

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

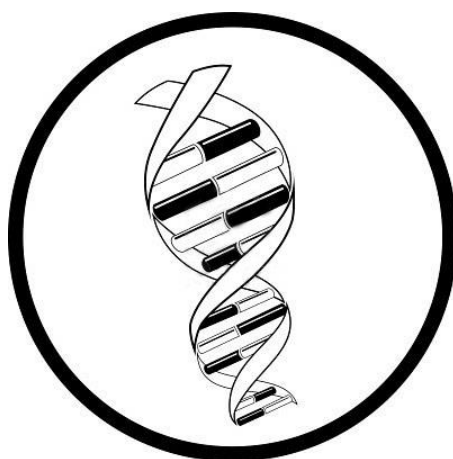
Факультет агротехнологій

Кафедра виноградарства та плодовоовочівництва

ГЕНЕТИКА

Методичні рекомендації

для практичних робіт здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти ОПП «Агрономія» спеціальності 201 «Агрономія» денної
форми здобуття вищої освіти



Миколаїв

2025

УДК 631.52(076)

Г34

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету агротехнологій Миколаївського національного аграрного університету від 20.03.2025 року, протокол №8.

Укладач:

І. М. Марценюк – канд. біол. наук, доцент кафедри виноградарства та плодоовочівництва, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

С. Г. Чорний – доктор с.-г. наук, професор, професор кафедри управління земельними ресурсами факультету економічних наук ЧНУ імені Петра Могили;

М. І. Федорчук – доктор с.-г. наук, професор, професор кафедри рослинництва та садово-паркового господарства, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
МОДУЛЬ I. Цитологічні та молекулярні основи спадковості	7
<i>Практична робота №1. Підрахунок кількості хромосом у рослинних препаратах. Морфологічна ідентифікація хромосом</i>	7
<i>Практична робота №2. Розподіл генетичної інформації в клітині при мітозі</i>	12
<i>Практична робота №3. Розподіл генетичної інформації в клітині при мейозі</i>	15
<i>Практична робота №4. Гаметогенез і подвійне запліднення у рослин</i>	18
<i>Практична робота №5 Структура і функції нуклеїнових кислот</i>	21
<i>Практична робота №6. Реалізація спадкової інформації через білковий синтез</i>	25
 МОДУЛЬ II. Закономірності успадкування ознак при внутрішньовидовій гібридизації	 33
<i>Практична робота №7. Закономірності успадкування при моногібридному схрещуванні</i>	33
<i>Практична робота №8. Закономірності успадкування при дигібридному та полігібридному схрещуваннях</i>	37
<i>Практична робота №9. Взаємодія неалельних генів</i>	40
<i>Практична робота №10. Зчеплене успадкування генів і кросинговер</i>	46
<i>Практична робота №11. Успадкування ознак, зчеплених зі статтю</i>	50
<i>Практична робота №12. Аналіз відхилень результатів схрещувань від законів Г. Менделя.</i>	53

МОДУЛЬ III. Мінливість рослинних організмів	58
<i>Практична робота № 13. Модифікаційна мінливість у рослин.</i>	
Побудова варіаційного ряду та кривої	58
<i>Практична робота № 14. Генетичний аналіз успадкування ознак у поліплоїдів</i>	
	64
МОДУЛЬ IV. Генетика популяцій. Генетичні основи селекції	70
<i>Практична робота № 15. Генетична структура рослинних популяцій</i>	70
ДОДАТКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	78

ПЕРЕДМОВА

Генетика є теоретичною основою селекції і через неї має безпосередній вихід у практику сільського господарства шляхом створення нових сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів.

Дисципліна «Генетика» спрямована на підготовку здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр» спеціальності Н1 «Агрономія». Генетика – одна з основних агрономічних дисциплін, що викладається здобувачам вищої освіти 2 курсу денної форми навчання. Метою дисципліни є надання майбутнім спеціалістам агрономічного профілю необхідних знань і теоретично підготувати їх для подальшого освоєння дисципліни «Селекція та насінництво». Програма практичних занять спрямована на закріплення здобувачами вищої освіти теоретичних положень лекційного курсу в процесі вирішення генетичних задач, а також генетичного експерименту з використанням рослинних об'єктів.

Методичні рекомендації створені для надання допомоги здобувачам вищої освіти у вивченні дисципліни «Генетика», формуванні практичного досвіду та його практичному втіленні. Методичні рекомендації охоплюють широке коло питань, спрямованих на вивчення механізмів спадковості і мінливості організмів. Насамперед, це основи цитології та молекулярної генетики, менделівські закономірності, питання хромосомної теорії, генетичні перетворення у популяціях, математичні методи вивчення мінливості та інші, обізнаність з якими вкрай необхідна здобувачам вищої освіти для їх становлення як фахівців-агрономів. У методичних рекомендаціях приділяється велика увага алгоритму (послідовності) дій здобувачів освіти при виконанні генетичних завдань.

Поруч із теоретичним матеріалом за кожною з тем подано завдання для їх виконання, приклади розв'язування типових задач, контрольні запитання, що сприятиме успішному засвоєнню та самоперевірці навчального матеріалу.

Структура і зміст методичних рекомендацій відповідають чинній навчальній програмі з дисципліни «Генетика» для спеціальності НІ «Агрономія» та включає 15 практичних робіт. Матеріал подається з урахуванням специфіки структурно-модульної системи навчання та рейтингового оцінювання знань.

Посібник ілюстровано рисунками, він містить додатки з допоміжною інформацією з даної дисципліни. Навчально-методичне видання може бути корисним не лише для студентів агрономічного профілю, але й для учнів загальноосвітніх закладів, абітурієнтів, вчителів біології, аспірантів та широкого кола читачів, які бажають розширити свої знання з генетики.

МОДУЛЬ I. Цитологічні та молекулярні основи спадковості

Практична робота № 1

Тема. Підрахунок кількості хромосом у рослинних препаратах. Морфологічна ідентифікація хромосом.

Мета: опанувати методикою підрахунку хромосом клітинного ядра рослин; вивчити морфологічні особливості хромосом як носіїв спадкової інформації живого організму, вивчити хромосомні набори основних сільськогосподарських культур.

Обладнання на матеріали: мікроскопи, мікропрепарати, проростки цибулі.

Методичні рекомендації.

Вивченням структури, функцій, еволюції клітини та її частин займається галузь біології – *цитологія*. Набір хромосом соматичної клітини, типовий для даного виду рослин чи тварин, називають *каріотипом*. Стабільність каріотипу забезпечує існування виду. Число хромосом є однією із найважливіших характеристик каріотипу організмів.

Кожному виду рослин властиве постійне число хромосом. Соматичні клітини мають диплоїдний набір хромосом (два набори гомологічних хромосом), який позначають $2n$, а статеві клітини – гаплоїдний (одинарний) – n . Гомологічні хромосоми в диплоїдному наборі є морфологічно та функціонально ідентичними, тобто мають однаковий набір генів.

Підрахунок кількості хромосом широко використовують при визначенні плоїдності клітин, моносомному аналізі, ідентифікації хромосом різних видів алополіплоїдів та віддалених гібридів.

Завдання з визначення кількості хромосом ядра рослин можна виконувати на постійних, або тимчасових мікропрепаратах. Тимчасові препарати готують із молодих первинних корінців цибулі (жита, ячменю, пшениці) довжиною 1-2 см із добре розвиненою меристемою. Тонкий поздовжній зріз корінця (без епідермісу) розміщують на предметному склі в

краплині ацетолакмоїду, накривають покривним склом і обережно підігрівають спиртівкою до мацерації препарату.

Легкими ударами по поривному склу роздавлений препарат розподіляють в одному шарі і поміщають на предметний стіл мікроскопа. На 5-10-ти метафазних пластинках виконують підрахунок кількості хромосом за максимально можливого збільшення. Щоб точніше підрахувати, хромосоми замальовують за допомогою рисувального апарату або роблять мікрофотографії. Для перевірки точності підрахунків хромосом можна скористатися даними таблиці 2 (додаток 1).

Найважливішими характеристиками каріотипу рослин є не тільки число, а й розміри та морфологія хромосом.

Морфологію хромосом вивчають на стадії метафазі мітозу, коли вони максимально (в 10000 разів) спіралізовані. Незважаючи на видову та індивідуальну різноманітність, усі хромосоми еукаріот мають однакову будову. Основні морфологічні частини умовної хромосоми показано на рис.1.

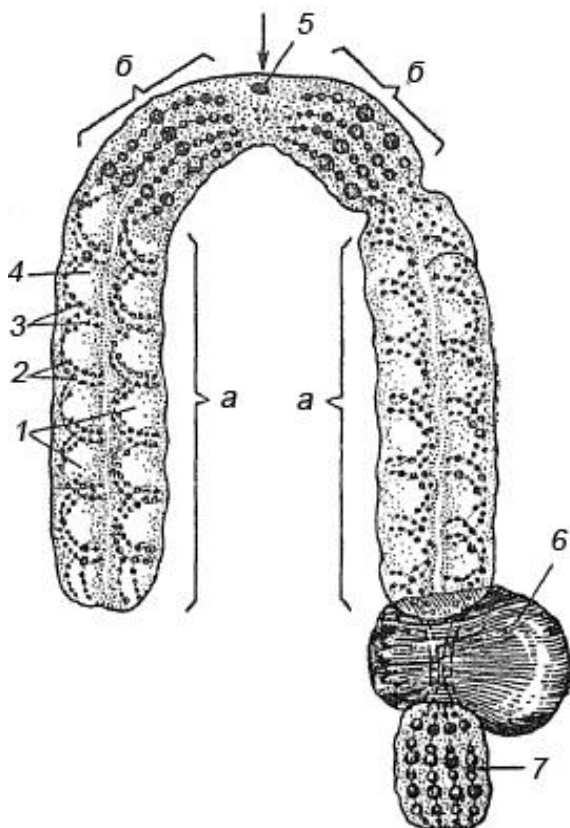


Рис. 1. Схема будови хромосоми

(а – еухроматинові та

б – гетерохроматинові ділянки):

1 – дві хроматиди, 2 – дві
хромонеми,

3 – хромомери, 4 – матрикс,

5 – первинна (кінетична) перетяжка
із центромерою, 6 – ядерце,

7 – супутник хромосоми

[Атабекова А.И, 1987, с.83].

Макроморфологічна структура хромосоми визначається *плечовим індексом* (I) – відношенням довшого плеча до короткого:

$$I = \frac{l_q}{l_k}$$

де l_q – розмір довгого плеча, l_k – розмір короткого плеча.

Якщо центромера розміщена посередині хромосоми ($I = 1 - 1,9$), то остання має V-подібну форму і називається *рівноплевою*, або *метацентричною* (m). Коли $I = 2,0 - 4,0$, то хромосома *субметацентрична* (s), а якщо I більше 5 – *acroцентрична* (a). Хромосоми, у яких I більше 8 називаються *телоцентричними*. (рис. 2).



Рис. 2 Типи метафазних хромосом:

а – метацентрична (рівноплева); б – субметацентрична; в – акроцентрична.

Крім форми при описанні хромосом приділяють увагу наявності супутників (форма й розмір), перетяжок.

Графічне (або фотографічне) зображення каріотипу з метою виявлення морфологічних відмінностей хромосом називають *каріограмою*. При цьому гомологічні хромосоми розташовують парами від найкрупніших до найдрібніших, а центромери перебувають на одній лінії. Графічне зображення хромосом з усіма структурно-морфологічними особливостями називають *ідіограмою*.

Особливості каріотипу можна записати у вигляді формули з використанням певних умовних позначень.

1. Довжина хромосом: L – довгі, M – середні, S – короткі.
2. Форма хромосом (нижній індекс): *m* – метацентрична, *s* – субметацентрична, *a* – акроцентрична, *p* – телоцентрична.
3. Наявність супутника (верхній індекс) – *t*.
4. Наявність вторинної перетяжки (верхній індекс) – *c*.
5. Кількість гомологічних пар хромосом у диплоїдному наборі зі схожими характеристиками – цифри перед буквами.

Для прикладу наведемо опис каріотипу купини (*Polygonatum odoratum*), $2n = 20$ (рис. 3):

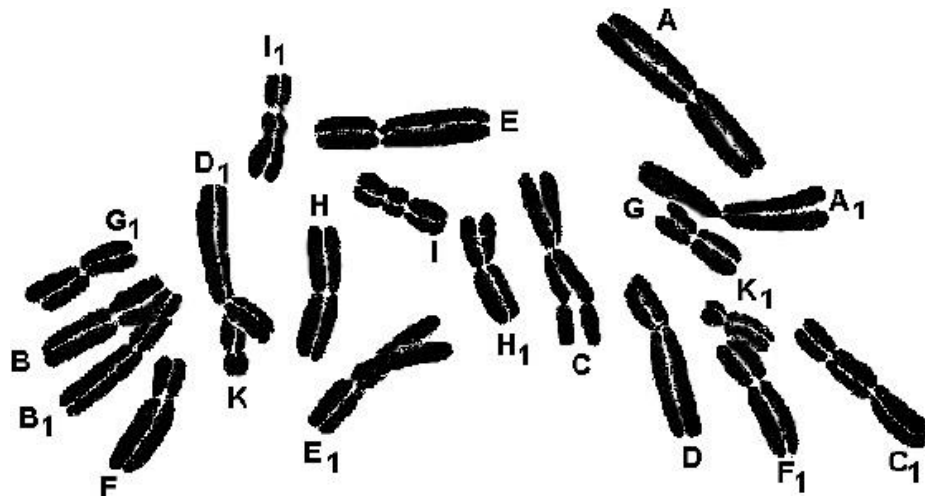


Рис. 3. Метафазна пластинка *Polygonatum odoratum*

(Абрамова Л.И., 1971)

Пари гомологічних хромосом послідовно позначаються великими літерами латинського алфавіту: AA₁, BB₁, CC₁ і т.д. Потім пари розбиваються на класи: L_m(AA₁), M_m(BB₁), M_{mc}(CC₁), M_s(DD₁, EE₁, FF₁), S_m(JJ₁, HH₁), S_{mc}(II₁) та S_a(KK₁). І нарешті, складається остаточна формула каріотипу даного виду:

$$K = 2n = 20 = 1L_m + 1M_m + 1M_m^c + 3M_s + 2S_m + 1S_m^c + 1S_a$$

Формули каріотипів зазвичай використовуються у каріосистематичних порівняннях видів.

Завдання.

1. Встановіть кількість хромосом на 5-10 метафазних пластинках мікропрепарату молодих корінців цибулі ріпчастої (жита, пшениці).
2. Позначте на відповідному рисунку в робочому зошиті особливості морфології умовної метацентричної хромосоми.
3. Встановіть морфологічні типи хромосом та зробіть підписи на відповідному рисунку в робочому зошиті.
4. Розгляньте мікрофотографії хромосом жита на стадії метафазної пластинки. Визначте морфометричні параметри кожної хромосоми жита та запишіть їх у відповідну таблицю робочого зошита.
5. Складіть формулу каріотипу жита та дайте йому словесну характеристику:
6. Запишіть у робочий зошит диплоїдні набори хромосом основних сільськогосподарських культур та запам'ятайте їх.
7. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Поясніть роль ядра і цитоплазми в спадковості.
2. Що таке хромосома та яка її будова? Які функції виконують хромосоми?
3. Дайте визначення поняття гаплоїдний, диплоїдний набори хромосом?
4. Охарактеризуйте основні поняття, пов'язані з каріотипом організмів.
5. Назвіть кількість хромосом у диплоїдному наборі основних сільськогосподарських культур (пшениця, ячмінь, кукурудза, горох та ін).
6. Висловіть свої судження щодо значення хромосомного аналізу в наукових дослідженнях та сільськогосподарській практиці?

Практична робота № 2

Тема. Розподіл ядерної спадкової інформації при мітозі.

Мета: навчитися розрізняти на мікропрепаратах та мікрофотографіях фази та стадії мітозу; встановити біологічне значення мітозу.

Обладнання та матеріали: мікроскопи, мікропрепарат "Мітоз у корінцях цибулі", мікрофотографії, таблиці.

Методичні рекомендації.

Клітинний цикл організму, що росте, складається із двох етапів: інтерфази та мітозу. Під час *інтерфази* реалізується спадкова інформація клітини, що проявляється у синтезі специфічних білків та утворенні в цитоплазмі спеціалізованих структур клітини (рис.4. А).

