорівнює кількості класів особин мінус 1, тобто ($n-1$).

З формули χ^2 видно, що при повному збіганні дослідних даних і теоретично розрахованих, χ^2 дорівнює нулю. Якщо χ^2 не дорівнює нулю, то вважають, що неспівпадіння чисел, які ми порівнюємо, випадкове.

У нашому прикладі при вибірці 36 мух $\chi^2 = 7,25$. У таблиці Фішера в першому рядку є числа 3,841 при ймовірності 0,05 і 6,635, що відповідає ймовірності 0,01. Ймовірність 0,05 свідчить про те, що якщо величини, які ми порівнюємо, відрізняються випадково, то значення χ^2 , вказане в таблиці, може з'явитися лише в 5 вибірках із 100 подібних. У статистиці прийнято вважати, що події, які мають ймовірність 0,05 і менше, практично не зустрічаються. Здобуте нами значення $\chi^2 = 7,25$ виходить за межі табличних, отже, підстав стверджувати, що відбулося розщеплення 3:1 у нас немає через недостатність обсягу вибірки.

У другому випадку, коли обсяг вибірки становив 1000 особин, $\chi^2 = 0,33$, що значно менше табличних значень. Це дає підставу стверджувати, що відхилення між дослідними даними і теоретично очікуваними є випадковими. Наша гіпотеза про розщеплення 3:1 дістала математичне підтвердження.

Критерій χ^2 дає надійні результати, коли обсяг вибірки більший за 50. Треба мати на увазі, що метод хі-квадрат не застосовується до значень, виражених у відсотках або відносних одиницях, а також до вибірок з кількістю особин у будь-якому з теоретично розрахованих класів менш ніж 5.

Обрахування статистичних характеристик в більшості випадків є трудомістким процесом, на який доводиться витрачати велику кількість часу. Крім того існує вірогідність випадкових помилок при розрахунках. Тому в наукових дослідженнях широко використовують для аналізу експериментальних даних різне програмне забезпечення. Це табличні процесори типу *Lotus*, *VisiCalc*, *Excel*, *SuperCalc*, *Quattro Pro* (так звані «електронні таблиці»), а також універсальні статистичні пакети як закордонні («Statgraphics», «SPSS», «SAS», «Statistica»), так і країн СНД («Stadia», «Эвриста», «Мезозавр», «Олимп», «Сани», «Класс-мастер»), що розраховані на більш досвідчених в статистичному аналізі користувачів та націлені на автоматизацію якомога більш широкого кола статистичних операцій.

Завдання для аудиторної роботи

Ознайомтеся з прикладами розв'язування задач.

1. Перевірте відповідність отриманого в досліді розщеплення теоретично очікуваному за допомогою методу χ^2 .

1.1. Від схрещування рослин озимого жита (*Secale cereale* L.) з опушеними та не опушеними квітковими лусочками в першому поколінні були отримані рослини з опушеними квітковими лусочками, а в другому – 227 з опушеними і 82 з не опушеними. При схрещуванні гібридів F_1 з рослиною, що мала не опушені квіткові лусочки було отримано: 110 з опушеними та 98 з не опушеними лусочками. Як успадковується дана ознака? Визначте генотипи вихідних рослин і F_1 . Які рослини будуть отримані від схрещування гібридів F_1 з вихідними батьківськими рослинами з опушеними лусочками?

Розв'язування:

Ген	Ознака
A	опушені лусочки;
a	неопушені лусочки;

P ♀ AA (опуш.) x ♂ aa (неопуш.)

F₁: Aa (опуш.)

При схрещуванні рослин F₁ між собою отримаємо:

P ♀ Aa (опуш.) x ♂ Aa (опуш.)

F₂: 1AA (опуш.) : 2Aa (опуш.) : 1aa (неопуш.)

За умовою задачі в цьому схрещуванні отримано 227 рослин з опушеними та 82 з не опушеними лусочками.

Висуємо гіпотезу про те, що 227 рослин з опушеними лусочками і 82 з неопушеними знаходяться у співвідношенні 3:1, а відхилення, що мають тут місце, викликані випадковими причинами. Перевіримо відповідність фактичного розщеплення 227:82 теоретично очікуваному розщепленню 3:1 за допомогою методу χ^2 .

Розрахунок χ^2 для даного випадку записуємо у вигляді таблиці (табл. 3).

Таблиця 3

Розрахунок χ^2 для перевірки відповідності розщеплення, що спостерігається фактично (227:82), теоретично очікуваному (3:1)

Величина	З опушеними лусочками	З неопушеними лусочками	Разом
Фактично здобуті, p	227	82	309
Теоретично очікувані, q	$309 \times \frac{3}{4} = 232$	$309 \times \frac{1}{4} = 77$	309
Відхилення, $(p - q) = d$	$227 - 232 = -5$	$82 - 77 = 5$	0
d^2	$(-5)^2 = 25$	$5^2 = 25$	-
d^2/q	$25 / 232 = 0,12$	$25 / 77 = 0,33$	-
	$0,12 + 0,33 = 0,45$		-

Таким чином, $\chi^2 = 0,45$.

Число ступенів свободи у даному експерименті складає $(n-1)$, де n – загальне число класів розщеплення. У нашому випадку $n=2$ (з опушеними лусочками та неопушеними), отже, число ступенів свободи – $(2-1)=1$. У нашому випадку обчислене значення $\chi^2=0,45$, а табличне значення $\chi^2=3,8$ (при рівні значущості, прийнятому у біологічних дослідженнях, – 0,05). Так як обчислене значення χ^2 не перевищує табличного, то можна стверджувати, що відхилення від теоретично очікуваного співвідношення викликані випадковими причинами, тобто вихідна гіпотеза підтверджується.

Отже, співвідношення 227:82 відповідає розщепленню 3:1, а відхилення викликані випадковими причинами.

При схрещуванні гібридів F_1 з рослиною, що має неопушені квіткові лусочки, отримаємо:

$P \text{ } \text{♀} \text{ } Aa \text{ (опуш.) } \times \text{ } \text{♂} \text{ } aa \text{ (неопуш.)}$

$F: 1Aa \text{ (опуш.) } : 1aa \text{ (неопуш.)}$

Чи відповідає фактичне розщеплення 110 опушених : 98 не опушених теоретично очікуваному розщепленню 1:1?

Перевіримо, за допомогою метода χ^2 (табл. 4).

Таблиця 4

Розрахунок χ^2 для перевірки відповідності отриманого фактичного розщеплення (110 : 98) теоретично очікуваному (1:1)

Величина	З опушеними лусочками	З не опушеними лусочками	Разом
Фактично здобуті, p	110	98	208
Теоретично очікувані, q	$208 \times 1/2 = 104$	$208 \times 1/2 = 104$	208
Відхилення, $(p - q) = d$	$110 - 104 = 6$	$98 - 104 = -6$	0
d^2	$6^2 = 36$	$(-6)^2 = 36$	-
d^2/q	$36 / 104 = 0,35$	$36 / 104 = 0,35$	-
	$0,35 + 0,35 = 0,70$		-

Фактичне значення $\chi^2 = 0,70$. Табличне значення χ^2 при ступені свободи 1 становить 3,8. Отже, результат 110 опушених : 98 не опушених відповідає розщепленню 1:1.

При схрещуванні гібридів F_1 з вихідною батьківською рослиною, що має опушені квіткові лусочки, отримаємо:

P: ♀ Aa (опуш.) x ♂ AA (опуш.)

F: 1AA (опуш.) : 1 Aa (опуш.)

Відповідь: $\chi^2 = 0,45$; $\chi^2 = 0,70$; 1) ознака успадковується моногенно; 2) генотипи вихідних рослин AA і aa, генотип F_1 – Aa; 3) усі нащадки будуть з опушеними квітковими лусочками (AA і Aa).

2. У гороху (*Pisum sativum* L.) жовте забарвлення насіння А домінує над зеленим, а гладенька форма насіння В – над зморшкуватою b. При схрещуванні рослин гороху, що мають гладеньке жовте насіння, із рослиною, що має зморшкувате зелене насіння, в F_1 всі рослини мали гладеньке жовте насіння. В F_2 отримали: рослин з гладеньким жовтим насінням – 401, з гладеньким зеленим насінням – 121, із зморшкуватим жовтим насінням – 108, із зморшкуватим зеленим насінням – 32. Як успадковуються ці ознаки? Які генотипи батьківських рослин? Перевірте вашу гіпотезу методом хі-квадрат.

Розв'язування:

Ген	Ознака
A	жовте насіння,
a	зелене насіння;
B	гладеньке насіння,
b	зморшкувате насіння.

P ♀ AABV (ж., гл.) x ♂ aabb (з., зм.)

F_1 AaBb (ж., гл.)

При схрещуванні рослин F_1 між собою отримаємо:

P ♀ AaBb (ж., гл.) x ♂ AaBb (ж.,гл.)
F₂ 9A_B_ (ж., гл.) : 3A_bb (ж., зм.) : 3aaB_ (з., гл.) : 1aabb (з., зм.)

Розрахунок критерію χ^2 для дигібридного схрещування запишемо у вигляді таблиці (табл. 5).

Таблиця 5

Аналіз розщеплення в F₂ гороху за двома ознаками насіння

Величина	Гладеньке жовте	Гладеньке зелене	Зморшкувате жовте	Зморшкувате зелене	Разом
Фактично здобуті, <i>p</i>	401	121	108	32	662
Теоретично очікувані при розщепленні 9:3:3:1, <i>q</i>	373	124	124	41	667
Відхилення, <i>d</i>	+28	-3	-16	-9	-
<i>u</i>	784	9	256	81	-
<i>d</i> ² / <i>q</i>	2,10	0,07	0,13	1,97	4,27

Здобуте нами значення $\chi^2=4,27$ менше табличного 7,815 (при ступені свободи 3, так як $n=4$). Отже, відхилення від теоретично очікуваних співвідношень є випадковими, а тому розщеплення у співвідношенні 9:3:3:1 є закономірним.