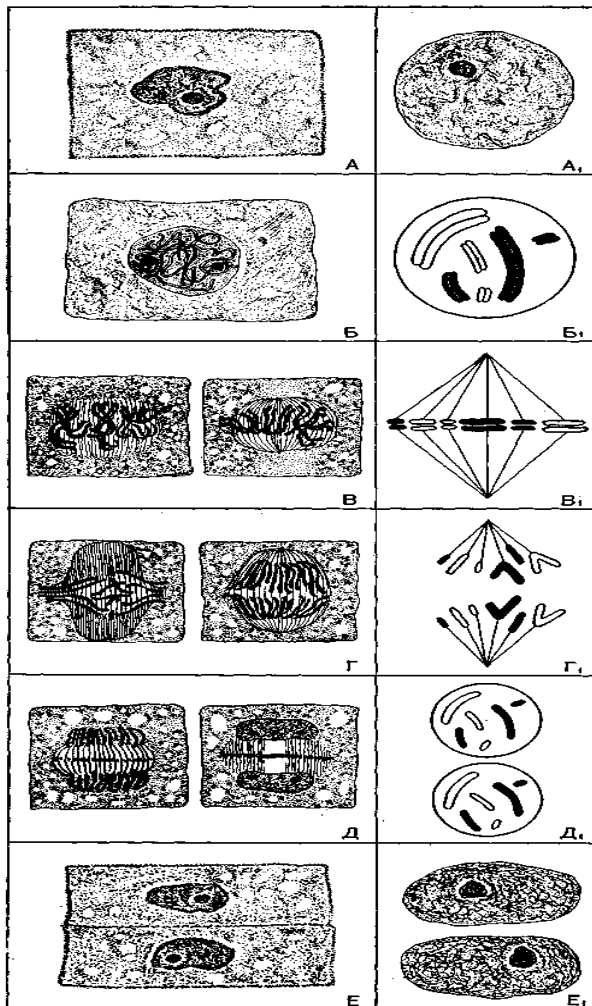


Рис. 4. Мітотичний поділ клітини кінчика корінця цибулі (зліва) та схема поділу матеріалу ядра при мітозі (праворуч):

А – клітина, що не ділиться, під час інтерфази;

Б – профаза мітозу: клітина готується до поділу, видно хромосоми, кожна з яких складається із двох хроматид;

В – метафаза мітозу: оболонка ядра розчиняється, хромосоми розміщуються в екваторіальній площині клітині, з'являються нитки веретена поділу;

Г – анафаза мітозу: хромосоми розходяться до полюсів клітини;

Д – телофаза мітозу: хромосоми деспіралізуються, утворюються ядра, з'являються ядерця.

Е – цитокінез: утворення оболонки між дочірніми клітинами.

Мітоз (каріокінез) – складний поділ соматичних клітин, у процесі якого відбувається передача спадкової інформації з точним її розподілом між новоутвореними клітинами. Розрізняють чотири морфологічні стадії мітозу: *профаза, метафаза, анафаза і телофаза* (рис. 4, Б-Д). Кожна з них характеризується певним станом клітини, розміром і поведінкою хромосом

Під час **профази** відбувається поляризація клітини шляхом розходження центріолей до її протилежних кінців й утворенням між центріолями веретена поділу. Хромосоми товщають і набувають вигляду подвійних ниток. У кінці профази ядерце зникає (рис. 4, Б).

Стадія метафази починається із зникнення ядерної оболонки (рис. 4, В). На цій стадії мітозу хромосоми переміщуються в екваторіальну площину веретена поділу, де зупиняються своїми центромерами. Разом з цим плечі хромосом можуть відхилятися від цієї площини в будь-який бік. На стадії метафази закінчується процес формування мітотичного апарату.

На **стадії анафази** сестринські хроматини хромосом роз'єднуються між собою. Цей процес відбувається синхронно. Після цього кожна з двох дочірніх хромосом починає рухатися до протилежного полюса клітини (рис. 4, Г). Рух хромосом до полюсів відбувається внаслідок скорочення ниток веретена поділу.

Стадія телофази – остання стадія мітозу (рис. 4, Д). Закінчується процес руху хромосом до протилежних полюсів клітини. Хромосоми починають деспіралізуватися. Процес їхньої деспіралізації супроводжується відновленням ядерної оболонки. В ядрах дочірніх клітин відновлюються ядерця. Утворюється клітинна перегородка (*стадія цитокінезу*) (рис. 4, Е).

У результаті мітозу утворюється два рівноцінних ядра, в яких генотипи в нормі повністю ідентичні. У цьому полягає генетичне значення мітозу. При вегетативному та безстатевому розмноженні, а також апоміксісі, в основі яких лежить мітоз, нащадки мають такий же генотип, як і батьківська особина.

Завдання:

1. В робочому зошиті дайте визначення таким термінам: клітинний цикл, мітоз, інтерфаза, біваленти.
2. Позначте органоїди рослинної клітини на відповідному рисунку в робочому зошиті. Укажіть, у яких структурах містяться хромосоми та дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК).
3. Розгляньте схему «Клітинний цикл» та підпишіть його етапи. Вкажіть особливості будови хромосом (моно- чи дихроматидні) та кількість ДНК у них: нереплікована(2с) чи реплікована (4с).
4. Розгляньте схему мітозу, підпишіть кожен з циклів та дайте йому коротку характеристику, зробивши акцент на поведінці носіїв спадкової інформації - хромосомах.
5. Поясніть генетичну суть мітозу.
6. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Що означають такі терміни: мітоз, інтерфаза, зигота, ядро?
2. На яких стадіях мітозу хромосоми добре видно?
3. Коли відбувається редуплікація (подвоєння) хромосом?
4. У чому полягає генетичне та загальнобіологічне значення мітозу?

Практична робота № 3

Тема. Розподіл ядерної спадкової інформації при мейозі.

Мета: навчитися відрізняти на мікропрепаратах фази і стадії мейозу.

Обладнання та матеріали: мікроскопи, мікропрепарати, мікрофотографії.

Методичні рекомендації.

Мейоз – особливий спосіб поділу клітин, внаслідок якого відбувається редукція числа наборів хромосом удвічі ($2n \rightarrow n$). Він забезпечує незалежну рекомбінацію генів та рівномірний розподіл генетичного матеріалу в ряді поколінь організмів.

Мейоз складається з двох послідовних поділів клітини: редукційного (мейоз I) та еквацийного (мейоз II) з короткою інтерфазою (*інтеркінез*) між ними (без реплікації ДНК). Кожний з поділів має профазу, метафазу, анафазу, телофазу.

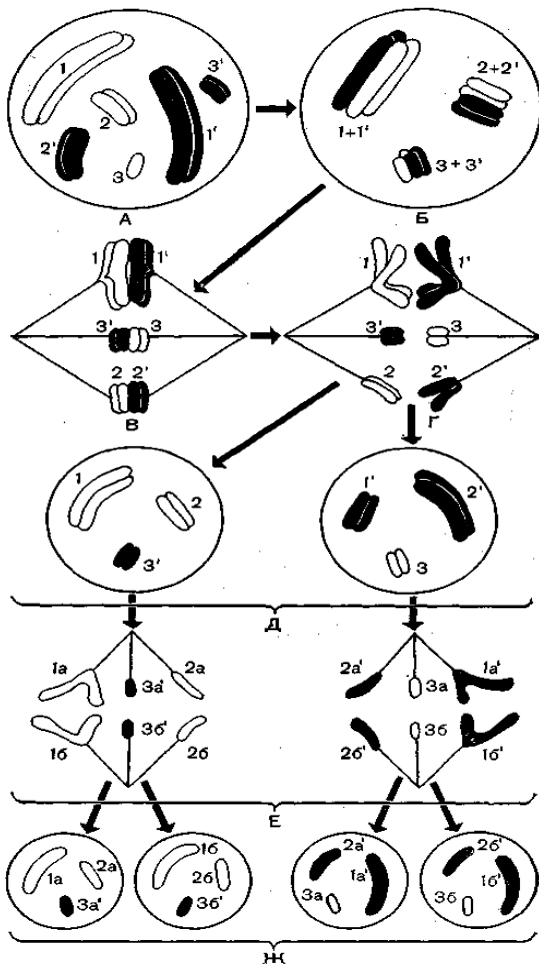


Рис. 5. Схема поведінки "умовної" клітини ($2n=6$) при мейозі:

а – диплоїдне ядро з гомологічними хромосомами. Хромосоми, одержані від яйцеклітини – світлі (1,2,3); від спермія – темні (1',2',3').

б – кон'югація гомологічних хромосом;

в – метафаза;

г – анафаза;

д – завершення першого поділу (два ядра з гаплоїдним набором хромосом);

е, є – еквацийний поділ (утворення гаплоїдних клітин).

Профаза I за морфологічними змінами хромосомного матеріалу ділиться на п'ять стадій: лептотену, зиготени, пахітени, диплотени та діакінезу.

У *лептотені* хромосоми мають у вигляді розрихленого клубка; кожна з них складається з двох хроматид.

У *зиготені* відбувається кон'югація (з'єднання) гомологічних хромосом, внаслідок чого утворюються біваленти, кількість яких відповідає гаплоїдному числу хромосом.

У *пахітені* відбувається кросинговер – перехрест хромосом, внаслідок якого проходить обмін ідентичними ділянками гомологічних хромосом (рис. 6).

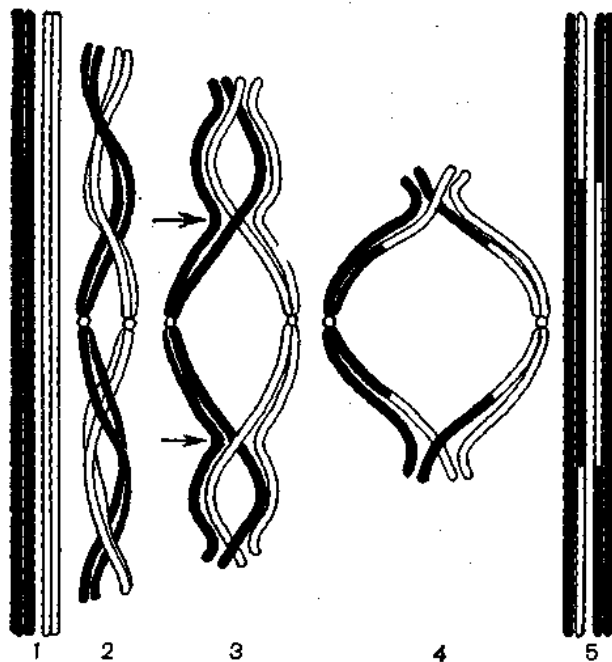


Рис. 6. Схема кросинговеру під час мейозу:

- 1 – дві гомологічні хромосоми;
- 2 – кон'югація гомологічних хромосом;
- 3 – розходження хромосом, їх зчеплення в окремих ділянках (стрілками показано місця, де можливий кросинговер);
- 4 – розходження хромосом (хроматини обмінялися ділянками);
- 5 – рекомбінантні хромосоми.

Диплотена розпочинається взаємним відштовхуванням гомологічних хромосом та появою хіазм – х-подібних фігур хромосом.

У *діакінезі* відбувається спіралізація хромосом, число хіазм зменшується. Руйнується ядерна мембрана і розпочинається метафаза I.

Метафаза I. На цій стадії зникають ядерця, хромосоми максимально спіралізуються. Біваленти розміщуються по екватору веретена, утворюючи екваторіальну пластинку.

Анафаза I. Хромосоми кожної гомологічної пари незалежно розходяться до полюсів клітини. Відбувається рекомбінація та редукція хромосом ($2n \rightarrow n$).

Інтеркінез – короткий період між I та II поділами мейозу. Він протікає без будь-яких змін у клітинах.

У II (екваційному) поділі мейозу виділяють ті самі стадії – профазу II, метафазу II, анафазу II, телофазу II, які протікають як і при мітозі. Проте, на відміну від мітозу, екваційний поділ мейозу не дає генетично рівноцінних ядер.

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: мейоз, редукція хромосом, кросинговер, хіазми.

2. Розгляньте послідовні стадії мейозу. Підпишіть і дайте їм короткі характеристики.

3. Зробіть порівняльну характеристику мітозу й мейозу. Заповніть табл.
1. у робочому зошиті.

4. Впишіть у робочому зошиті формули вмісту генетичного матеріалу (n чи $2n$, $2c$ чи $4c$) у різні стадії клітинного циклу, фази мітозу та мейозу.

5. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Скільки поділів відбувається під час мейозу?
2. Яка різниця у поведінці гомологічних хромосом при мітозі та мейозі.
3. Що таке хіазми? На якій стадії вони помітні?
4. Що таке кросинговер? На якій стадії мейозу він відбувається?
5. Значення мейозу в передачі спадкової інформації?
6. Поясніть суть комбінаторики спадкового матеріалу.

Практична робота № 4

Тема. Гаметогенез і подвійне запліднення у рослин.

Мета: вивчити спорогенез, гаметогенез та подвійне запліднення у квіткових рослин.

Обладнання та матеріали: мікрофотографії, початки кукурудзи з ксенійними зернівками.

Методичні рекомендації.

Гаметогенез – процес розвитку і формування статевих клітин – гамет. У його основі лежать процеси мейозу й мітозу, в який вступають спеціалізовані диплоїдні клітини. У рослин гаметогенез складається з двох етапів:

- спорогенезу – утворення гаплоїдних клітин – спор;
- мітотичний поділ гаплоїдних клітин і утворення гамет.

Мікроспорогенез – це процес утворення в материнських (археспоріальних) клітинах пиляків внаслідок мейозу малих спор (мікроспор).

Мікрогаметогенез – це процес утворення пилькових зерен шляхом двох мітотичних поділів мікроспор.

Мегаспорогенез – це процес утворення в археспоріальних клітинах насінних зачатків внаслідок мейозу тетради мегаспор.

Мегагаметогенез – це процес утворення зародкового мішка шляхом трьох мітотичних поділів мегаспори.

Загальна схема мікро– та мегагаметогенезу в рослин показана на рис. 7.

Подвійне запліднення – статевий процес у покритонасінних рослин, що здійснюється у зародковому мішку (рис. 8). При цьому відбувається злиття одного спермія з ядром центральної клітини або з одним із полярних ядер. Із заплідненої яйцеклітини (зиготи) розвивається зародок, а із заплідненого ядра центральної клітини – ендосперм.

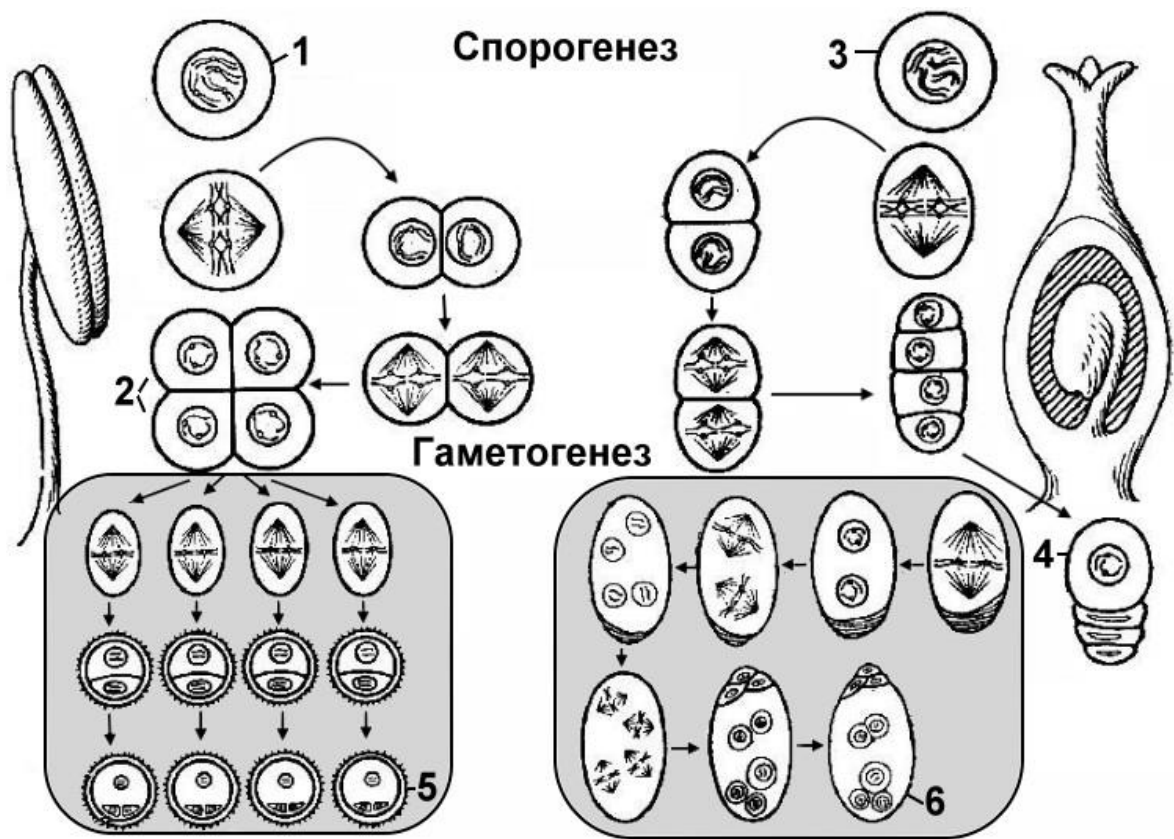


Рис.7. Утворення пилкових зерен та зародкових мішків у квіткових рослин:

- 1 – материнська клітина мікроспори; 2 – тетрада мікроспор;
 3 – материнська клітина макроспор; 4 – дегенерація трьох макроспор;
 5 – зріле пилкове зерно; 6 – зрілий зародковий мішок.