Відповідь: ознаки успадковуються незалежно при повному домінуванні. Кожна ознака контролюється однією парою алелей. Батьківські особини – дигомозиготи AABV і aabb. $\chi^2 = 4,27$.

Розв'яжіть задачу.

1. При схрещуванні забарвлених (від присутності антоціану) рослин жита (*Secale cereale* L.) із рослинами, які мають зелені сходи (без антоціану) в F₂ отримали 4584 забарвлених і 1501 зелених рослин. Скільки генів контролює цю ознаку? Яким повинен бути фенотип рослин F₁? Перевірте своє припущення за методом хі-квадрат.

2. При схрещуванні рослин м'якої пшениці (*Triticum aestivum* L.), що мають остистий щільний колос, із рослиною, що має безостий нещільний колос, в F₁ всі рослини мали безості колоски середньої щільності. В F₂ отримали:

безостих рослин з щільним колосом – 58,
безостих з колосом середньої щільності – 125,
безостих з нещільним колосом – 62,
остистих з щільним колосом – 18,
остистих з колосом середньої щільності – 40,
остистих з нещільним колосом – 21.

Як успадковуюються ці ознаки? Які генотипи батьківських рослин? Перевірте вашу гіпотезу за допомогою критерію χ^2 .

Завдання для самостійної позааудиторної роботи

1. При схрещуванні садових ротиків (*Anthirrinum majus* L.) з червоними пелоричними (правильними) квітками із рослинами, які мають жовті зигоморфні (неправильні) квітки, в F_1 всі рослини мали рожеві зигоморфні квітки, а в F_2 одержали:

рослин з червоними зигоморфними квітками – 43, з

рожевими зигоморфними квітками – 96,

з жовтими зигоморфними квітками – 45, з

червоними пелоричними квітками – 15, з

рожевими пелоричними квітками – 28, з

жовтими пелоричними квітками – 13.

Поясніть отримані результати, перевірте свою гіпотезу методом χ^2 .

2. При схрещуванні гетерозиготної рослини гороху посівного (*Pisum sativum* L.) з опушеним стеблом і забарвленими квітками із рослиною з голим стеблом і білими квітками отримали:

опушених з забарвленими квітками – 277,

опушених з білими квітками – 274,

голих з забарвленими квітками – 273,

голих з білими квітками – 280.

Перевірте дослідні дані за методом χ^2 .

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

Тема: Взаємодія алельних і неалельних генів.

Мета: сформувати знання про генотип як систему взаємодіючих генів та вміння розв'язувати генетичні задачі за допомогою цих знань.

Завдання для самопідготовки до заняття

Вивчіть терміни: ген гіпостатичний, ген-інгібітор [ген-супресор], ген

епістатичний, гени адитивні, гени летальні й напівлетальні [сублетальні], гени неалельні, епістаз, комплементарність, локус, полімерія, полімерія кумулятивна й некумулятивна, ознака кількісна і якісна, успадковування полігенне.

Опрацюйте питання для обговорення на занятті:

- 2.1. Взаємодія алелів одного гену (повне домінування, неповне домінування, кодомінування, наддомінування).
- 2.2. Множинний алелізм. Міжалельна комплементация.
- 2.3. Пенетрантність та експресивність ознак.
- 2.4. Явище плейотропії.
- 2.5. Комплементарна взаємодія генів.
- 2.6. Епістаз: домінантний та рецесивний.
- 2.7. Полімерія: адитивна та неадитивна.

Завдання для аудиторної роботи

Виконайте тести з теми заняття.

Розв'яжіть задачі.

1. Які групи крові можуть мати діти, якщо батько з групою крові I, M, Rh⁺, а мати з групою крові II, N, Rh⁻?

Припустимо, що хвороба визначається домінантним аутосомним геном, пенетрантність якого у гомозигот – 80%, а у гетерозигот – 20%. Яка ймовірність захворювання у дітей, якщо батьки гетерозиготні за цим геном? Який стан здоров'я батьків?

2. Існує два види сліпоти і кожний визначається своїм рецесивним аутосомним геном. Гени знаходяться в різних парах хромосом. Яка ймовірність того, що дитина народиться сліпою, якщо її батько і мати страждають різними видами спадкової сліпоти, а за іншою парою генів сліпоти – гетерозиготні?

3. У великої рогатої худоби (ВРХ) зустрічається суцільно біле, суцільно чорне і плямисте (чорно-біле) забарвлення. У F₁ від схрещування чистолінійних тварин білої та чорної масті отримані виключно білі корови та бики. У їх потомстві виявлено: 12/16 білих, 3/16 плямистих і 1/16 чорних корів і бичків.

Визначте тип успадкування масті у ВРХ та кількість генів, що контролюють забарвлення. Визначте генотипи кожної масті. Чи можна отримати чистолінійних тварин з плямистим забарвленням (поясніть)?

Завдання для самостійної позааудиторної роботи

1. Вуха кроликів породи баран мають 30 см довжини, у інших порід – 10 см. Довжина вух залежить від двох пар неалельних генів. За генотипом кролики породи баран є домінантними гомозиготами за обома парами неалельних генів, а звичайні кролики – рецесивними гомозиготами за обома парами неалельних генів. Визначте довжину вух кроликів F₁ та усіх можливих генотипів F₂

2. У котів (*Felis catus* L.) є серія множинних алелів, які визначають колір шерсті: С – дикий тип, с^s – сіамські кішки, с – альбіноси. Кожна з алелів повно

домінує над наступною ($C > c^s > c$). Від схрещування сірої кішки з сіамським котом народилися двоє кошенят – сіамський та альбінос. Які ще кошенята могли народитися при даному схрещуванні?

3. При схрещуванні червоноплідної суниці між собою «ягоди» у нащадків завжди червоні, а при схрещуванні білоплідної суниці між собою «ягоди» у нащадків завжди білі. В результаті схрещування цих двох сортів між собою «ягоди» мають рожевий колір. Яке потомство очікується від запилення червоноплідної суниці пилом рослин з рожевими «ягодами»? Від схрещування суниці з рожевими «ягодами» між собою отримане потомство, серед якого 15 745 кущів (близько 25%) є червоноплідними. Яка кількість кущів буде схожа з батьківськими формами?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

Тема: Генетичні механізми визначення статі.

Мета: сформувати знання про стать як генетичну ознаку вміння розв'язувати генетичні задачі за допомогою цих знань.

Завдання для самопідготовки до заняття

Вивчіть терміни: аутосома, «барабанні палички», гемізигота,

гемізіготний стан, гемофілія, ген гемізіготний, геніталії, гермафродит, гермафродити справжні й несправжні, гермафродитизм, гетерохроматин факультативний, гонади, гормон, дальтонізм, диморфізм статевий, ефект лайонізації, зчеплення, маскулінізація; ознаки, зчеплені зі статтю; ознаки, обмежені статтю; статеві ознаки первинні й вторинні, стать, стать гомогаметна й гетерогаметна, тільки Барра, успадковування, успадковування голандричне, успадковування залежне від статі, успадковування обмежене статтю, фемінізація, хроматин статевий, хромосома статева.

Опрацюйте питання для обговорення на занятті:

- 2.1. Поняття про стать та статеві ознаки.
- 2.2. Хромосомний механізм визначення статі. Статеві хромосоми. Будова Х- та Y-хромосом людини.
- 2.3. Типи визначення статі в онтогенезі.
- 2.4. Визначення статі у людини. Механізми генетичного визначення статі в людини та їх порушення. Бісексуальна природа людини. Проблема перевизначення статі, психосоціальні аспекти.
- 2.5. Визначення статі у дрозофіли. Балансова теорія статі.
- 2.6. Успадкування: зчеплене зі статтю, обмежене статтю, залежне від статі, голандричне.
- 2.7. Захворювання людини, зчеплені зі статтю.
- 2.8. Компенсація дози генів. Статевий хроматин. Ефект лайонізації.
- 2.9. Гермафродитизм.

Завдання для аудиторної роботи

Виконайте тести з теми заняття.

Розв'яжіть задачі.

1. Чорна та руда масть у кішок обумовлена різними алелями зчепленого з Х-хромосомою гену. Жодний з цих алелів не домінує, тому гетерозиготні тварини мають плямисте забарвлення (його іноді називають «черепажовим» або «трихматними»). а) Чому «черепажові» коти практично не зустрічаються? б) Який генотип «черепажових» котів, які зустрічаються дуже рідко? в) Якими будуть кошенята від чорної кішки і рудого кота? г) Якими будуть кошенята від «черепажової» кішки і чорного кота?

2. У людини відсутність потових залоз – зчеплена із Х-хромосомою рецесивна ознака, альбінізм – аутосомно-рецесивна ознака. У здорового подружжя народився син з обома захворюваннями. Вкажіть ймовірні генотипи батьків. Яка ймовірність того, що у другого сина виявляться ці аномалії? Яка ймовірність народження здорової дитини?

3. Диплоїдний самець дрозофіли з жовтим тілом (рецесивна мутація – у) схрещений з триплоїдною самицею, яка має генотип ++у. Визначте генотипи, фенотипи та стать нащадків.

Завдання для самостійної позааудиторної роботи

Виконайте практичну роботу.

Тема: Морфологія та генетична структура Х- і Y-хромосом людини.

Мета: ознайомитися з особливостями морфології та генетичної структури Х- і Y-хромосом людини.

Хід роботи

1. Знайдіть у першоджерелах зображення диференційно забарвлених Х- і Y-хромосом людини, схематично замалюйте їх, позначте локалізацію ряду генів та «псевдоаутосомних районів».

2. Знайдіть у першоджерелах інформацію про розмір ДНК (у п.н.) в Х- і Y-хромосомах людини, кількість генів в них, встановлених на даний час.

3. Запишіть назви генів, що контролюють ознаки людини, зчеплені зі статтю та голандричні ознаки.

4. Зробіть висновок згідно меті практичної роботи.

Розв'яжіть задачі.