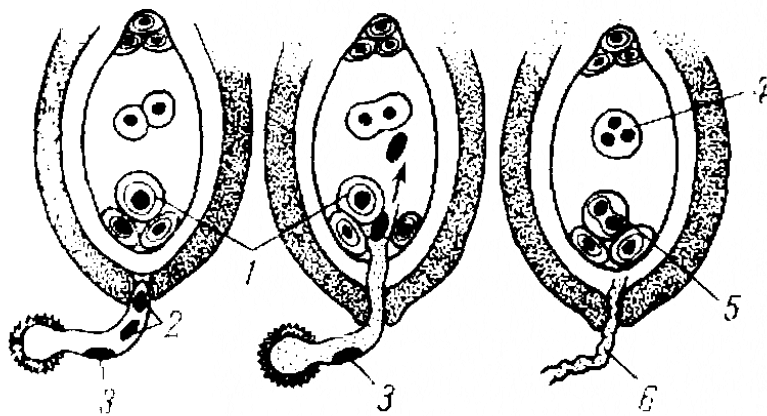


Рис. 8. Процес запліднення у квіткових рослин:

- 1 – яйцеклітина; 2 – ядра сперміїв; 3 – ядро пилкової трубки; 4 – триплоїдне ядро ендосперма; 5 – диплоїдна зигота; 6 – зморщена пилкова трубка. Один спермій запліднює яйцеклітину, інший – центральне ядро.

Відкриття подвійного запліднення зробив С.Г. Навашин у 1898 році. З подвійним заплідненням пов'язана генетична природа *ксенійності* – явища прояву ознак батьківської рослини у гібридного насіння та плодів.

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: гаметогенез, мікроспорогенез, мікрогаметогенез, мегаспорогенез, мегагаметогенез, подвійне запліднення.
2. Ознайомтесь із рисунками і схемою мейозу у пиляках рослин. Розгляньте клітини, що знаходяться на різних фазах мейозу на постійних мікропрепаратах. У робочому зошиті зобразіть схему мікроспорогенезу та мікрогаметогенезу.
3. Ознайомтесь із окремими стадіями макроспорогенезу та макрогаметогенезу на рисунках і постійних препаратах. Зобразіть схему формування тетради гаплоїдних макроспор та 8-ядерного зародкового мішка.
4. Розгляньте та зарисуйте у робочому зошиті схему подвійного запліднення, розвитку зародка та ендосперму у рослин.
5. Ознайомтесь із явищем ксенійності на зернівках качанів кукурудзи. Дайте пояснення цьому явищу з генетичної точки зору.
6. Розв'яжіть генетичні задачі (за вказівкою викладача).
7. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Що означають терміни: “вегетативна клітина”, “генеративна клітина”?
2. У яких органах відбувається мікроспорогенез і макроспорогенез?
3. Чому подвійне запліднення у рослин одержало таку назву? Яке біологічне значення подвійного запліднення?

Практична робота № 5

Тема. Структура і функції нуклеїнових кислот.

Мета: визначити структурні та функціональні особливості нуклеїнових кислот, їх роль у збереженні та передачі спадкової інформації в клітині.

Обладнання та матеріали: таблиці, моделі ДНК, РНК, мікрофотографії.

Методичні рекомендації.

Нуклеїнові кислоти – високомолекулярні сполуки (біологічні полімери), що забезпечують збереження та передачу спадкової інформації. Вони представлені двома типами: дизоксирибонуклеїною (ДНК) і рибонуклеїновими кислотами (РНК).

Мономерами нуклеїнових кислот є *нуклеотиди* (рис. 9). Кожний нуклеотид містить гетероциклічне кільце з атомів вуглецю та азоту (азотиста основа), п'ятивуглецеве цукрове кільце (пентоза) та залишок фосфорної кислоти (фосфат). Одні й ті ж пурини (аденін і гуанін) входять до складу ДНК і РНК. Два піримідини (цитозин і тимін) входять до складу ДНК. У РНК замість тиміну є урацил.

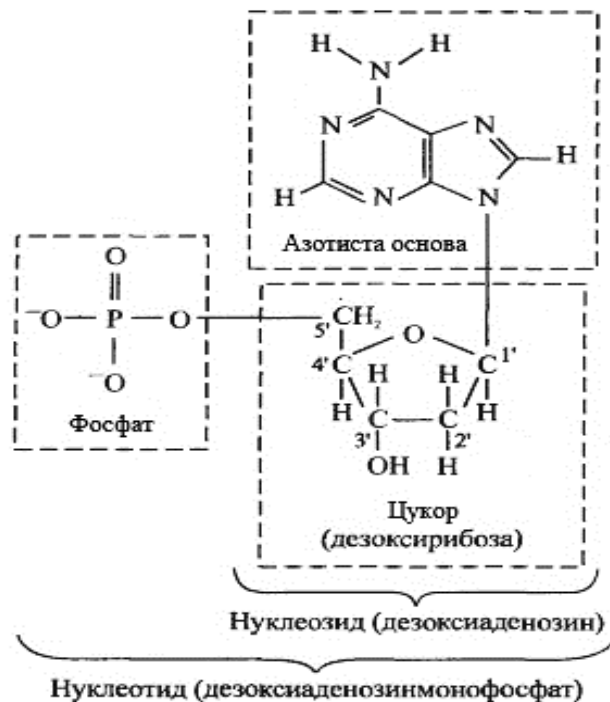


Рис. 9. Будова нуклеотиду ДНК

У структурному плані ДНК складається з двох поліпептидних ланцюгів, закручених у спіраль, що з'єднуються між собою азотистими основами за правилом комплементарності (правило Чаргаффа) (рис. 10).

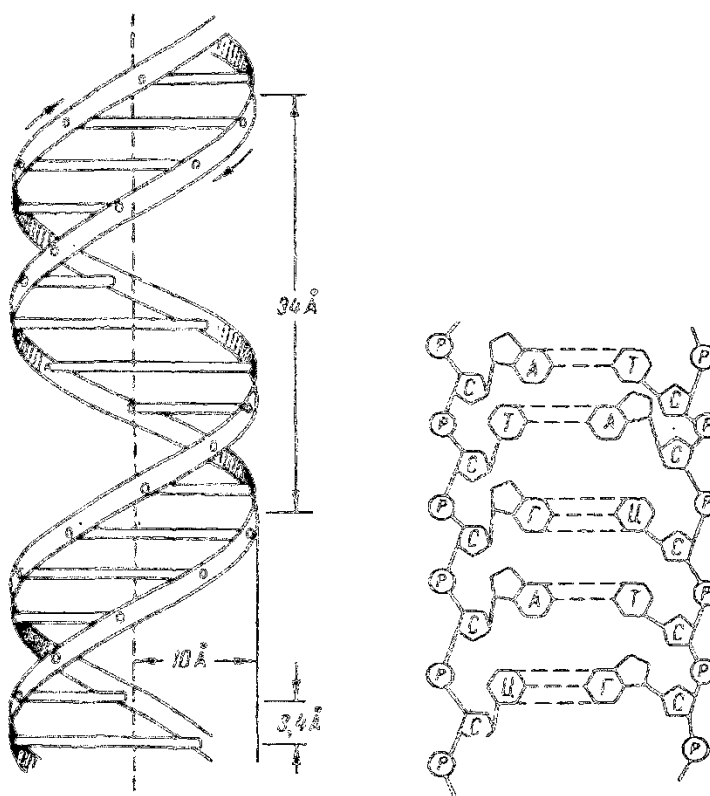


Рис. 10. Будова молекули ДНК:

a – схема двониткової спіралі; *б* – структура складових компонентів фрагмента молекули ДНК. Символами *A, Г, T, Ц* позначені азотисті основи, символом *Р* – залишок фосфорної кислоти, символом *С* – цукор дезоксирибоза.

Існують три типи РНК: *інформаційна*, або *матрична* (і-РНК), *транспортна* (т-РНК) та *рибосомна* (р-РНК). РНК має односпіральну структуру.

Принцип комплементарності лежить в основі здатності молекули ДНК до самоподвоєння (*реплікації*). Реплікація ДНК відбувається у декілька етапів:

- розрив водневих зв'язків між двома нуклеотидними ланцюгами та розділення останніх;
- деспіралізація нуклеотидних ланцюгів;

- синтез уздовж кожного із ланцюгів з комплементарною послідовністю азотистих основ.

Таким чином, з вихідної ДНК утворюється дві дочірні копії з ідентичною структурою, кожна з яких зберігає один ланцюг вихідної спіралі ДНК, а інший синтезується. Такий спосіб самовідтворення ДНК називається *напівконсервативною реплікацією* (рис. 11).

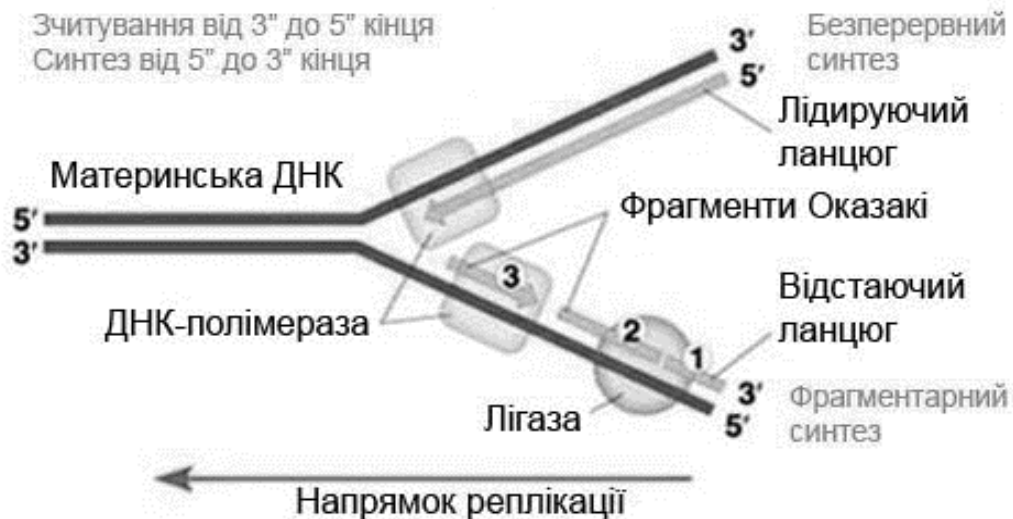


Рис. 11. Схема напівконсервативного способу синтезу ДНК:

Генетична інформація про ознаки та властивості організму записана в генах. *Ген* являє собою ділянку молекули ДНК. Він містить інформативні ділянки (*екзони*) та неінформативні (*інтрони*). Генетична інформація кодується завдяки певній послідовності нуклеотидів у генах і реалізується у вигляді синтезу білкового ланцюга. Таким чином, ДНК зберігає спадкову інформацію та забезпечує її передачу від материнської клітини дочірній.

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: ДНК, ДНК-полімераза, комплементарність азотистих основ, нуклеїнові кислоти, нуклеотид, нуклеосома, реплікація, РНК.
2. Зобразіть схеми хімічної будови ДНК та РНК.
3. Охарактеризуйте основні типи РНК.

4. Зробіть висновки про відмінності в будові та функціях між ДНК та РНК. Оформіть висновки у відповідну таблицю в робочому зошиті.
5. На схемі реплікації ДНК у робочому зошиті позначте компоненти (ферменти, білки та ін.), що беруть участь у цьому процесі.
6. Розв'яжіть генетичні задачі (за вказівкою викладача).
7. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Що таке нуклеїнові кислоти? Які функції вони виконують?
2. Поясніть механізм утворення подвійної спіралі ДНК.
3. Напишіть і поясніть правило Чаргаффа.
4. Назвіть основні відмінності (структурні та функціональні) між ДНК та РНК.
5. Як і коли відбувається самоподвоєння ДНК? Чому цей процес називають напівконсервативним?

Практична робота № 6

Тема. Реалізація спадкової інформації через білковий синтез.

Мета: з'ясувати сутність процесу біосинтезу білка та його роль у реалізації спадкової інформації клітини.

Обладнання та матеріали: моделі білкової молекули, ДНК, РНК, таблиця генетичного коду.

Методичні рекомендації.

Білки як біологічні полімери складаються з амінокислот і визначають відмінності організмів. Двадцять амінокислот можуть утворити 10^{24} комбінацій білків, що і створює практично необмежене різноманітність ознак і властивостей організмів. Утворення конкретної амінокислоти кодується триплетами нуклеотидів (*кодонами*) (три нуклеотиди – одна амінокислота). Така послідовність розташування азотистих основ ДНК (триплетів), що визначає види й послідовність розташування амінокислот у білку, називається *генетичним кодом*. Генетичний код – єдина для всіх живих організмів система збереження спадкової інформації у молекулах нуклеїнових кислот. Експериментально встановлено склади триплетів ДНК та і-РНК, які кодують відповідні амінокислоти, що записується у вигляді таблиці генетичного коду (додаток 2).

Генетична (спадкова) інформація реалізується в клітині у два етапи (рис.12):

I етап – *транскрипція* - переписування послідовності нуклеотидів гена ДНК у відповідну комплементарну послідовність нуклеотидів і-РНК за активної участі ферменту ДНК-залежної РНК-полімерази. В процесі остаточного дозрівання новоствореної і-РНК відбувається *сплайсинг* – видалення інтронів та зшивання екзонів у функціонально безперервну молекулу.

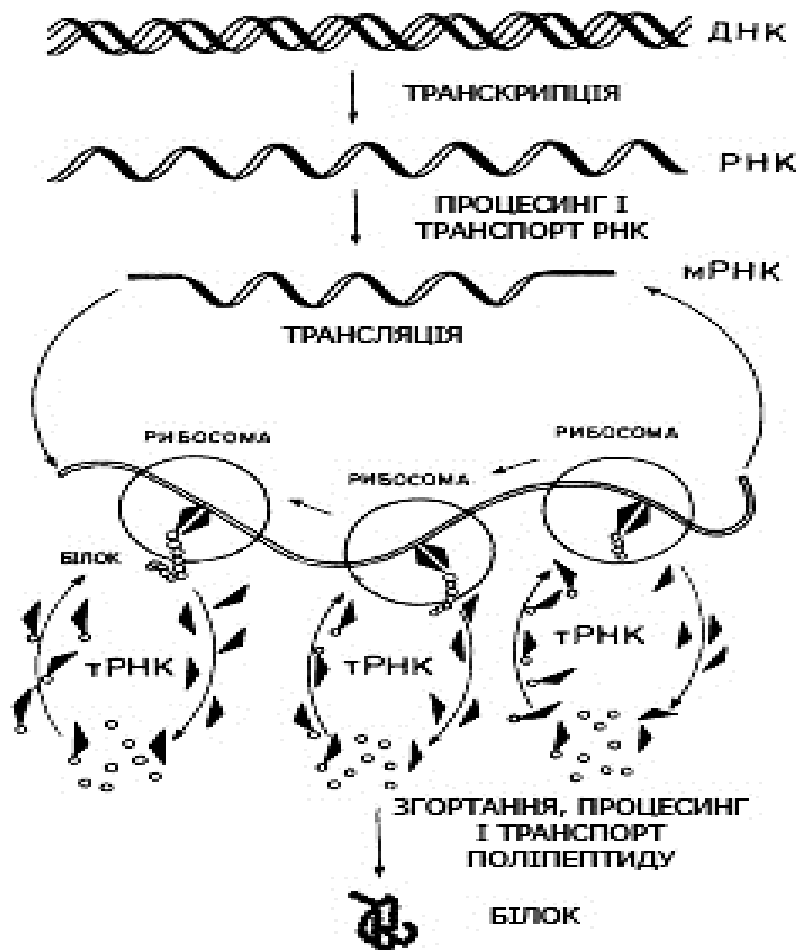


Рис. 12. Схема білкового синтезу

II етап – *трансляція* – процес переведення нуклеотидної послідовності і-РНК в амінокислотну послідовність білкової молекули, що відбувається в рибосомах. Транспортна РНК(тРНК) доставляє відповідні амінокислоти до місця складання пептидних ланцюгів. Молекула тРНК – це відносно невелика (60–120 нуклеотидів) структура, що нагадує за формою лист конюшини, в якій виділяють дві найбільш важливі зони – акцепторну і антикодон. До акцепторної зони тРНК приєднується і транспортується відповідна амінокислота. За допомогою антикодону тРНК за принципом комплементарності визначає собі місце на мРНК, визначаючи черговість приєднання амінокислоти у поліпептидному ланцюжку.

Процес взаємодії мРНК і тРНК, що забезпечує трансляцію інформації з мови нуклеотидів на мову амінокислот, здійснюється на рибосомах.

Рибосоми – це складні комплекси рибосомної РНК (рРНК) і різноманітних білків. Рибосомна РНК забезпечує зв'язування рибосоми з певною нуклеотидною послідовністю мРНК, встановлюючи початок і рамку зчитування при утворенні пептидного ланцюга. Крім того, вони забезпечують взаємодію рибосоми з тРНК.

Трансляція проходить у чотири стадії: *активації* молекул амінокислот, *ініціації* синтезу білка, *елонгації* (подовження) пептиду та *термінації* (закінчення синтезу поліпептидного ланцюга). Механізм трансляції полягає в тому, що три нуклеотиди т-РНК (антикодон) утворюють комплементарний зв'язок з трьома нуклеотидами і-РНК (кодоном) і визначають місцезоташування приєднаної до т-РНК амінокислоти в первинній структурі білка. Синтез поліпептидного ланцюга припиняється, коли рибосома "зустрінеється" з *нонсенс-кодонами* (УАА, УАГ або УГА), які не кодують амінокислот, а визначають кінець синтезу білка.

Задачі з молекулярної генетики 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 використовуються правила Е. Чаргаффа:

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) у.о.м.
(умовних одиниць маси),

M_r (середня) амінокислоти = 100 у.о.м.

ΔL між двома сусідніми нуклеотидами = 0,34 нм.

1 нанометр = 10^{-9} м, ΔR між АК = 0,35 нм (АК – амінокислоти).