1. Жінка, батько якої страждав дальтонізмом, одружилася з чоловіком з волосатістю вушних раковин і нормальним зором. Яка ймовірність народження в цій сім'ї сина, хворого на дальтонізм і з гіпертрихозом?

2. У чоловіків аутосомний ген облісіння S є домінантним, а у жінок він виявляється як рецесивний. Жінка, що має лисого брата, виходить заміж за лисого чоловіка. Батько жінки також був лисим. У них народився син з густим волоссям і дуже рано облісіла дочка. Вона виросла й вийшла заміж за чоловіка з густим волоссям. Яка ймовірність того, що в них народиться: а) син з раннім облісінням, б) дочка з раннім облісінням?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

Тема: Зчеплення генів. Кросинговер.

Мета: сформувати знання про успадкування при зчепленні генів, вміння використовувати ці знання для побудови генетичних карт та розв'язування генетичних задач.

Завдання для самопідготовки до заняття

Вивчіть терміни: гамети кросоверні й некросоверні, гібридизація соматична [соматичних клітин], група зчеплення, епісома, еукаріоти, зчепленість, зчеплення генів, карта хромосоми, карта хромосоми генетична й цитологічна, кон'югація бактеріальна, кон'югація хромосом, кросинговер, кросинговер мітотичний, кросинговер нерівний, кросовер, локус, морганіда, некросовер прокаріоти, рекомбінація, рецесивний аналізатор, сантиморганіда, статевий фактор, схрещування аналізуюче, успадковування, хромосоми гомологічні й не гомологічні, цибриди.

Опрацюйте питання для обговорення на занятті:

2.1. Зчеплене успадкування та його особливості. Експерименти Моргана зі зчепленими генами як докази хромосомної теорії спадковості. Закон Моргана. Групи зчеплення. Повне й неповне зчеплення генів. Характер успадковування зчеплених генів.

2.2. Кросинговер, біологічне значення кросинговеру. Цитологічні докази кросинговеру. Молекулярні механізми кросинговеру. Фактори, що впливають на кросинговер.

2.3. Інтерференція та коінциденція.

2.4. Генетичні карти хромосом (карти зчеплення), мета й способи їх складання. Складання цитологічних карт хромосом еукаріотів, одиниці відстані між генами. Методи картування хромосом людини. Гібридизація соматичних клітин.

2.5. Статевий фактор у бактерій. Складання генетичних карт прокаріотів.

Завдання для аудиторної роботи

Виконайте тести з теми заняття.

Розв'яжіть задачі.

1. Які гамети й у якій кількості буде утворювати дигетерозиготна особина, якщо: а) гени локалізовані в різних хромосомах; б) гени повністю зчеплені; в) гени знаходяться на відстані 15 сМ (сантиморганід). Розв'язання оформіть у вигляді таблиці:

Генотип	Гамети, %			
	Некросоверні		Кросоверні	
а)				
б)				
в)				

2. У дрозофіли рецесивний ген чорного кольору тіла і ген, який детермінує пурпурний колір очей, розташовані у другій хромосомі у локусах 48,5 і 54,5. Їх нормальні алелі – домінантні гени сірого тіла і червоного кольору очей. Схрестили самку з чорним тілом і червоними очима з самцем, який має сіре тіло і пурпурні очі. Потім гібридних самок F₁ схрестили з самцем, що має обидві рецесивні ознаки. Яке потомство слід чекати від цього схрещування. Яка ймовірність появи серед потомства рекомбінантних особин?

3. У людини рецесивний ген гемофілії (h) і рецесивний ген кольорової сліпоти (дальтонізму) (d) локалізовані у Х-хромосомі на відстані 9,8 сантиморганід. Жінка, мати якої хворіла на дальтонізм, а батько – на гемофілію, одружилася із здоровим чоловіком. Яка ймовірність народження хворої на дальтонізм і гемофілію дитини у цьому шлюбі? Яка ймовірність народження сина з обома аномаліями, здорового сина, хворої доньки, здорової доньки?

Завдання для самостійної позааудиторної роботи

1. В аналізуючому схрещуванні дигетерозиготи отримали розщеплення: АВ – 125, Ab – 25, aB – 31, ab – 119. Розрахуйте відстань між генами?

2. Гени розташовані у порядку ACE. Відстань між генами A і C – 4,5 сМ, а між генами C і E – 14,5 сМ. Практична частота подвійних кросоверів становить 0,5%. Розрахуйте коінциденцію.

3. Гени *dumphy* (dp), *clot* (cl), та *apterous* (ap) зчеплені і локалізовані у хромосомі 2 *Drosophila*. За результатами серії схрещувань отримані наступні міжгенні відстані: $dp-ap$ – 42 сМ, $dp-cl$ – 3 сМ, $ap-cl$ – 39 сМ. Намалюйте генетичну карту цієї ділянки.

4. Катаракта (помутніння кришталика ока) і полідактилія у людини зумовлені домінантними аутосомними тісно зчепленими генами. Ген катаракти може бути зчепленим також з геном нормальної будови кисті, а ген нормального внутрішньоочного тиску – з геном полідактилії. Жінка, мати якої страждала катарактою, а батько – полідактилією, взяла шлюб із здоровим чоловіком. Визначте можливі генотипи і фенотипи дітей від цього шлюбу, якщо жінка успадкувала катаракту і полідактилію від батьків. Яка ймовірність народження дитини; а) з катарактою, б) з полідактилією, в) з обома аномаліями, г) здорової?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 7

Тема: Мінливість: спадкова і не спадкова.

Мета: сформувати знання про механізми та види мінливості, вміння використовувати ці знання для лабораторного дослідження мутаційної мінливості та розв'язування генетичних задач.

Завдання для самопідготовки до заняття

Вивчіть терміни: анеуплоїдія, антиоксидант, генокопія, генотип, індукований, іонізація, іонізуюче випромінювання, канцероген, канцерогенна

дія, мінливість, модифікація, мозаїк, мутаген, мутагенез, мутагенез індукований, мутант, мутація; мутація генеративна, генна, геномна, індукована, соматична, спонтанна, хромосомна; мутування, норма реакції, онтогенез, поліплоїдія, радикал, радикал вільний, радіація, рак, рентгенівське випромінювання, спадковість, спонтанний, фенкопія, фенотип, химера.

Опрацюйте питання для обговорення на занятті:

2.1. Мінливість, її форми та прояви на організменому рівні: фенотипічна та генотипічна мінливість. Онтогенетична мінливість. Комбінативна мінливість, її джерела. Роль мінливості в пристосуванні організму до навколишніх умов, значення для еволюції.

2.2. Мутації. Класифікація мутацій.

2.3. Генні мутації. Молекулярний механізм генних мутацій.

2.4. Генокопії та фенкопії.

2.5. Природний та індукований мутагенез. Мутагени: фізичні, хімічні, біологічні. Генетичний моніторинг.

Завдання для аудиторної роботи

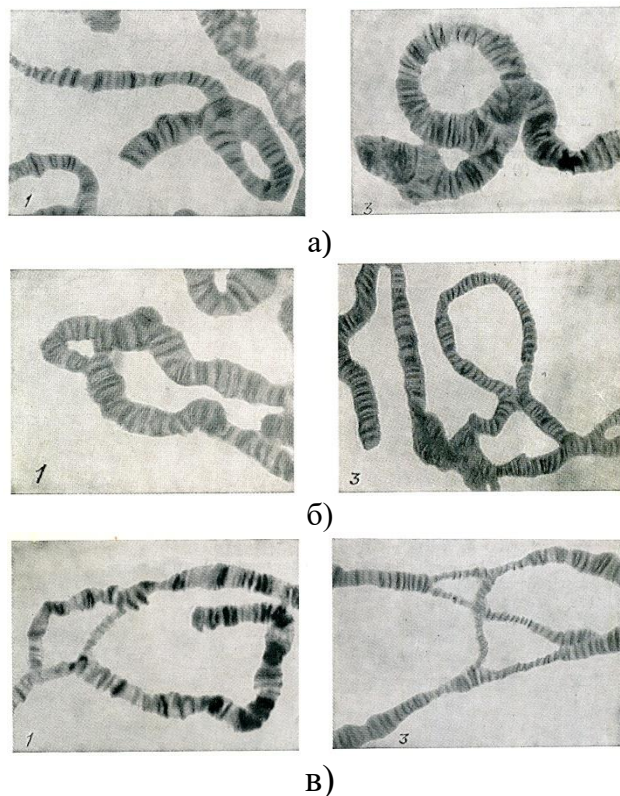
Виконайте тести з теми заняття.

Виконайте лабораторну роботу.

Тема: Мінливість хромосом.

Мета: навчитися ідентифікувати хромосомні аберації за цитологічними структурами, що утворюються під час кон'югації нормальних хромосом і хромосом з абераціями.

Матеріали: мікроскопи, постійні препарати ділянок політенних хромосом слинних залоз личинок дрозофіли з абераціями:



Мікрофотографії ділянок політенних хромосом слинних залоз дрозофіли з: а) делецією у гетерозиготному стані; б) інверсією у гетерозиготному стані; в) транслокацією у гетерозиготному стані

Хід роботи:

1. Роздивіться препарати політенних хромосом, гетерозиготних за делецією у Х-хромосомі. Характерна невелика петля на Х-хромосомі свідчить про відсутність ділянки в одній з Х-хромосом. Намалюйте схему виникнення делеції і кон'югації між нормальною хромосомою і хромосомою з делецією.

2. Роздивіться роздивіться політенних хромосом, гетерозиготних за інверсією у Х-хромосомі. Характерна петля на Х-хромосомі свідчить про інвертування ділянки в одній з Х-хромосом. Намалюйте схему виникнення інверсії і кон'югації між нормальною хромосомою і хромосомою з інверсією.

3. Роздивіться препарати політенних хромосом, гетерозиготних за транслокацією 3-ї хромосоми. Характерна хрестоподібна фігура свідчить про кон'югацію між нормальними хромосомами і хромосомами з транслокованими ділянками. Намалюйте схему виникнення транслокації і кон'югації між нормальною хромосомою і хромосомою з транслокацією.