$L_{\text{гена}} = \Delta L_{\text{нукл.}} \cdot (N_{\text{нукл.}} - 1)$, де N – загальна кількість нуклеотидів.

Час однієї операції трансляції = 1/5 або 1/6 сек.

Швидкість елонгації (ріст ланцюгу мРНК) 50 нукл. за секунду.

При розв'язанні задач першого типу треба пам'ятати властивості генетичного коду:

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 коду – 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 мРНК) 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.

Приклади розв'язування задач:

Задача 1.

Довжина фрагмента ДНК 680 нм. Визначте кількість азотистих основ (нуклеотидів) у даному фрагменті.

Дано: ген	Розв'язання
$L(\text{гена}) = 680 \text{ нм}$	$(N \text{ нукл.}) = L(\text{гена}) / \Delta L(\text{нукл.})$
$N_{\text{нукл.}} = ?$	$(N \text{ нукл.}) = 680 \text{ нм} / 0,34 \text{ нм} = 2000 \text{ нукл. (в 1-му ланцюзі ДНК).}$
$\Delta L(\text{нукл.}) = 0,34 \text{ нм}$	$2000 \times 2 = 4000 \text{ нукл. (у двох ланцюгах ДНК).}$

Відповідь: у фрагменті ДНК довжиною 680 нм міститься 4000 нуклеотидів (азотистих основ).

Задача 2.

У молекулі ДНК частка цитиділових нуклеотидів складає 18 % від загальної їх кількості. Визначити, який відсоток становлять інші нуклеотиди, що входять у молекулу ДНК.

Дано:	Розв'язання
$\%(\text{Ц нукл.}) \text{ ДНК} = 18$	1. $\%(\text{Ц}) = \%(\text{Г}) = 18$ (за принципом комплементарності)
$N(\text{Т}) - ? \quad N(\text{Ц}) - ? \quad N$	$\%(\text{А}) = \%(\text{Т}) = [100\% - \%(\text{Ц} + \text{Г})] / 2$
	$\%(\text{А}) = \%(\text{Т}) = (100 - 36) / 2 = 32 \%$

Відповідь: $\%(\text{Ц}) = \%(\text{Г}) = 18$, $\%(\text{А}) = \%(\text{Т}) = 32$.

Задача 3.

Фрагмент структурної частини ДНК включає 100 молекул дезоксиаденозинфосфату (аденілових нуклеотидів), що становить 25 % загальної кількості нуклеотидів. Яка довжина даного фрагменту.

Дано:	Розв'язання
$N(\text{А}) = 25 \%$	1. Визначимо загальну кількість нуклеотидів фрагменту ДНК:
$L(\text{нукл.}) = 0,34 \text{ нм}$	$100 : 0,25 = 400 \text{ (нуклеотидів)}$
$L(\text{ДНК}) - ?$	2. Визначимо кількість пар нуклеотидів фрагменту ДНК
	$400 : 2 = 200 \text{ (пар нуклеотидів)}$
	3. Визначимо довжину фрагменту ДНК (L).
	$L = 200 \times 0,34 = 68 \text{ (нм).}$

Відповідь: фрагмент ДНК має довжину 68 нм.

Задача 4.

Фермент ДНК-полімераза синтезує комплементарний ланцюжок за ДНК-матрицею. Визначте послідовність азотистих основ у синтезованому ланцюзі,

виходячи з такої послідовності їх у вихідній молекулі:

A-A-Ц-Г-Г-A-T-T-T-Ц-A-Ц-Ц-T-T-A-Г-Г-Ц-Ц-T-A

Дано:	Розв'язання
Ланцюг ДНК-матриці:	За принципом комплементарності:
A-A-Ц-Г-Г-A-T-T-T-Ц-A-Ц-Ц-T-T-A-Г-Г-Ц-Ц-T-A	A=T, Г=Ц
Склад комплементарного ланцюга ДНК – ?	Ланцюг ДНК-матриці:
	A-A-Ц-Г-Г-A-T-T-T-Ц-A-Ц-Ц-T-T-A-Г-Г-Ц-Ц-T-A
	Новий ланцюг, що синтезує ДНК-полімераза:
	T-T-Г-Ц-Ц-T-A-A-A-Г-T-Г-Г-A-A-T-Ц-Ц-Г-Г-A-T

Відповідь: послідовність азотистих основ у синтезованому ланцюзі ДНК: T-T-Г-Ц-Ц-T-A-A-A-Г-T-Г-Г-A-A-T-Ц-Ц-Г-Г-A-T.

Задача 5.

Білок складається з 150 амінокислотних залишків. Визначте:

а) масу даного поліпептиду і б) масу гена, що його кодує.

Дано:	Розв'язання
білок	1) $M_r(\text{поліп.}) = M_r(\text{амін.}) \cdot n(\text{амін.})$
$n(\text{амін.}) = 150$	$M_r(\text{поліп.}) = 100 \times 150 = 15000$
1) $M_r(\text{поліп.})$ – ?	2) $n(\text{нукл.}) = 3 \cdot n(\text{амін.}) = 450$
2) $M_r(\text{гена})$ – ?	$n(\text{нукл.}) = 3 \cdot 150 = 450$
3) 1 АК=3 нукл.	3) $M_r(\text{гена}) = n(\text{нукл.}) \times M_r(\text{нукл.})$
4) $M_r(\text{амін.}) \approx 100$	$M_r(\text{гена}) = 450 \cdot 300 \cdot 2 = 270000$
5) $M_r(\text{нукл.}) \approx 300$ – 345	

Відповідь: а) $M_r(\text{поліпептиду}) = 15000$; б) $M_r(\text{гена}) = 270000$.

Задача 6.

Ген складається з 15 тис. нуклеотидів. Визначте час трансляції поліпептида, який шифрується даним геном.

Дано:	Розв'язання
Ген;	1) Визначаємо кількість амінокислотних залишків в поліпептиді: 1 АК=3 нукл.
$n(\text{нукл.}) = 15000$	$n(\text{амінок.}) = \frac{n(\text{нукл.})}{3} = \frac{15000}{3} = 5000$
$t(\text{трансляції})$ – ?	2) $t(\text{трансляції}) = \Delta t(\text{трансл.}) \cdot n(\text{амінокислот})$
$\Delta t(\text{трансл.}) = \frac{1}{5\text{сек}}$	$t(\text{трансляції}) = \frac{1}{5\text{сек}} \cdot 5000 = 1000\text{сек}$

Відповідь: час трансляції = 1000 сек.

Задача 7.

Дана ділянка ланцюга ДНК: АТГ-АЦЦ-ГАЦ-АЦГ-ЦАЦ-АЦА-ААА-АТА.
Визначте: а) триплети (кодони) мРНК, що транскрибуються на основі даного гена; б) первинну структуру білка, що кодується цим геном; в) триплети (антикодони) тРНК, які беруть участь у синтезі цього білка.

Розв'язування:

1. Ділянка ДНК: АТГ-АЦЦ-ГАЦ-АЦГ-ЦАЦ-АЦА-ААА-АТА

транскрипція (принцип комплементарності)

мРНК: УАЦ-УГГ-ЦУГ-УГЦ-ГУГ-УГУ-УУУ-УАУ

трансляція

білок: тир – три – лей – цис – вал – цис – фен – тир

2. Згідно принципу комплементарності знаходимо відповідність антикодонів т-РНК кодуючим ділянкам м-РНК:

мРНК: УАЦ-УГГ-ЦУГ-УГЦ-ГУГ-УГУ-УУУ-УАУ

тРНК: АУГ; АЦЦ; ГАЦ; АЦГ; ЦАЦ; АЦА; ААА; АУА

Відповідь: а) УАЦ-УГГ-ЦУГ-УГЦ-ГУГ-УГУ-УУУ-УАУ;

б) тир-три-лей-цис-вал-цис-фен-тир; в) антикодони тРНК: АУГ; АЦЦ; ГАЦ; АЦГ; ЦАЦ; АЦА; ААА; АУА.

Задача 8.

Наведіть графічну модель гена, якщо білкова молекула має наступний склад і послідовність амінокислот: *гліцин-лізин-пролін-серин*.

Запишемо можливу послідовність нуклеотидів відповідної ділянки іРНК у відповідності з генетичним кодом, наведеним у таблиці 1.

Білок: *гліцин* *-лізин* *-пролін* *-серин* (для серину використали лише 4 триплети)

іРНК	ГГУ	ААА	ЦЦУ	УЦУ	
	ГГЦ	ААГ	ЦЦЦ	УЦЦ	
	ГГА		ЦЦА	УЦА	
	ГГТ		ЦЦГ	УЦГ	
	4	× 2	× 4	× 4	= 128

Як бачимо, ділянка білка із такою послідовністю амінокислот могла синтезуватися у процесі трансляції із 128 варіантів іРНК. Як відомо, іРНК переписує інформацію про структуру білка в процесі транскрипції з гена. Отже, така різноманітність із 128 іРНК могла утворитися на основі такої ж кількості генів.

Одним із можливих варіантів гена є наступний:

іРНК:	ГГУ	ААА	ЦЦУ	УЦУ
Ген ДНК:	ЦЦА	ТТТ	ГГА	АГА

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: кодон (триплет), генетичний код, транскрипція, екзон, інтрон, сплайсинг, трансляція.
2. Встановіть етапи та головні фактори реалізації спадкової інформації в еукаріотичній клітині. Позначте їх на схемі у робочому зошиті.
3. Розв'яжіть генетичні задачі (за вказівкою викладача).
4. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Що таке первинна структура білка?
2. Що таке генетичний код? Які його властивості?
3. Які особливості транскрипції в еукаріот?
4. Які особливості процесу трансляції у еукаріот?
5. У чому полягає центральна догма молекулярної біології?
6. Чим зумовлена різноманітність фізико-хімічних властивостей білків?

МОДУЛЬ II. Закономірності успадкування ознак при внутрішньовидовій гібридизації

Практична робота №7

Тема. Успадкування ознак при моногібридному схрещуванні.

Мета: поглибити знання закономірностей моногібридного схрещування, навчитися вирішувати основні типи генетичних задач.

Методичні рекомендації.

Основним способом генетичного аналізу є *гібридологічний метод* або метод схрещування. *Моногібридним* називається схрещування, при якому батьківські форми відрізняються за однією парою альтернативних ознак. Інші ознаки не враховуються. Для аналізу розщеплення гібридів використовують *решітку Пеннета*.

Гамети	A	a
	Генотипи F_2	
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Розв'язуючи генетичні задачі слід користуватися загальноприйнятими символами.

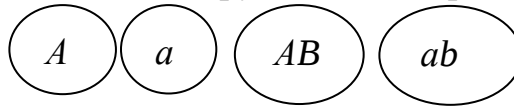
1. Схрещування позначають знаком $\times$, материнську форму – ♀ , батьківську – ♂ .

2. Батьківські форми, взяті для схрещування, позначають латинськими літерами PP (*parentis* – батьки).

3. Потомство, одержане від схрещування батьківських форм, називають гібридами і позначають лат. літерою F (*fili* – діти). Гібриди першого покоління позначають лат. літерою F_1 , другого – F_2 , третього – F_3 .

4. Алель, що зумовлює прояв домінантної ознаки, позначають великою літерою латинського алфавіту – A , B , C і т.д., а рецесивну алель – малими літерами – a , b , c .

5. Гамети позначають кружечком, всередині якого вписано відповідний алель чи алелі:



6. Розв'язуючи генетичні задачі необхідно:

6.1. Зробити скорочений запис умови за допомогою генетичної символіки;

6.2. Подати аргументоване введення генів та визначення на їх основі фенотипу;

6.3. Відповісти на всі поставлені запитання.

Дозволяється скорочений запис ознак організмів: чорний – чорн., білий – біл. і т.п. Для визначення числа класів гібридних особин за фенотипом і генотипом та характером розщеплення в F_2 при різній кількості пар ознак доцільно користуватися спеціальними формулами (додаток 3).

Розв'язуючи задачі на моногібридне схрещування слід пам'ятати, що генотип особини з рецесивними ознаками можна визначити одразу, адже він проявляється в гомозиготному стані (aa). Фенотипний прояв домінантних ознак можливий як у гомозиготному (AA), так і в гетерозиготному стані (Aa).

Приклад 1. У помідорів червоне забарвлення плоду (A) домінує над жовтим (a). Вкажіть генотипи, фенотипи та їх співвідношення в наступних схрещуваннях: $AA \times aa$, $Aa \times aa$, $aa \times aa$, $Aa \times AA$.

Скорочений запис умови задачі.

1. $AA \times aa$

За умовою A – червоне забарвлення, a – біле. Таким чином, рослина з генотипом AA має червоні плоди, а з генотипом aa – жовті. Гамети від AA тільки A , від aa – a , тому всі нащадки матимуть генотип Aa , а за фенотипом будуть червоноплідними.

2. $Aa \times aa$

Згідно з умовою Aa має червоні плоди, aa – жовті. Гамети від Aa – A і a у рівному співвідношенні (правило чистоти гамет), від aa – тільки a . Половина нащадків з генотипом Aa матимуть червоні плоди, а половина з генотипом aa – жовті.

3. $aa \times aa$

Згідно з умовою aa – жовтоплідні. Гамети в обох батьків тільки a , тому всі нащадки будуть з генотипом aa і з жовтими плодами.

4. $Aa \times AA$

За умовою задачі Aa і AA – червоноплідні. Гамети: від Aa – A та a , від AA – тільки A . Таким чином, половина нащадків буде з генотипом Aa , а половина – AA , але всі вони будуть з червоними плодами.

Приклад 2. У помідорів нормальна висота рослин A домінує над карликовістю a . Визначити генотипи вихідних рослин, якщо в їх потомстві спостерігалось розщеплення за цими ознаками у співвідношенні 3:1.

Скорочений запис умови задачі.

Помідори. Успадкування висоти рослин.

PP норм. $\times$ карл.

F_1 3 норм: 1 карл.

Розв'язання.

1. Розщеплення в першому поколінні свідчить про гетерозиготність батьків.

2. Розщеплення 3:1 відповідає моногібридному схрещуванню.

3. Оскільки нормальна висота рослин A домінує над карликовістю a , то схема схрещування буде такою:

PP	$\text{♀} Aa \times \text{♂} Aa$
	норм. норм.
гамети	$A, a \quad A, a$
F_1	$\underbrace{AA : 2Aa : 1aa}$
	3 норм. 1 карл.

Відповідь. Генотипи батьків – *Aa*

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: *алелі, генотип, гетерозигота, гібрид, гомозигота, гомологічні хромосоми, домінантний ген, рецесивний ген.*
2. Зобразіть схеми схрещувань: прямого, зворотного, реципрного.
3. Розв'яжіть генетичні задачі (за вказівкою викладача).
4. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Яке схрещування називають моногібридним?
2. Сформулюйте перший закон Менделя.
3. Поясніть суть другого закону Менделя.
4. Чи можуть організми із однаковим фенотипом мати різний генотип? Наведіть приклади.
5. У чому полягає гіпотеза «чистоти гамет»? Яке її цитологічне обґрунтування?

Практична робота №8

Тема. Успадкування ознак при дигібридному та полігібридному схрещуваннях.

Мета: поглибити знання закономірностей дигібридного схрещування, навчитися вирішувати основні типи генетичних задач.

Методичні рекомендації.

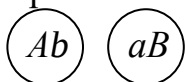
Дигібридним називається такий тип схрещування, при якому батьківські форми відрізняються між собою за двома парами альтернативних ознак і у гібридів враховуються лише ці дві пари.

Розв'язуючи задачі на дигібридне схрещування слід пам'ятати наступне:

– алелі генів, відповідальних за різні ознаки, прийнято позначати різними буквами (наприклад, A або a – забарвлення насіння гороху, B або b – форма насіння).

– алельні пари генів (Aa , Bb , Cc і т.п.) розміщуються в різних парах гомологічних хромосом;

– унаслідок редукції числа хромосом під час гаметогенезу, у гамету від кожної пари гомологічних хромосом потрапляє лише одна.



– кількість типів гамет, що утворює гібридна особина, дорівнюватиме 2^n , де n – ступінь гетерозиготності особин. Наприклад, для дигетерозиготи ($AaBb$ або $AaBBcc$ або $aaBbcc$) кількість типів гамет складатиме $2^2=4$, для тригетерозиготи ($AaBbcc$) $2^3=8$ і т.д.

Доцільно користуватися *фенотиповим радикалом* – записом за допомогою символів тих генів організму, що визначають його фенотип. Наприклад, $A-B-$, $A-bb$, $aaB-$ тощо.

Приклад 1. У пшениці безостість A домінує над остистістю a , червоне забарвлення колоса B – над білим b . Визначте зовнішній вигляд потомства від наступних схрещувань: $AaBb \times aabb$, $AaBB \times aaBb$, $Aabb \times aaBB$.

Скорочений запис умови задачі.

1. $PP \quad \text{♀ } AaBb \times \text{♂ } aabb.$

Дигетерозиготна материнська рослина дає чотири типи гамет: AB , Ab , aB , ab . Гомозиготна батьківська рослина утворює лише один тип гамет — ab . Таким чином, у першому поколінні (F_1) виникнуть генотипи: $AaBb$, $aaBb$, $Aabb$, $aabb$ з такими фенотипами відповідно: безостий червоноколосий, остистий червоноколосий, безостий білоколосий і остистий білоколосий.