4. Зробіть висновок згідно мети лабораторної роботи.

Розв'яжіть задачі.

1. В результаті якої мутації послідовність GTCAAGGACG перетворилась на GTCAAGCACG? Як це позначиться на складі та структурі поліпептиду, якщо вказана нуклеотидна послідовність є ділянкою екзону гена, в якому цей поліпептид закодований?

2. Які фенотипи і в якому співвідношенні можуть виникати при схрещуванні двох трисомиків Ааа за умови повного домінування (треба враховувати, що у батьківських рослин життєздатні тільки гаплоїдні гамети)?

Завдання для самостійної позааудиторної роботи

1. За допомогою наведених нижче послідовностей іРНК знайдіть мутації, що відбулися в гені, з якого вони транскрибовані. Назвіть ці мутації за різними класифікаціями. Які наслідки цих мутацій?

Дикий тип: 5'...AAUCCUUACGGA...3'

1-й мутант: 5'...AAUCCUACGGA...3'

2-й мутант: 5'...AAUCCUUACGCA...3'

3-й мутант: 5'...AAUCCUUACGAA...3'

4-й мутант: 5'...AAUCGCUUACGGA...3'

2. У дрозофіли відомі життєздатні трисомики по 4-й хромосомі. Самка дрозофіли має генотип ААа (ген А знаходиться в четвертій хромосомі), а

самець – генотип aa. Яке розщеплення очікується в потомстві при схрещуванні цих особин?

3. У 46-річної жінки в частині соматичних клітин виявлена транслокація 21 хромосоми на 15. Визначте, які типи гамет може продукувати ця жінка? Яка частка цих гамет може спричинити синдром Дауна? Яка ймовірність народження цієї жінкою дитини із синдромом Дауна?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 8

Тема: Закономірності успадкування генів та їх алелів у популяціях.

Мета: сформувати знання про генетичну структуру популяцій та її динаміку як основу мікроеволюції, вміння використовувати ці знання для розв'язування генетичних задач.

Завдання для самопідготовки до заняття

Вивчіть терміни: ареал, вид, видоутворення, генетика популяційна, генетико-автоматичні процеси, генетичний тягар популяції, генні частоти [частоти алелів], генофонд, густота популяції, добір, добір природний та штучний, дрейф генів, еміграція, ефект засновника [родоначальника], життєздатність, ідеальний, ізолят, ізоляція, імміграція, інбредна депресія,

інбридинг, інцест, коефіцієнт інбридингу, міграція, народжуваність, панміксія, популяція, популяція ідеальна, система схрещування, систематика, смертність, схрещування асортативне і селективне, таксон, фактори ізоляції, хвилі життя [популяційні хвилі], шлюб інцестний [кровозмішення].

Питання для обговорення на занятті:

- 2.1. Предмет і задачі популяційної генетики. Вид, популяція, людська популяція. Показники популяції.
- 2.2. Генетична структура та динаміка аутогамних популяцій.
- 2.3. Структура алогамних популяцій.
- 2.4. Рівновага в алогамних популяціях. Закон Харді-Вайнберга. Ідеальна популяція.
- 2.5. Фактори генетичної динаміки популяцій. Вплив мутацій, добору й міграції на генетичну структуру популяції. Дрейф генів (генетико-автоматичні процеси). Ефект засновника (родоначальника). Види схрещувань у природних популяціях, їх вплив на популяцію. Інбридинг: причини й наслідки. Ізоляція, її форми й значення у видоутворенні.

Завдання для аудиторної роботи

Виконайте тести з теми заняття.

Розв'яжіть задачі.

1. Група особин складається з 40% AA , 15% Aa та 45% aa . Яка частота алелів A та a ?
2. Хвороба визначається геном, локалізованим в X -хромосомі, пенетрантність якого у гомо- та гемізигот 80%, у гетерозигот – 20%. В популяції 24% хворих чоловіків. Яка частота захворювання серед жінок?
3. Популяція складається з 2000 особин, гомозиготних за домінантним алелем гену, 2000 гетерозигот і 6000 особин, гомозиготних за рецесивним алелем гену. Чи відповідає співвідношення генотипів у даній популяції ідеальному? Річний приплід у даній популяції склав 2500 малят. Який склад приплоду за генотипом? Схрещування випадкове, мутацій і добору немає.

Завдання для самостійної позааудиторної роботи

1. Кількість індивідумів з групами крові AB , B , A , та 0 серед обстежених пігмеїв була, відповідно, 103, 300, 313 та 316. Розрахуйте частоти алелів I^A , I^B та I^0 для даної популяції.
2. У вибірці з 84000 рослин жита 210 – альбіноси (рецесивна ознака r). Визначте частоту алелів R та r , а також частоту гетеризигот у відсотковому та абсолютному значенні.
3. Співвідношення генотипів у вибірці наступне - $1AA : 1Aa : 7aa$. Визначте генетичну структуру F_7 у випадку самозапилення, панміксії.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Адріанов В. Л. Збірник задач з генетики: збірник / за заг. ред. д.п.н., проф. В. В. Вербицького. Київ: «НЕНЦ», 2017. 95 с.
2. Атраментова Л. О., Утєвська О. М. Біометрія: Підручник в 2-х частинах. Х.: Вид-во «Ранок», 2007. 176 с.
3. Афанасьєва К. С., Рушковський С. Р. Олімпіадний мінімум. Генетика та молекулярна біологія. Х.: Вид група «Основа», 2012. 189 с.
4. Барна М. М. Біологія. Задачі та розв'язки: навч. посібник. 5-те вид. Тернопіль: Мандрівець, 2008. 348 с.
5. Генетика з основами селекції / С. І. Стрельчук, С. В. Демідов, Г. Д. Бердишев, Д. М. Голда. Київ: Фітосоціоцентр, 2000. 292 с.