2. $PP \quad \text{♀ } AaBB \times aaBb \text{♂}$

Оскільки батьки гетерозиготні за однією з двох пар генів, то кожний з них утворює по 2 типи гамет. Материнський організм — AB , aB , а батьківський — aB , ab . Таким чином, у F_1 одержимо $AaBB$, $AaBb$, $aaBB$, $aaBb$ (безості червоноколосі й остисті червоноколосі в співвідношенні 1:1).

3. $PP \quad \text{♀ } AABV \times aaBV. \text{♂}$

Батьки гомозиготні за двома парами генів, таким чином, кожний з них утворює лише один тип гамет: материнська рослина — Ab , а батьківська — aB . Тому в першому поколінні буде спостерігатися одноманітність гібридів, тобто вони матимуть генотип $AaBb$ і будуть безостими червоноколосими.

Приклад 2. При схрещуванні двох рослин кавуна з кулястими смугастими і з довгастими гладкими плодами, в першому поколінні всі плоди були кулясті й гладкі. Яким буде F_2 ?

Скорочений запис умови задачі.

Кавуни. Успадкування форми і забарвлення плодів.

P кулясті, смуг. $\times$ довг. гладкі

F_1 кулясті, гладкі

Розв'язання.

Наявність двох альтернативних пар ознак у батьків свідчить про дигенне успадкування цих ознак. Відсутність розщеплення в F_1 свідчить про гомозиготність батьків за двома парами генів.

Домінантні ознаки — куляста форма плода й гладке забарвлення,

оскільки вони проявляються в першому поколінні.

A — куляста форма

a — довгаста

B — гладке забарвлення

b — смугасте

$P \quad \text{♀ } AAbb \times aaBB \text{ ♂}$

гамети $Ab \quad aB$

$F_1 \quad AaBb$

Дигетерозиготний гібрид першого покоління утворює 4 типи гамет: AB , Ab , aB , ab . Тому при схрещуванні цих гібридів між собою в F_2 утворюється 16 генотипів, які розподілятимуться на чотири фенотипових класи у співвідношенні: 9 $A-B-$, 3 $A-bb$, 3 $aaB-$, 1 $aabb$.

Відповідь: У F_2 можна очікувати таке співвідношення фенотипів кавунів: 9 кулястих гладких, 3 кулястих смугастих, 3 довгастих гладких та 1 довгастих смугастих.

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: *дигетерозигота*, *дигібридне схрещування*, *рекомбінанти*, *фенотиповий радикал*.
2. Зобразіть схему дихотомічного способу визначення сортів гамет: у дигетерозигот $AaBb$, у тригетерозигот $AaBbCc$
3. Розв'яжіть генетичні задачі (за вказівкою викладача).
4. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Які схрещування називають дигібридними?
2. Сформулювати менделівський закон незалежного комбінування генів.
3. У яких випадках спостерігається незалежний розподіл ознак?
4. Що можна сказати про батьків, якщо серед їх нащадків спостерігаються такі співвідношення фенотипів: 3:1, 1:1, 9:3:3:1, 1:1:1:1?
5. Особливості полігібридного схрещування. Цитологічні основи та правила утворення гамет при полігібридному схрещуванні.
6. Які умови обмежують прояви законів Г. Менделя?

Практична робота №9

Тема. Взаємодія неалельних генів

Мета: вивчити успадкування ознак при взаємодії неалельних генів

Методичні рекомендації.

Коли два або більша кількість генів впливають на одну і ту ж саму ознаку, між генами виявляється та або інша взаємодія. Звичайно взаємодії генів поділяють на три основних типи: *комплементарна дія*, *полімерія* та *епістаз*. Залежно від типу взаємодії генів, у F_2 змінюється формула розщеплення ($9A-B-$, $3A-bb$, $3aaB-$, $1aabb$), яка характерна для дигібридного схрещування.

Комплементарна дія генів спостерігається тоді, коли неалельні гени окремо не виявляють своєї специфічної дії, але при одночасній присутності в генотипі зумовлюють розвиток нової ознаки. При комплементарній взаємодії можливе розщеплення $9:3:3:1$, $9:7$, $9:6:1$, $9:3:4$.

При *епістазі* алелі одного гена пригнічують прояв алелів іншого гена. Символічно епістування позначається знаком $>$ (більше). Розрізняють *домінантний* ($A_>B_$, bb) та *рецесивний* ($aa>B_$, bb) епістаз. Епістазу притаманне розщеплення $12:3:1$ або $13:3$.

Полімерією називається така взаємодія генів, коли ступінь розвитку однієї і тієї ж ознаки зумовлений впливом ряду так званих полімерних генів. Умовно розрізняють неаккумулятивну та кумулятивну полімерію. При неаккумулятивній полімерії для повного вираження ознаки достатньо домінантного алеля одного із полімерних генів ($A_1_A_2$ за фенотипом дорівнює $A_1_a_2a_2$). Характерне розщеплення фенотипів у співвідношенні $15:1$. *Кумулятивна* полімерія характеризується тим, що ступінь вираження ознаки залежить від кількості домінантних алелів як одного й того ж, так і різних полімерних генів. За цим типом успадковуються кількісні ознаки.

При аналізі успадкування кількісних ознак, зумовлених генами, що вступають у взаємодію по типу кумулятивної полімерії слід враховувати таке:

– ступінь вираження ознаки залежить від кількості домінантних алелів, що діють одночасно у генотипі особин.

– особини з максимальним вираженням кількісної ознаки й особини з мінімальним його проявом завжди становлять одну частину від усіх можливих комбінацій гамет організмів, що схрещуються (1/16, 1/64 і т.д.)

Алгоритм розв'язування генетичних задач на полімерію є таким:

– встановити, на скільки збільшується вираження ознаки в присутності одного домінантного алеля.

– знайти різницю у мірі вираження ознаки у повної рецесивної гомозиготи й особини, що має домінантні алелі в гомозиготному стані

– розділити різницю на число домінантних алелів.

– знайти фенотипове розщеплення, виходячи з генотипів батьків і числа домінантних алелів у генотипі нащадків.

Приклад 1. Від схрещування рослин гарбуза (*Cucurbita pepo*) із плодами сферичної форми (різного походження) з'являються гібридні рослини, які мають плоди тільки дископодібної форми. У F_2 від схрещування рослин F_1 між собою з'являються три фенотипових класи у співвідношенні: 9 дископодібні : 6 сферичні : 1 видовжений. Визначити тип успадкування цих ознак і генотипи батьківських форм.

Скорочений запис умови задачі.

Гарбуз. Успадкування форми плодів.

P сферична × сферична

F_1 дископодібна

F_2 9 диск. : 6 сфер. : 1 видовж.

Розв'язання.

1. Нова ознака у першій генерації гібридів свідчить про взаємодію генів.

2. Відсутність розщеплення в F_1 свідчить про гомозиготність батьків за двома парами генів ($AAbb$, $aaBB$).

Схема схрещування:

Р ♀		$AAbb$	×	$aaBB$ ♂	
		сферична		сферична	
гамети		Ab		aB	
F ₁		$AaBb$			
		дископодібна			
F ₂	гамети	AB	Ab	aB	ab
	AB	$AABB$ дископодібна	$AABb$ дископодібна	$AaBB$ дископодібна	$AaBb$ дископодібна
	Ab	$AABb$ дископодібна	$Aabb$ сферична	$AaBb$ дископодібна	$Aabb$ сферична
	aB	$AaBB$ дископодібна	$AaBb$ дископодібна	$aaBB$ сферична	$aaBb$ сферична
	ab	$AaBb$ дископодібна	$Aabb$ сферична	$aaBb$ сферична	$aabb$ видовжена
F ₂		$\underbrace{9/16 A-B-, 3/16 A-bb}_{\text{дископодібна}}, \underbrace{3/16 aaB-, 1/16 aabb}_{\text{сферична}}, \underbrace{1/16 aabb}_{\text{видовжена}}$			

Відповідь: Форма гарбуза залежить від двох домінантних генів, кожний із яких окремо викликає формування сферичних плодів, їх взаємодія – дископодібних, а у рецесивної гомозиготи – видовжених. Генотипи вихідних форм – $AAbb$, $aaBB$.

Приклад 2. Від схрещування двох сортів кукурудзи з білим зерном гібриди першого покоління мали біле зерно. У другому поколінні 138 рослин мали біле, а 39 – пурпурове зерно. Як успадковується колір зерна у кукурудзи?

Скорочений запис умови задачі.

Кукурудза. Успадкування забарвлення зерна.

PP білі х білі

F_1 білі

F_2 138 білі : 39 пурпурові

Розв'язання.

1. Характер успадкування і розщеплення 13:3 у другому поколінні свідчить про епістатичну взаємодію генів.
2. Наявність трьох частин рослин з пурпуровим насінням свідчить про контролювання цієї ознаки домінантним геном A .
3. За білий колір зерна відповідає або рецесивний ген, або він утворюється при наявності в генотипі гена-інгібітора ($A-I$).
4. Розщеплення на 16 частин у другому поколінні свідчить про дигетерозиготність рослин першого покоління – $AaIi$, отже генотипи вихідних сортів були: $AAII$ і $aa ii$.
5. Гібриди першого покоління утворюють 4 типи гамет (AI, Ai, aI, ai) і внаслідок схрещування між собою в другому поколінні виникає розщеплення: $\underbrace{9A-I-, 3aaI-, 1aaii}_{13/16}$ білі і $A-ii - 3/16$ пурпурові.

Відповідь. Колір насіння у кукурудзи контролюється двома парами генів, що взаємодіють між собою епістатично.

Приклад 3. У льону (*Linum usitatissimum*) алель A визначає забарвлений віночок, a – незабарвлений віночок (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: 9/16 блакитних; 3/16 рожевих; 4/16 білих квіток.

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

F₁: $AaBb$
(блакитний)

♀ \ ♂					
		AB	aB	Ab	ab
F ₂ :	AB	$AABB$	$AaBB$	$AABb$	$AaBb$
	aB	$AaBB$	$aaBB$	$AaBb$	$aaBb$
	Ab	$AABb$	$AaBb$	$AAbb$	$Aabb$
	ab	$AaBb$	$aaBb$	$Aabb$	$aabb$

F₂: 9A-B- : 3A-bb : 3aaB- : 1aabb

$\underbrace{\hspace{10em}}$
 блакитні : рожеві : білі

Відповідь: рецесивний алель (*a*) не дозволяє проявитися ані блакитному, ані рожевому забарвленню ($a > B$ та $a > b$), тобто пригнічує їх (рецесивний епістаз).

Приклад 4. При схрещуванні червонозерних ліній пшениці з білозерними в F₂ спостерігалось розщеплення за фенотипом 1:4:6:4:1, тобто 1/16 рослин мати зерна з безбарвним ендоспермом, у решти 15/16 спостерігалася різна інтенсивність пігментації – від темно-червоних до блідо-червоних. Поясніть результати успадкування цієї ознаки у пшениці.

Скорочений запис умови задачі.

Пшениця. Успадкування забарвлення зерна.

PР темно-червоне х біле

F₁ червоне

F₂ 1 темно-червоне : 4 червоне : 6 світло-червоне; 4 блідо-червоне : 1 біле

Розв'язання.

P		♀	$A_1A_1A_2A_2$ темно-червоне		×	$a_1a_1a_2a_2$ ♂ біле	
F ₁		$A_1a_1A_2a_2$ світло-червоне					
F ₂	гамети	A_1A_2	A_1a_2	A_2a_1	a_1a_2		
	A_1A_2	$A_1A_1A_2A_2$ темно-червоне	$A_1A_1A_2a_2$ червоне	$A_1a_1A_2A_2$ червоне	$A_1a_1A_2a_2$ світло-червоне		
	A_1a_2	$A_1A_1A_2a_2$ червоне	$A_1A_1a_2a_2$ світло-червоне	$A_1a_1A_2a_2$ світло-червоне	$A_1a_1a_2a_2$ блідо-червоне		
	A_2a_1	$A_1a_1A_2A_2$ червоне	$A_1a_1A_2a_2$ світло-червоне	$a_1a_1A_2A_2$ світло-червоне	$a_1a_1A_2a_2$ блідо-червоне		
	a_1a_2	$A_1a_1A_2a_2$ світло-червоне	$A_1a_1a_2a_2$ блідо-червоне	$a_1a_1A_2a_2$ блідо-червоне	$a_1a_1a_2a_2$ біле		

Відповідь: успадкування кольору зернівки пшениці відбувається за типом кумулятивної полімерії і контролюється двома полімерними генами.

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: *гени алельні, гени неалельні, комплементарність, епістаз, полімерія, трансгресія, плейотропія, неповне домінування*.
2. Наведіть приклад неповного домінування. Зобразіть схему схрещування при неповному домінуванні.
3. Розв'яжіть генетичні задачі (за вказівкою викладача).
4. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

- 1 Назвати основні типи неалельної взаємодії генів.
2. Що таке комплементарна дія генів?
3. У чому різниця між домінантністю та епістазом?
4. Як може модифікуватись менделівське співвідношення 9:3:3:1 при взаємодії генів?
5. Які гени летальні та напівлетальні?

Практична робота №10

Тема. Зчеплене успадкування генів і кросинговер

Мета: вивчити успадкування ознак у випадку зчеплення генів, навчитись розв'язувати задачі, складати і аналізувати генетичні карти хромосом.

Обладнання: таблиці із зображенням генетичних карт рослин, схема кросинговеру.

Методичні рекомендації.

В організмі, як правило, число генів значно перевищує число хромосом.. Отже, гени, які знаходяться в одній хромосомі, успадковуються разом, тобто, *зчеплено* та утворюють групу зчеплення. Число груп зчеплення відповідає гаплоїдному числу хромосом. Схема відносного положення генів, що локалізовані в одній групі зчеплення, називається *генетичною картою хромосом*. При генетичному аналізі зчепленого успадкування двох ознак використовують такі позначення генів – $\frac{AB}{ab}$ або $\frac{b^+vg^+}{b\ vg}$. Аналогічно позначають і більшу кількість ознак ($\frac{ABC}{abc}$ тощо).

Але зчеплене успадкування генів, переважно не буває абсолютним, тому що в профазі мейозу I між гомологічними хромосомами проходить перехрест, або кросинговер. *Кросинговер* – обмін сегментами між гомологічними хромосомами, що супроводжується рекомбінацією генів (рис. 13). Відповідно до цього утворюються кросоверні (рекомбінантні) гамети та некросоверні (нерекомбінантні).

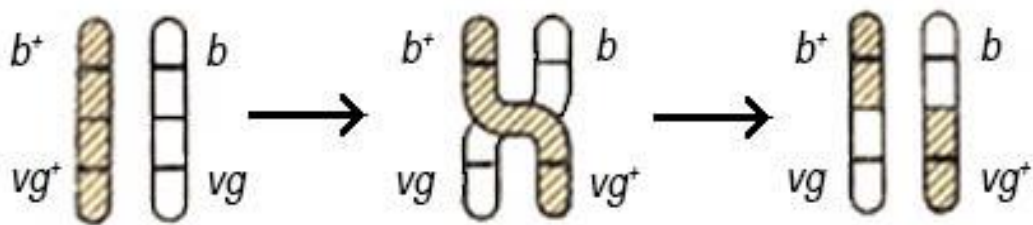


Рис. 13. Схема кросинговеру

Відсоток кросинговеру між різними генами розраховується на основі результатів аналізуючого схрещування за формулою:

$$X = \frac{a + b}{n} \times 100\%,$$

де X – відсоток кросинговеру, a – кількість кросоверних особин одного класу, b – кількість кросоверних особин другого класу, n – загальна кількість особин, отриманих в результаті аналізуючого схрещування.

Досить часто в задачах на зчеплене успадкування генів ставиться питання: як успадковуються гени або ознаки - зчеплено чи незалежно? Про наявність або відсутність зчеплення свідчить числове розщеплення в потомстві. Якщо фенотипні класи утворилися в рівному співвідношенні, то має місце вільне сполучення ознак у нащадків, а гени, які контролюють ці ознаки, - незчеплені. Якщо ж серед нащадків з'являються рекомбінантні особини (причому їх завжди мала кількість), значить, гени зчеплені.

Приклад 1. Гени A і C розташовані в одній групі зчеплення, відстань між ними 5,8 морганід. Визначити, які типи гамет і в якому співвідношенні утворюють особини генотипу $\frac{AC}{ac}$.

Розв'язання В організмі даного генотипу спостерігається неповне зчеплення генів. Некросоверні намети – AC і ac , кросоверні – Ac і aC . Кількість кожної з кросоверних гамет буде $5,8 : 2 = 2,9$, а кожної з некросоверних – $(100 - 5,8) : 2 = 47,1$.

Відповідь. Гамети AC і ac по 47,1%; Ac і aC – по 2,9%.

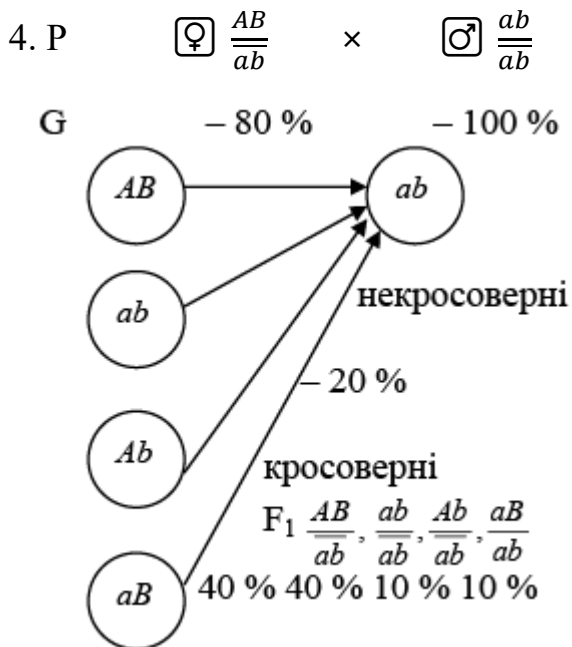
Приклад 2. У томатів високе стебло домінує над карликовим, а куляста форма плода над грушоподібною. Гени, які контролюють ці ознаки, розміщені на відстані 20 морганід. Гетерозиготну високу рослину з кулястими плодами схрестили з карликовою рослиною, що має грушоподібні плоди. Визначте співвідношення різних фенотипів у цьому схрещуванні.

Розв'язання:

1. За умовами задачі A – високий зріст, a – карликовий, B – кулясті плоди, b – грушоподібні. Гени зчеплені, отже генотипи батьків $\frac{AB}{ab}$ та $\frac{ab}{ab}$

2. Оскільки відстань між генами 20 морганід, то кросинговер відбувається у 20% випадків.

3. Дигетерозигота $\frac{AB}{ab}$ утворює 4 типи гамет у співвідношенні: 80 % некросоверних і 20 % кросоверних.



Відповідь. Співвідношення фенотипів буде: 40 % – високі кулясті, 40 % – карликові грушоподібні, 10 % – високі грушоподібні, 10 % – карликові кулясті.

Приклад 3. Визначте генотип батьківської форми, порядок розташування генів і величину перехреста (у %), якщо в аналізуючому схрещуванні одержані такі результати:

AbC -104	aBC -5
abc -180	Abc -5
aBc -109	abC -191
ABc -221	ABC -169

Розв'язання:

1. Нерівне співвідношення різних фенотипів свідчить про неповне зчеплення генів і перехрест хромосом, що відбувся.

2. Оскільки форм ABc і abC найбільша кількість, то можна зробити висновок, що вони є основними (утворилися з некросоверних гамет), решта форм – рекомбінанти. Отже, генотип вихідної три гетерозиготи –
3. Форми aBC і Abc , оскільки їх дуже мало, утворилися внаслідок подвійного кросинговеру.
4. Унаслідок перехресту хромосом між генами A і B утворюються генотипи aBc і AbC , таким чином, відстань між цими генами, враховуючи подвійний кросинговер, буде: $\frac{109+104+10}{984} \times 100\% = 22,66\%$
5. Від кросинговеру між генами B і C утворюються генотипи ABC і abc . Знаходимо відстань між цими генами: $\frac{169+180+10}{984} \times 100\% = 36,48\%$.

Відповідь. Генотип вихідної гетерозиготної форми: $\frac{ABc}{abC}$. Відстань між генами A і B дорівнює 22,66 морганіди, а між генами B і C – 36,48 морганіди.

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: зчеплення генів, група зчеплення, гамети кросоверні, гамети некросоверні, генетична карта хромосоми, інтерференція, морганіда.
2. Розв'яжіть генетичні задачі (за вказівкою викладача).
3. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Що таке кросинговер та якій стадії клітинного циклу він відбувається?
2. Яким чином визначаються групи зчеплення?
3. Як ви розумієте рекомбінаційну мінливість?
4. Яка біологічна суть і генетичне значення кросинговеру?
5. Яке значення генетичних і цитологічних карт хромосом у генетичних дослідженнях та селекції?

Практична робота №11

Тема. Успадковування статі та ознак, зчеплених зі статтю.

Мета: вивчити основні закономірності успадкування ознак, зчеплених зі статтю.

Обладнання: таблиці, схеми схрещування при успадкуванні ознак зчеплених зі статевими хромосомами.

Методичні рекомендації.

У роздільностатевих організмів різниця між хромосомними наборами особин різних статей пов'язана із якісним складом хромосом. Морфологічно однакові хромосоми особин чоловічої і жіночої статі називаються аутосомами (*A*), а хромосоми *X* та *Y* – статевими хромосомами.

Гомогаметною називається стать, яка містить у соматичних клітинах однакові статеві хромосоми (дві *X*-хромосоми) і утворює різні гамети.

Гетерогаметною називається стать, яка містить у соматичних клітинах різні статеві хромосоми (дві *X*- та *Y*-хромосоми) і утворює різні гамети.

У людини, ссавців та усіх дводомних рослин гетерогаметні (*XY*) чоловічі форми, а гомогаметні (*XX*) жіночі.

Наявність гетеро- та гомогаметних статей при схрещуванні забезпечує рівне співвідношення статей у потомстві, тобто, стать успадковується за типом аналізуючого схрещування:

Р	<i>XX</i>	<i>x</i>	<i>XY</i>
гамети	<i>X</i> і <i>X</i>		<i>X</i> і <i>Y</i>
F ₁			
	гамети	<i>X</i>	<i>Y</i>
	<i>X</i>	<i>XX</i>	<i>XY</i>
	<i>X</i>	<i>XX</i>	<i>XY</i>

Успадкування ознак, гени яких локалізуються в *X* і *Y* хромосомах, називається *успадкуванням, зчепленим із статтю*. При розв'язанні задач на успадкування ознак, зчеплених зі статтю, треба пам'ятати, що *Y*-хромосома є

генетично інертною, тобто здебільшого не містить алелів генів, які перебувають в X -хромосомі. Такий стан ($X^A Y$ або $X^a Y$) називається гемізіготним. Він спричинює *кріс-крос успадкування*, коли ознака від матері передається синові, а від батька дочці.

Приклад 1. У курей зчеплений зі статтю ген A в рецесивному стані має летальну дію. Яка частина потомства загине, якщо схрестити курку з гетерозиготним півнем?

Розв'язання.

1. У птахів самка є гетерогаметною, а самець — гомогаметною статтю. Отже фенотип курки $X^a Y$, а генотип півня — $X^A X^A$.

2.Р $\text{♀} X^A Y \times X^A X^A \text{♂}$

гамети X^A, Y X^A, X^A

F_1 $X^A X^A, X^A X^A, X^a Y, X^A Y$

3. У генотипів $X^a Y$ проявиться летальна дія рецесивного гена, і вони загинуть.

Відповідь. Загине 25% потомства, а саме: жіночі особини з генотипом $X^a Y$.

Приклад 2. Дочка гемофіліка виходить заміж за сина іншого гемофіліка, причому наречена і наречений не хворіють на гемофілію. Визначте ймовірність народження хворої дитини.

Розв'язання.

1 У людини жіноча стать визначається наявністю двох X -хромосом (XX), одна з яких успадковується від батька, а друга від матері. Оскільки батько нареченої був гемофіліком, то дівчина успадкувала від нього X -хромосому з рецесивним геном гемофілії. Оскільки вона не є хворою, значить, її друга хромосома містить домінантний алель H . Таким чином, генотип дівчини гетерозиготний, тобто вона є носієм гена гемофілії.

2. Наречений здоровий, він отримав від матері X -хромосому з домінантним алелем H , а від батька-гемофіліка — Y -хромосому. Отже, генотип хлопця $X^H Y$.

$$3. \quad P \quad \text{♀} \quad X^H X^h \times X^H Y \quad \text{♂}$$

гамети X^H, X^h X^H, Y

$$F_1 \quad X^H X^H, X^H Y, X^h X^H, X^h Y$$

4. У цього подружжя може народитися здорова дівчина, дівчина-носіє (але фенотипово здорова), хлопчик здоровий і хлопчик-гемофілік, причому ймовірність народження будь-якої дитини однакова.

Відповідь. Імовірність народження хворої дитини 25%.

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: стать, первинні статеві ознаки, ознаки, залежні від статі, гомогаметна стать, гетерогаметна стать, інтерсекси.
2. Розв'яжіть генетичні задачі (за вказівкою викладача).
3. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Які ознаки відносяться до ознак, зчеплених зі статтю, обмежених статтю і залежних від статі?
2. Що таке аутосомні та статеві хромосоми?
3. Поясніть суть гомо- і гетерогаметної статі.
4. Що таке ознаки зчеплені зі статтю, як вони успадковуються?
5. Який стан алелів називається гемізіготним?
6. У чому полягає біологічна роль розщеплення за статтю в співвідношенні 1:1?
7. Опишіть методи регуляції співвідношення статі.

Практична робота №12

Тема. Аналіз відхилень результатів схрещувань від законів Г. Менделя.

Мета: розширити уявлення про генотип як складну систему взаємодії генів, явища пенетрантності та експресивності генів; навчитись проводити статистичний аналіз результатів успадкування ознак, поглибити та закріпити навички розв'язування генетичних задач.

Методичні рекомендації.

При домінантно-рецесивній взаємодії алелів закономірність розщеплення в фенотипі визначається як 3:1 за кожною парою ознак. Але бувають випадки коли вказана закономірність порушується. Закони Г. Менделя є універсальними, тобто стосуються різних організмів. Однак виконання «менделівських» законів спадковості можливо тільки при дотриманні ряду критеріїв.

1. Аналізовані ознаки мають успадковуватися незалежно одна від одної.
2. Гени, які контролюють ознаки, повинні перебувати у різних хромосомах або на великій відстані (більше 50 сМ) в межах однієї хромосоми.
3. Між аналізованими генами не повинно бути взаємодії.
4. Гамети у чоловічого і жіночого організму повинні утворюватися з рівною ймовірністю.
5. Гамети і зиготи різних генотипів повинні мати рівну життєздатність.

Порушення того чи іншого критерію викликає відхилення від очікуваного розщеплення.

Крім того, на характер розщеплення ознак у потомстві може впливати ряд внутрішніх (генетичних) і зовнішніх факторів (зовнішнє середовище):

1. Дія летальних генів (домінантних і рецесивних).
2. Неповний прояв генів (неповне домінування).
3. Дія генів-модифікаторів.
4. Взаємодія алельних і неалельних генів.
5. Неповна пенетрантність і експресивність генів у певних умовах.

Експресивність ознаки – це ступінь її вираження в організмів з однаковим генотипом. Цей показник залежить від взаємодії гена з іншими генами, або від впливу зовнішніх умов. Наявність даного гена не завжди означає, що він виявиться у фенотипі. Для оцінки кількості особин, у яких ця ознака фенотипічно виявилася використовують термін пенетрантність.

Пенетрантністю прояву гена називається відношення числа особин, у яких проявляється дана ознака, до загального числа з даним генотипом. Пенетрантністю характеризується ознака в однорідній групі особин. При повній пенетрантності (100%) ген проявляє свою дію у всіх особин, що мають його, а при неповній – лише в деяких.

Експресивність і пенетрантність часто залежать від умови середовища, у якій розвивається організм: висвітлення, температури або вологості. Наприклад, у примули відомий ген забарвлення квітки, дія якого залежить від температури. При температурі 30...35°C і високій вологості квітки примули виявляються білими, а при низькій температурі – червоними.

Дію того чи іншого фактора викликає відхилення від менделівської формули розщеплення. Вказані відхилення не порушують закономірностей, відкритих Г. Менделем, а лише конкретизують взаємодію алелів.

Розв'язуючи генетичні задачі слід перевірити відповідність експериментальних результатів висунутій генетичній гіпотезі, тому що повного збігу між ними не буває. Відхилення можуть бути невеликими, тоді їх вважають випадковими і нехтують ними. При великих розходженнях між теоретично очікуваним і емпіричним результатом гіпотеза, висунута для пояснення характеру успадкування ознаки, вважається невірною. В біологічних досліджах відхилення до 5 % вважаються випадковими, розходження, що перевищують 5 %, домовились вважати не випадковими. Величину відхилення знаходять за допомогою критерію χ^2 (ксі-квадрат) за формулою:

$$\chi^2 = \frac{(O - E)^2}{E},$$

де О – фактичний результат, Е – теоретично очікуваний результат. Якщо $(O-E)=0$, то $\chi^2 > 0$. Це свідчить про повну відповідність одержаної частоти фенотипових класів теоретично очікуваним. Якщо $\chi^2 \neq 0$, то оцінку його значимості знаходять за допомогою спеціальної таблиці. Однак, перш ніж приступити до цього, слід з'ясувати поняття «ступінь свободи». Ступінь свободи – це кількість незалежно розрахованих, теоретично очікуваних величин.

Стандартні значення χ^2 за різних ступенів свободи
(Р. Фішер, зі скороченням)

Число ступенів свободи (df)	Вірогідність (P)		
	0,05	0,01	0,001
1.	3,84	6,63	10,83
2.	5,99	9,21	13,82
3.	7,81	11,34	16,27
4.	9,49	13,28	18,47
5.	11,07	15,00	20,50
6.	12,59	16,81	22,50
7.	14,07	18,48	24,30
8.	15,51	20,09	26,10
9.	16,92	21,67	27,90
10.	18,31	23,31	29,60

Приклад. При самозапиленні рослин гороху з червоними квітками одержали потомство, яке складається з 414 червоноквіткових рослин і 306 білоквіткових. Чи відповідає це розщепленню 3 : 1?

Розв'язання. Наявність розщеплення у потомстві свідчить про гетерозиготність батьків. Припускаємо, що ознака "червоні квіти" контролюється домінантним алелем А, а ознака "білі квіти" — рецесивним — а. Звідси схема проведеного експерименту $P \text{ } \text{♀} Aa \times \text{♂} Aa \rightarrow F_1 AA, 2Aa, aa. \frac{3}{4}$

потомків повинні мати червоні і $\frac{1}{4}$ — білі квіти. Перевіримо, чи відповідає одержаний і результат співвідношенню 3:1.

Для цього складемо таблицю:

Класи розщеплення	Очікуване розщеплення	Одержаний результат (O)	Очікуваний результат (E)	O–E	(O–E) ²	$\frac{(O-E)^2}{E}$
Червоні квітки	3	414	540	–126	15876	29,4
Білі квітки	1	306	180	126	15876	88,2
Сума	4	720	720	0	–	$\chi^2_{\text{емп.}} = 117,6$

Теоретично очікуваний результат (E) знаходимо таким чином: з 720 одержаних рослин $\frac{1}{4}$ згідно з висунутою гіпотезою повинна мати білі квітки, $\frac{3}{4}$ – червоні. Всі подальші дії зрозумілі з таблиці. Якщо суми 3-ї і 4-ї колонки однакові, а сума 5-ї колонки дорівнює нулю, то розрахунки проведені вірно. Сума колонки 7 є $\chi^2_{\text{емп.}}$. Знайдений χ^2 порівнюємо із значенням таблиці:

ν	1	2	3	4
χ^2	10,6	12,6	16,3	18,5

Робимо це так. Знаходимо кількість ступенів свободи ν за формулою $\nu = k - 1$, де k – кількість класів розщеплення. Якщо $\chi^2_{\text{емп.}} < \chi^2_{\text{табл.}}$, то відхилення, що спостерігаються, не перебільшують або дорівнюють 5 % і можуть вважатися випадковими, а висунута гіпотеза вважається вірною з ймовірністю не менш як 95 %. Якщо $\chi^2_{\text{емп.}} > \chi^2_{\text{табл.}}$ відхилення перевищують 5 % і упевненість в правильності генетичної гіпотези менша 95 %, її слід відкинути, висунути іншу гіпотезу і перевірити її таким же чином.

У розглянутому прикладі при двох класах розщеплення («червоні» і «білі» квітки) $\chi^2_{\text{табл.}} = 10,6$, $\chi^2_{\text{емп.}} = 117,6$ і більше табличного, отже, розходження між теоретично очікуваним і експериментальним результатом не випадкове. Гіпотеза не приймається.

Відповідь. Одержані результати схрещування не відповідають теоретично очікуванім при незалежному успадкуванні (розщеплення за фенотипом 3:1).

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: експресивність, пенетрантність, критерій відповідності χ^2 (ксі-квадрат).
2. Розв'яжіть генетичні задачі (за вказівкою викладача).
3. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Які фактори впливають на розщеплення ознак у гібридів?
2. При яких умовах зберігаються закони успадкування Г. Менделя?
3. Назвіть основні причини, які впливають на відхилення від класичних методів розщеплення у F_2
4. Чому необхідно здійснювати статистичну обробку експериментальних даних?
5. Що таке критерій відповідності (χ^2) і як він використовується у генетичних дослідженнях ?
6. Як визначити число ступенів свободи ?

МОДУЛЬ IV. Генетика популяцій. Генетичні основи селекції.

Практична робота №13

Тема. Модифікаційна мінливість у рослин. Побудова варіаційного ряду та кривої.

Мета: сформувати знання про модифікаційну мінливість, навчитися оцінювати ступінь і характер мінливості, будувати варіаційний ряд і криву (графік мінливості).

Обладнання: насіння квасолі (жита, вівса), лінійка, гербарії культурних рослин (пшениця, соняшник, картопля).

Методичні рекомендації.

Модифікаційна мінливість – варіювання прояву ознаки у генотипічно однорідних форм під впливом різноманітних умов середовища. Такі зміни ознак організму називають *модифікаціями*. Межі, в яких залежно від умов зовнішнього середовища може змінюватися фенотипічний прояв окремих генів або генотипу в цілому називають *нормою реакції*.

Знання закономірностей модифікаційної мінливості дозволяє передбачати й заздалегідь планувати ступінь вираження багатьох показників залежно від умов середовища.