6. Генетика: підручник / А. В. Сиволоб, С. Р. Рушковський, С. С. Кир'яченко та ін. / за ред. А. В. Сиволоба. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. 320 с.
7. Голда Д. М., Демидов. С. В., Решетняк Т. А. Задачі з генетики. Київ: Фітосоціоцентр, 2004. 116 с.
8. Дегтярьова Н. І. Лабораторний і польовий практикум з генетики. К.: Вища шк., 1973. 272 с.
9. Євсєєв Р. С. Збірник задач з генетики. Х. : Вид. група «Основа», 2016. 127 с.
10. Загальна та молекулярна генетика. Практикум / С. В. Демидов, В. Ф. Безруков, А. В. Сиволоб та ін. К.: Фітосоціоцентр, 2005. 240 с.
11. Калінін М. І., Єлісєєв. В. В. Біометрія: Підручник для студентів вузів біологічних і екологічних напрямків. Миколаїв: Вид-во МФ НаУКМА, 2000. 204 с.
12. Крижановська М. А. Збірник задач і вправ з генетики. Тернопіль: Вид-во ТНПУ, 2009. 84 с.
13. Лагутенко О. Т., Чепурна Н. П. Генетика з основами селекції: лабораторний практикум. К.: Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2017. 160 с.
14. Лановенко О. Г. Генетика: навчально-методичний посібник для самостійного вивчення дисципліни (для студентів біологічних спеціальностей університетів). Херсонський державний університет Інститут біології, географії і екології. 2015. 140 с.
15. Лановенко О. Г., Чинкіна Т. Б. Від молекул нуклеїнових кислот до людини / Генетичні задачі з методикою розв'язання: Навчально-методичний посібник. 2-е вид, доповнене та перероблене. Херсон: Айлант, 2005. 156 с.
16. Маруненко І. М., Неведомська Є. О. Основи генетики: навч.-метод. посіб. з питань проведення практичних і самостійних робіт. 5-те вид., перероб. і доп. К.: Київськ. ун-т імені Бориса Грінченка, 2014. 57 с.
17. Маруненко І. М., Неведомська Є. О., Бобрицька В. І., Сівєрс З. Ф. Основи генетики людини: навчальний посібник для студ. вищ. пед. навч. закл. К.: КМПУ, 2006. 170 с.
18. Марценюк М. Генетика: конспект лекцій. Миколаїв: МНАУ, 2015. 152 с.
19. Марценюк І. М. Селекція та насінництво. Курс лекцій. Миколаїв: МНАУ, 2014. 96 с.
20. Ніколайчук В. І., Вакерич Н. М. Генетика : підручник для студ. вищ. навч. закл. Ужгород: Гражда, 2013. 504 с.
21. Сіренко А. Г. Лекції та задачі з генетики. Івано-Франківськ: Голіней О. М., 2018. 300 с.
22. Січняк О. Л., Капрельянц Л. В., Килименчук О. О. Генетика: навч. посіб. для студ. ступеня «бакалавр» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» галузі знань «Хімічна та біоінженерія» денної й заочної форм навчання. Херсон: Олді-Плюс, 2018. 148 с.

23. Стрельчук С. Генетика з основами селекції. К.: Фітосоціоцентр, 2000. 292 с.
24. Тимчик О. В., Маруненко І. М. Збірник задач з генетики людини: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ, 2016. 99 с.
25. Торяник В. М. Генетика. Збірник задач. Суми: СумДПУ ім. А. С. Макаренка, 2003. 92 с.
26. Загальна і молекулярна генетика: Практикум / Храпунов С. М., Безруков В. Ф., Голда Д. М. та ін. К. : Вища шк., 1995. 280 с.

Навчальне видання

Торяник Валентина Миколаївна

Методичні вказівки до лабораторних занять

з «Генетики з основами селекції»

(для студентів спеціальності 091 Біологія)

Комп'ютерна верстка *Торяник В.М.*

Формат 60x84/8 Гарнітура Times New Roman.
Папір офсетний. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 6,95.
Ум. фарб.-відб. 6,95. Обл.-вид. арк. 8,84.
Тираж 50 пр. Вид. № 30

Виготовлювач:
ФОП Цьома С.П. 40002, м. Суми, вул. Роменська, 100.
Тел.: 066-293-34-29.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
Серія ДК, № 5050 від 23.02.2016.