Модифікаційну мінливість вивчають на основі аналізу прояву ознаки у групи особин – вибіркової сукупності або *вибірки* (n) як частини генеральної сукупності (N) рослин, у яких ця ознака спостерігається.

Основними показниками, що характеризують прояв ознаки та ступінь її мінливості у рослин є:

- середня арифметична ($\bar{x}$),
$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n};$$
- дисперсія (σ^2)
$$\sigma^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1};$$

- *стандартне відхилення (σ)* $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$;
- *коефіцієнт варіації (V)* $V = \frac{\sigma}{\bar{X}} 100\%$

Коефіцієнт варіації використовують для порівняння мінливості різних ознак у рослин однієї вибірки, або для оцінки ступеня вирівняності дослідного матеріалу. Коефіцієнт варіації менше 10% свідчить про відносно слабку мінливість ознаки, 10–20% – середню і більше 20% – сильну мінливість.

- *похибка вибіркової середньої ($S_{\bar{X}}$)* $S_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$.

Показує теоретичні межі відповідності середньої арифметичної вибірки та генеральної сукупності. Оцінку генеральної середньої можна записати у вигляді $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ (точкова оцінка), або $\bar{x} \pm tS_{\bar{x}}$ (інтервальна оцінка). Інтервал $\bar{x} \pm tS_{\bar{x}}$ називають *довірчим*. Довірчий інтервал із заданою вірогідністю покриває параметр, що оцінюється. $tS_{\bar{x}}$ – максимальна помилка вибіркової середньої при даному числі ступенів свободи та прийнятому рівні значущості. t – критерій Стюдента (наводиться в таблицях).

Про надійність висновків щодо відсутності істотної різниці між середніми арифметичними двох сортів або варіантів досліду судять за критерієм достовірності Стюдента:

Варіаційний ряд – це ряд даних, у якому вказані значення варіюючої ознаки (X) у порядку зростання чи зменшення та їх частоти (f). Склавши варіаційний ряд, можна дати кількісну характеристику мінливості ознаки, що вивчається. Для цього необхідно розрахувати наведені вище статистичні показники: середню арифметичну, дисперсію (варіансу), стандартне відхилення, помилку середньої арифметичної, коефіцієнт варіації та його помилку.

Приклад. Беруть 30 колосків озимої пшениці ($n=30$), вимірюють їх довжину (см) і дані розміщують у зростаючому порядку: 4,2; 4,6; 4,9; 5,4; 5,6; 5,8; 5,9; 6,0; 6,0; 6,3; 6,4; 6,7; 6,9; 7,1; 7,2; 7,2; 7,2; 7,3; 7,3; 7,4; 7,8; 7,9; 8,2; 8,5; 8,7; 9,1; 9,6; 9,7; 10,1; 10,7.

Перед обробкою варіаційного ряду визначають число груп ($Ч_г$) із близькими показниками. Як правило, коли n знаходиться у межах 30-60, беруть 6-7 груп, 60-100 – 7-8 груп. Після цього обчислюють інтервал групи (i) за формулою:

$$i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{Ч_г} = \frac{10,7 - 4,2}{6} = \frac{6,5}{6} \approx 1 \text{ см}$$

Для зручності обробки варіаційного ряду та розрахунків показників, що характеризують мінливість, зручно користуватися допоміжною таблицею.

Таблиця 1

Допоміжна таблиця для обробки варіаційного ряду

Довжина колоса (групи), см, x	Середнє значення групи, x	Число рослин (частоти), f	xf	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$(x - \bar{x})^2 f$
4,2-5,2	4,7	3	14,1	-2,42	5,86	17,58
5,3-6,3	5,8	7	40,6	-1,32	1,74	12,18
6,4-7,4	6,9	10	69	-0,22	0,05	0,5
7,5-8,5	8,0	4	32	0,88	0,77	3,08
8,6-9,6	9,1	3	27,3	1,98	3,92	11,76
9,7-10,7	10,2	3	30,6	3,08	9,49	28,47
		$n = \sum f = 30$	$\sum xf = 213,6$		$\sum (x - \bar{x})^2 = 21,83$	$\sum (x - \bar{x})^2 f = 73,57$

Розподіл варіант у варіаційному ряді зображують графічно у вигляді *варіаційної кривої* (рис. 14), яка ілюструє розмах мінливості.

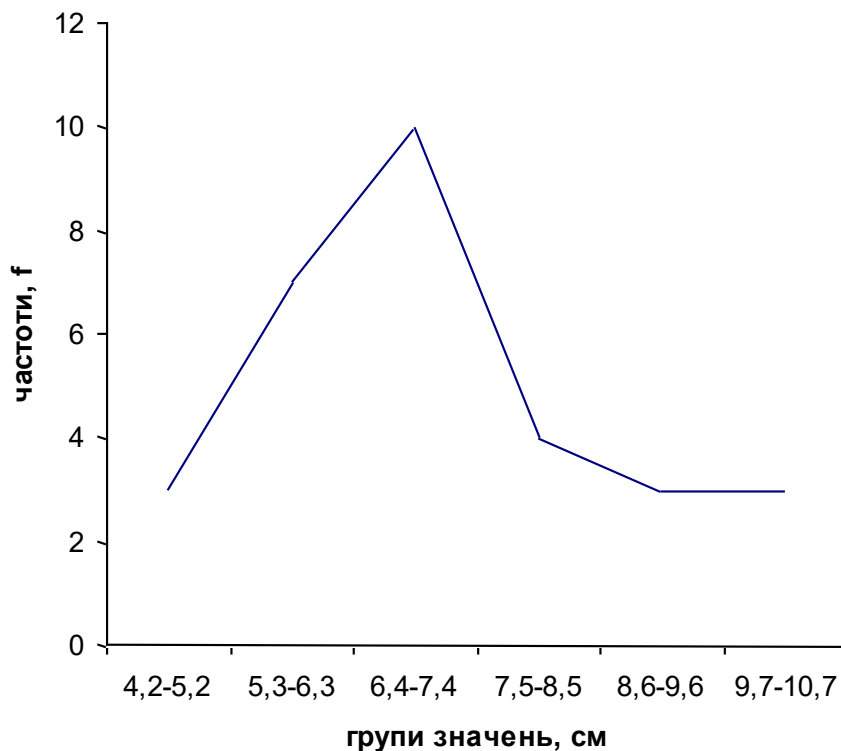


Рис. 14 Графічне зображення варіаційного ряду

Довжина варіаційного ряду свідчить про розмах модифікаційної мінливості, яка зумовлена генотипом (нормою реакції), але залежить від умов довкілля: чим сталіші умови розвитку, тим коротший варіаційний ряд, і навпаки.

У нашому прикладі *середня арифметична* ($\bar{x}$) довжини колоса озимої пшениці становить – $213,6/30 = 7,12$.

Дисперсія (σ^2) у нашому прикладі дорівнює

$$\sigma^2 = \frac{73,57}{29} = 2,54$$

Стандартне відхилення (σ) становить

$$\sigma = \pm\sqrt{2,54} = \pm 1,59 \text{ см.}$$

Коефіцієнт варіації (V) –

$$V = \frac{1,59 \cdot 100}{7,12} = 22,3\%$$

Похибка вибіркової середньої ($S_{\bar{x}}$) –

$$S_{\bar{x}} = \frac{1,59}{\sqrt{30}} = \frac{1,59}{5,48} = 0,29 \text{ см.}$$

Інтервальна оцінка середньої арифметичної на двох рівнях імовірності – $P_{0,95}$ та $P_{0,99}$. Число ступенів свободи $\nu = n - 1 = 30 - 1 = 29$. Критерії Стьюдента $t_{0,95}=2,05$ та $t_{0,99}=2,76$ (за таблицею, додаток 1). Область індивідуального розсіювання ($tS_{\bar{x}}$) становить $S_{\bar{x}} \cdot t_{0,95} = 0,29 \cdot 2,05 = 0,594$ та $S_{\bar{x}} \cdot t_{0,99} = 0,29 \cdot 2,76 = 0,8$. Отже, інтервальна оцінка генеральної сукупності для рівня $P_{0,95}$ становить $7,12 \pm 0,594$ см ($6,53 \div 7,71$), а для рівня $P_{0,99}$ – $7,12 \pm 0,8$ см ($6,32 \div 7,92$).

Таким чином, у нашому прикладі середня арифметична довжини колоса озимої пшениці дорівнює 7,12 см. Коефіцієнт варіації 22,3 % свідчить про значне варіювання колосів. До даного варіаційного ряду на рівні $P_{0,95}$ належить колосся від 6,53 до 7,71 см, а на рівні $P_{0,99}$ – 6,32 – 7,92 см. На графіку (рис. 14) крива варіаційного ряду має одну вершину, що свідчить про однорідність вибірки.

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: мінливість, модифікація, норма реакції генотипу, варіація, варіаційний ряд.
2. Складіть варіаційний ряд мінливості маси насіння квасолі. Результати запишіть до таблиці в робочому зошиті.
3. За одержаними даними маси насіння квасолі побудуйте варіаційну криву. На осі абсцис відкладіть варіанти ознаки від найменшого до найбільшого. На осі ординат - частоту зустрічальності ознаки. Порівняйте краї та центр варіаційної кривої.

4. Побудуйте варіаційні криві модифікаційної мінливості ознак інших культурних рослин (за наперед одержаними даними) та зробіть їхні характеристики.

5. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Поняття модифікаційної мінливості та причини її виникнення.
2. Адаптивність модифікацій, фенотипу та морфози.
3. Норма реакції організму та її використання у сільськогосподарському виробництві.
4. Статистичні закономірності модифікаційної мінливості. Варіаційна крива.

Практична робота №14

Тема. Генетичний аналіз успадкування ознак у поліплоїдів.

Мета: вивчити явище поліплоїдії, методи одержання поліплоїдів, їх селекційну цінність, роль поліплоїдії у житті рослин.

Обладнання: насіння льону (жита, вівса), гербарії поліплоїдних рослин, 0,1–0,25%-й водний розчин колхіцину, фільтрувальний папір, чашки Петрі.

Методичні рекомендації.

Поліплоїдія – це геномна мутація, яка пов'язана зі зміною числа хромосом у клітинах організму. Розрізняють такі види поліплоїдії: еуплоїдію, анеуплоїдію, алоплоїдію.

Автополіплоїдія – це кратне збільшення числа хромосом стосовно гаплоїдного набору. Залежно від того у скільки раз збільшене число хромосом розрізняють $2n$ (диплоїди), $3n$ (триплоїди), $4n$ (тетраплоїди), $5n$ (пентаплоїди), $6n$ (гексаплоїди) та інші. У поліплоїдів у зв'язку зі збільшенням числа хромосом збільшується ядро, клітина, органи рослин, змінюються фізіологічні процеси, зростає енергія життєдіяльності, підвищується мінливість.

Алополіплоїди – рослини, у ядрах клітин яких об'єднані набори хромосом різних видів, родів. Виникають при віддаленій гібридизації, наприклад, гібриди між редькою *Raphanus sativus* ($2n=18$) з капустою *Brassica oleraceae* ($2n=18$); між м'якою пшеницею *Triticum aestivum* ($2n=14$) і житом *Secale cereale* ($2n=14$) і т.д. Алополіплоїди мають нормальний розвиток, з ознаками вихідних батьків, але як правило, стерильні через порушення в кон'югації хромосом. Відновити плідність алополіплоїдів дозволяє поліплоїдизація. Якщо подвоїти гаплоїдні набори хромосом двох видів або родів, то такі алополіплоїди називають *амфідиплоїдами* (АД). Так, отримано 36 хромосомні капустяно-редькові гібриди, 56-хромосомні пшенично-житні гібриди і т. ін.

Гетероплоїди або *анеуплоїди* – це рослини, у яких змінилося число хромосом некратне гаплоїдному. Виникають анеуплоїди в результаті порушення в розходженні хромосом до полюсів в анафазі мейозу або мітозу.

При цьому утворюються гамети з набором хромосом $(n-1)$ і $(n+1)$, при злитті яких утворюються зиготи із числом хромосом $(2n-1)$ їх називають моносоміки, $(2n-2)$ – нулісоміки, $(2n+1)$ – трисоміки, $(2n+2)$ – тетрасоміки, тобто відбувається втрата або додавання окремих хромосом. Анеуплоїди відрізняються меншою життєздатністю, ніж диплоїди й становлять сліпу гілку еволюції. Однак, генетики використовують анеуплоїди для геномного або моносомного аналізу, який дозволяє встановити в якій хромосомі локалізований ген, що обумовлює досліджувана ознака.

Гаплоїдія – наявність у клітинах одинарного, гаплоїдного хромосомного набору. Тобто, *гаплоїди* – організми, у яких міститься вдвічі менше хромосом (n) , ніж у вихідних форм.

Поліплоїдія дуже широко поширена в природі, більш половини видів покритонасінних рослин представлені поліплоїдами. Багато видів рослин у межах роду утворюють поліплоїдні ряди – це сукупність видів із кратним збільшенням числа хромосом стосовно основного числа, яке позначається символом « x ». Основне число – це гаплоїдний набір хромосом виду, у поліплоїдному ряді з найменшою кількістю хромосом. Так, поліплоїдний ряд роду Суниця представлений видами: суниця лісова (*Fragaria vesca*) – $2n=14$, суниця східна (*F. orientalis*) – $2n=28$, полуниця (*F. elatior*) – $2n=42$, суниця великоплідна (*F. ananassa*) – $2n=56$. Основне число поліплоїдного ряду суниці – 7. Плоїдність кожного виду визначається поділом диплоїдного набору хромосом виду на основне число. Так лісова суниця – $(14:7)$ – диплоїдна, східна $(28:7)$ – тетраплоїдна, полуниця $(42:7)$ – гексаплоїдна й ананасна $(56:7)$ – октаплоїдна.

Методи отримання поліплоїдних рослин. Переважна кількість із них ґрунтується на використанні *колхіцину* ($C_{22}H_{25}NO_6$) – речовини із групи алкалоїдів. Слабкий розчин колхіцину блокує процес утворення веретена поділу. Тому у мітозі хромосоми не розходяться до полюсів, клітина не ділиться і утворюється ядро із подвоєною кількістю хромосом. Для отримання

поліплоїдів жита, а також пшениці, ячменю, конюшини, гречки, льону та інших культур використовують 0,1–0,25%-й водний розчин колхіцину. Насіння пророщується на фільтрувальному папері у чашках Петрі протягом 2–3 днів. Проростки (2–4 мм) занурюють верхівками у розчин колхіцину на 0,5...4,0 год. Рослини закріплюють на сітці корінням вгору. Коріння покривають вологим фільтрувальним папером. Оброблені проростки промивають водою і висаджують у ґрунт. Через 25–30 днів можна проводити відбір тетраплоїдних рослин, які відрізняються від диплоїдних потовщеними листками та викривленими стеблами. Кількість хромосом у відібраних рослин, тобто їх плоїдність, перевіряється із використанням звичайних цитологічних методів.

Закономірності успадкування ознак у автополіплоїдів, алополіплоїдів і анеуплоїдів специфічні для кожного типу хромосомних змін і сильно відрізняються від менделівських закономірностей, що спостерігаються у диплоїдних організмів. При генетичному аналізі успадкування ознак у поліплоїдів враховують такі їх особливості.

1. При схрещуванні гібридів тетраплоїдів можуть утворюватися форми: АААА – квадриплекс, аааа – нуліплекс, АААа – триплекс, ААаа – дуплекс, Аааа – симплекс.

2. У результаті поліплоїдії часто (особливо у незбалансованих поліплоїдів) спостерігається порушення нормального ходу мейозу, що призводить до стерильності або різкого зниження фертильності.

3. Частота утворення рецесивних форм у поліплоїдів є значно нижчою, ніж у диплоїдів, тому автополіплоїди фенотипічно більш стабільні і проявляють свою алельну мінливість значно слабкіше.

4. Часто відзначається неоднакова життєздатність особин різних класів розщеплення, що залежить від дози домінантних і рецесивних алелів у генотипі, а успадкування домінантних генів нерідко відбувається за типом полімерії.

У цілому, успадкування у поліплоїдів залежить від багатьох причин

(часткового зчеплення генів з центромерою, типу кон'югації гомологічних хромосом і характеру їх розходження в анафазі I мейозу), тому, зазвичай, не можна точно передбачити результати схрещувань.

При вирішенні задач на автополіплоїдію послідовно проводять виписку всіх типів гамет, припускаючи, що всі гомологи кон'югують один з одним, утворюючи триваленти (у триплоїдів), тетраваленти (у тетраплоїдів) і т.ін., а потім розходяться в різних поєднаннях. Наприклад, у тетраплоїдів малюють чотирикутник, у кутах якого відзначають алелі, які з'єднують один з одним лініями у всіх можливих поєднаннях (рис. 15).

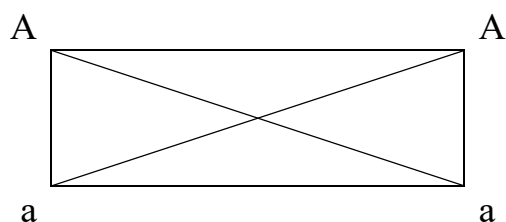


Рис. 15. «Гаметний прямокутник» для дуплекса (AAaa)

Підраховують можливі поєднання алелів при рівномірному розходження гомологічних хромосом з утворенням збалансованих гамет і при нерівномірному розходженні гомологів з утворенням незбалансованих гамет. Частоти гамет визначають за кількістю можливих варіантів розбіжності (число ліній), що дають одні і ті ж типи гамет. Наприклад, дуплекс AAaa при бівалентній кон'югації дає три типи гамет у співвідношенні 1AA : 4Aa : 1aa. Решітка Пеннета дозволяє встановити розщеплення серед нащадків при самозапиленні:

	AA	4Aa	aa
AA	AAAA	4AAAa	AAaa
4Aa	4AAAa	16AAaa	4Aaaa
aa	AAaa	4Aaaa	aaaa

У випадку повного домінування розщеплення за фенотипом складе 35A_ : 1aaaa; за генотипом – 1AAAA : 8AAAa : 18AAaa : 8Aaaa : 1aaaa.

Приклади розв'язування задач:

Задача 1. Скільки гамет і яких типів утворює триплоїд Ааа?

Триплоїд Ааа утворює чотири типи гамет: АА, А, Аа й а, а кількість гамет буде 6: АА, 2А, 2Аа й а.

Задача 2. Яке розщеплення очікується при схрещуванні триплоїда Ааа з диплоїдом Аа?

Триплоїд Ааа утворює чотири типи гамет: А, 2Аа, 2а й аа, а диплоїд Аа – два типи: А і а. Складемо решітку Пеннета й випишемо типи гамет:

	А	а
А	АА	Аа
2Аа	2ААа	2Ааа
2а	2Аа	2аа
аа	Ааа	ааа

Розщеплення за генотипом буде: 1АА : 2ААа : 3Ааа : 1ааа : 2 аа, за фенотипом – 9А : 3а або 3А : 1а.

Задача 3. Які фенотипи та у якому співвідношенні можна отримати при схрещуванні двох автотетраплоїдів дуплекса та симплекса?

Розв'язання: 1. Генотипи батьківських форм – Аааа × Аааа.

2. Дуплекс утворює гамети: АА : 4Аа : аа, симплекс – Аа : аа

3. Складемо решітку Пеннета:

	Аа	аа
АА	АААа	ААаа
4Аа	4ААаа	4Аааа
аа	Аааа	аааа

У випадку повного домінування розщеплення за фенотипом складе 11А_ : 1аааа.

Задача 4. Яке число хромосом повинен мати фертильний гібрид від схрещування одного виду рослини ($2n=18$) з іншим видом ($2n=24$)?

Розв'язання: 1. Запишемо схему схрещування, позначивши геноми видів: А ($n=9$) та В ($n=12$).

Складаємо схему схрещування.

P	2A	×	2B
	вид 1		вид 2
G	A		B
F ₁	AB		
	амфідиплоїд		

У F₁ утворюється стерильний амфідиплоїд – АВ, який має $2n=A+B(9+12)=21$ хромосому. У результаті поліплоїдизації можливе утворення фертильного амфідиплоїду (AABV), що матиме $4n=42$.

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: поліплоїдія алополіплоїдія автополіплоїдія анеуполіплоїдія гаплоїдія основне число хромосом поліплоїдний ряд квадриплекс триплекс дуплекс симплекс нуліплекс.
2. Розгляньте насіння диплоїдного та поліплоїдного жита. Зробіть висновки щодо морфології цих видів при зміні плоїдності.
3. Проведіть поліплоїдизацію льону (жита), дотримуючись методики.
4. Розв'яжіть генетичні задачі (за вказівкою викладача).
5. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Поняття про поліплоїдію й поліплоїдні ряди.
2. Гаплоїди, методи їх одержання, використання в селекції.
3. Чим відрізняються автополіплоїди від алополіплоїдів?
4. Чи можна вважати триплоїдні клітини ендосперму зернівок злаків поліплоїдними?
5. Значення поліплоїдії у селекції рослин.
6. У чому полягає еволюційне значення поліплоїдії?

Практична робота №15

Тема. Генетична структура рослинних популяцій.

Мета: опанувати методикою визначення генетичної структури популяцій.

Методичні рекомендації.

Популяцією називається сукупність особин одного виду, що займають визначений ареал, вільно схрещують між собою, мають спільне походження і в тій або іншій мірі ізольовані від інших популяцій даного виду.

Генетична структура популяції – частота перебування в ній особин, що мають усі можливі поєднання в своєму генотипі домінантних і рецесивних алелів відповідних генів - AA , Aa , aa , або частоту знаходження кожного алеля даного гену.

Генетична структура популяції підпорядковується закону Харді-Вайнберга:

„У необмежено великій популяції при відсутності відбору і мутуванні даних генів та відсутності міграції, числові співвідношення генотипів AA , aa й Aa залишаються з покоління в покоління постійними.“

Математичним вираженням закону Харді-Вайнберга є формула:
 $p^2 AA + 2pqAa + q^2 aa = 1$, що дозволяє розраховувати частоту алелів і генотипів у кожній панміктичній популяції (*панміксія* - однакова імовірність перебування гамет при вільному перезапиленні всіх рослин у популяції).

Згідно з законом Харді-Вайнберга в панміктичній популяції концентрація (частота) алелів залишається постійною нескінченне число поколінь. Якщо концентрацію алелів A і a позначити відповідно p і q ($p+q=1$), то співвідношення генотипів за формулою Харді-Вайнберга буде $p^2 AA + 2pqAa + q^2 aa = 1$.

Визначити генетичну структуру популяції — означає знайти концентрацію алелів у ній. Визначення концентрації алелів проводять прямим шляхом або з використанням формули Харді-Вайнберга.

Концентрацію алелів у популяції найбільш точно можна обчислити прямим шляхом. Це можливо в тому разі, якщо фенотипово ідентифікуються всі генотипи (як гомо- так і гетерозиготні). Розв'язання задачі зводиться до обліку особин у кожному фенотиповому класі й підрахунку кількості алелів у особин, які складають цей клас. Так, гомозиготи несуть два однакових алеля, а гетерозиготи — два різних.

Приклад 1. У рослини нічна красуня червоний колір квіток неповністю домінує над білим. Гібриди від схрещування червоноквіткових і білокріткових рослин мають рожеві квітки. На ділянці площею 100 м² росте 4169 червоноквіткових, 3780 рожевих та 756 білокріткових рослин. Визначте частоту алелів червоного і білого забарвлення квітки нічної красуні у даній популяції.

Дано:	Розв'язання:
Забарвлення квіток:	Кількість алелів
червоних (AA) – 4169	$A = 4169 \times 2 + 3780 = 12118$
рожевих (Aa) – 3780	Кількість алелів
білих (aa) – 756	$a = 756 \times 2 + 3780 = 5292$
	Сума = 17410
Знайти: p_A і q_a	$p + q = 1$
	$p_A = \frac{12118}{17410} = 0,696;$
	$q_a = 1 - 0,696 = 0,304$
	Відповідь: $p_A = 0,696; q_a = 0,304$

Якщо особини з генотипами AA і Aa фенотипово не розрізнені, то концентрацію алелів обчислюють за формулою Харді-Вайнберга. Формулу можна використовувати тільки тоді, коли є впевненість, що популяція наближається до ідеальної, у протилежному разі результат буде перекручений.

Приклад 2. У озимого жита опушення соломини під колосом домінує над відсутністю опушення та успадковується моногенно. В популяції жита сорту В'ятка при аналізі апробаційного снопу було виявлено 4 рослини із 500, у яких відсутнє опушення під колосом. Яка частота рецесивного та домінантного алеля в популяції?

Жито – перехреснозапильна культура, розмножується статевим, тому вважаємо, що популяція панміктична. Зважаючи на те, що мутації виникають нечасто, ними можна знехтувати. Аналіз рослин з апробаційного снопу дозволить зробити висновок про генетичну структуру всієї популяції жита цього сорту.

Дано:	Розв'язання
Опушення соломини жита:	$p + q = 1$
A – опушена	$p^2AA + 2pqAa + q^2aa = 1$
a – неопушена	опуш. опуш. неопуш.
$A > a$	$q^2aa = \frac{4}{500} ; q_a = \sqrt{0,008} = 0,09$
Об'єм популяції – 500	$p_A = 1 - q = 0,91$
неопушених рослин – 4	
Знайти: p_A і q_a	Відповідь: $p_A = 0,91; q_a = 0,9$

Якщо ген зчеплений з X -хромосоною, частоти генотипів у гомогаметної статі відповідають формулі Харді-Вайнберга, а в гетерогаметної статі частоти генотипів дорівнюють частотам алелів.

За множинного алелізму частоти генотипів такі: частка гомозигот дорівнює квадратам частот відповідних алелів, частка гетерозигот – це подвоєний добуток частот відповідних алелів. Зокрема, для триалельної системи (pA_1, qA_2, rA_3) формула така:

$$p^2A_1A_1 + q^2A_2A_2 + r^2A_3A_3 + 2pqA_1A_2 + 2prA_1A_3 + 2qrA_2A_3 = 1.$$

Завдання:

1. У робочому зошиті дайте визначення таким термінам: популяція, генетична структура популяції, мутагенний тиск, коефіцієнт добору.
2. Розв'яжіть генетичні задачі (за вказівкою викладача).
3. Сформулюйте узагальнюючі висновки відповідно до мети заняття.

Контрольні запитання:

1. Що таке популяція? Які існують популяції?
2. Яку популяцію прийнято вважати панміктичною?
3. Поясніть поняття чисті лінії.
4. Опишіть способи визначення співвідношення частот генів і генотипів у популяції.
5. Сформулюйте закон Харді-Вайнберга.
6. Поясніть закономірності генетичної структури популяцій і чистих ліній.

Додаток 1

Кількість хромосом у соматичних клітинах культурних рослин

Назва виду	Диплоїдний набір (2n)
Абрикос (<i>Armeniaca vulgaris</i>)	16
Айва японська (<i>Chaenomeles japonica</i>)	34
Алича (<i>Prunus capsica</i>)	16
Арахіс, земляний горіх (<i>Arachis hipogaea</i>)	40
Бавовник звичайний (<i>Gossypium hirsutum</i>)	52
Баклажан (<i>Solanum melongena</i>)	24, 36, 48
Буряк цукровий (<i>Beta vulgaris</i>)	18
Виноград культурний (<i>Vitis vinifera</i>)	76
Вишня звичайна (<i>Cerasus vulgaris</i>)	32
Гарбуз звичайний (<i>Cucurbita pepo</i>)	40
Гірчиця біла (<i>Sinapis alba</i>)	24
Горіх грецький (<i>Juglans regia</i>)	32
Горох посівний (<i>Pisum sativum</i>)	14
Гречка культурна (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	16
Груша звичайна (<i>Pyrus communis</i>)	34
Жито посівне (<i>Secale cereale</i>)	14
Кавун столовий (<i>Citrullus vulgaris</i>)	22
Капуста білокачанна (<i>Brassica oleracea</i>)	18
Картопля (<i>Solanum tuberosum</i>)	48
Квасоля звичайна (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	22
Коноплі посівні (<i>Cannabis sativa</i>)	20
Конюшина лучна (<i>Trifolium pratense</i>)	14
Кріп (<i>Anetum graveolens</i>)	22
Кукурудза (<i>Zea mays</i>)	20
Лимон (<i>Citrus limon</i>)	18, 36
Льон-довгунець (<i>Linum usitatissimum</i>)	30, 32
Люцерна посівна (<i>Medicago sativa</i>)	32, 64

Малина (<i>Rubus idaeus</i>)	14, 21, 28
Морква (<i>Daucus carota</i>)	18
Овес посівний (<i>Avena sativa</i>)	42
Огірок посівний(<i>Cucumis sativus</i>)	14
Перець однорічний (<i>Capsicum annuum</i>)	24
Персик звичайний (<i>Persica vulgaris</i>)	16
Просо звичайне (<i>Panicum miliaceum</i>)	36
Пшениця двозернянка (полба) (<i>Triticum dicoccum</i>)	28
Пшениця м'яка (<i>Triticum aestivum</i>)	42
Пшениця однозернянка (<i>Triticum monococcum</i>)	14
Пшениця тверда (<i>Triticum durum</i>)	28
Рис посівний (<i>Oryza sativa</i>)	24
Слива домашня (<i>Prunus domestica</i>)	48
Смородина червона (порічки) (<i>Ribes rubrum</i>)	16
Смородина чорна (<i>Ribes nigrum</i>)	16
Соняшник культурний (<i>Helianthus annuus</i>)	34
Сочевиця звичайна (<i>Lens esculenta</i>)	14
Суниця лісова (<i>Fragaria vesca</i>)	14
Суниця мускатна, полуниця (<i>Fragaria moschata</i>)	42
Суниця садова (<i>Fragaria grandiflora</i>)	56
Томат справжній (<i>Lycopersicum esculentura</i>)	24
Топінамбур (<i>Helianthus tuberosus</i>)	102
Тютюн (<i>Nicotiana tabacum</i>)	48
Хміль звичайний (<i>Humulus lupulus</i>)	16
Цибуля ріпчаста (<i>Allium cepa</i>)	16
Черешня (<i>Cerasus avium</i>)	16, 24, 32
Яблуня культурна (<i>Malus domestica</i>)	34
Ячмінь багаторядний (<i>Hordeum vulgare</i>)	14

Додаток 2

Кодони і- РНК, що відповідають двадцятьом амінокислотам (генетичний код клітини)

Перший нуклеотид	Другий нуклеотид				Третій нуклеотид
	У	Ц	А	Г	
У	фен	сер	тир	цис	У
	фен	сер	тир	цис	Ц
	лей	сер	<i>стоп</i>	<i>стоп</i>	А
	лей	сер	<i>стоп</i>	трип	Г
Ц	лей	про	гіс	арг	У
	лей	про	гіс	арг	Ц
	лей	про	гln	арг	А
	лей	про	гln	арг	Г
А	іле	тре	асн	сер	У
	іле	тре	асн	сер	Ц
	іле	тре	ліз	арг	А
	мет	тре	ліз	арг	Г
Г	вал	ала	асп	глі	У
	вал	ала	асп	глі	Ц
	вал	ала	глу	глі	А
	вал	ала	глу	глі	Г

Примітка: фен – фенілаланін, лей – лейцин, іле – ізолейцин, мет – метіонін, вал – валін, сер – серин, про – пролін, тре – треонін, ала – аланін, тир – тирозін, гіс – гістидин, гln – глутамін, асн – аспарагін, асп – аспарагінова кислота, ліз – лізин, глу – глутамінова кислота, цис – цистеїн, трип – триптофан, арг – аргінін, глі – гліцин.

А - аденін, Г - гуанін, Ц - цитозин, У - урацил;

стоп - умовні назви беззмістовних триплетів, "стоп-сигнали".

Додаток 3

Число класів гібридних особин за фенотипом і генотипом та характером розщеплення в F₂ при різній кількості пар ознак (повне домінування)

Схрещування	Число пар альтернативних ознак	Кількість гамет	Кількість можливих комбінацій гамет	Число класів		Число 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	$2^4=16$	$4^4=256$	$2^4=16$	$3^4=81$	81:27:27:27:27:9:9:9:9:9:9:3:3:3:3:1
Полігібридне	n	2^n	4^n	2^n	3^n	$(3:1)^n$

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамова З. В. Практикум по генетике. М. : Агропромиздат, 1992. 224 с.
2. Боярчук О.Д., Грановський О.Е., Грищук А.В. Генетика з основами селекції : навчальний посібник. Полтава. ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка : Миргород, 2023. 188 с.
3. Волков Р. А., Язловицька Л. С. Генетика: збірник задач. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. 204 с.
4. Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть : у 4 т./ редкол.: В. В. Моргун та ін. Київ : Логос. 2001.
5. Завірюха П. Д., Неживий З. П., Голячук Ю. С. Генетика рослин : практикум. Львів : Камула, 2014. 320 с.
6. Кандиба Н. М. Генетика. Курс лекцій : навчальний посібник. Київ : Університетська книга, 2022. 397 с.
7. Кравців Р. Й., Колотницький А. Г., Буцяк В. І. Генетична інженерія. Львів : Видавництво ЛНАВМ, 2008. 344 с.
8. Лановенко О. Г. Генетика : підручник : у 2 ч. Херсон. держ. ун-т. Херсон : Вишемирский В. С. 2019. Ч. 1 : Закономірності та механізми спадковості. 2019. 311 с.
9. Макрушин М. М., Созінов О. О. Генетика сільськогосподарських рослин. Київ : Урожай, 1996. 260 с.
10. Марценюк І. М. Генетика : робочий зошит для виконання практичних робіт здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПІ «Агрономія» спеціальності 201 «Агрономія» денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2022. 56 с.
11. Марценюк І. М. Генетика. Практикум : навчальний посібник. Миколаїв : МНАУ, 2014. 148 с.
12. Марценюк І. М. Генетика : збірник тестових завдань для контролю знань здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПІ «Агрономія» спеціальності 201 «Агрономія» денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2023. 72 с.
13. Сиволоб А. В. Молекулярна біологія : підручник. 2-ге вид., перероб. і доп. К. : ВПЦ "Київський університет", 2023. 511 с.
14. Трофименко О. Л., Гиль М. І., Сметана О. Ю. Генетика популяцій : підручник. Одеса : Гельветика, 2021. 252 с.

Навчальне видання

ГЕНЕТИКА

Методичні рекомендації

Укладач: **Марценюк Ігор Михайлович**

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 4,0.

Наклад 25 прим. Зам. № __

Надруковано у видавничому відділі

Миколаївського національного аграрного університету

54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.

