

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет агротехнологій  
Кафедра виноградарства та плодоовочівництва

## **ГЕНЕТИКА**

### **Методичні рекомендації**

до виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти ступеня  
“бакалавр” спеціальності 201 “Агрономія” денної форми навчання

МИКОЛАЇВ

2020

УДК 631.523  
Г34

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету агротехнологій Миколаївського національного аграрного університету від 21.05.2020 року, протокол №9.

Укладач:

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

Рецензенти:

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

Л. Б. Ушакова – вчитель біології вищої категорії, Миколаївська ЗОШ І-ІІІ ступенів №50 ім. Г.Л. Дівіної.

## Зміст

<b>Передмова</b>	5
<b>1. МОДУЛЬ I. Цитологічні та молекулярні основи спадковості.</b>	
<i>1.1. Практична робота №1. Підрахунок кількості хромосом у рослинних препаратах</i>	6
<i>1.2. Практична робота №2. Морфологічна ідентифікація хромосом</i>	8
<i>1.3. Практична робота №3. Розподіл генетичної інформації в клітині при мітозі</i>	12
<i>1.4. Практична робота №4. Розподіл генетичної інформації в клітині при мейозі</i>	15
<i>1.5. Практична робота №5. Гаметогенез і подвійне запліднення у рослин</i>	18
<i>1.6. Практична робота №6. Структура і функції нуклеїнових кислот</i>	21
<i>1.7. Практична робота №7. Реалізація спадкової інформації через білковий синтез</i>	24
<b>2. МОДУЛЬ II. Закономірності успадкування ознак при внутрішньовидовій гібридизації</b>	
<i>2.1. Практична робота №8. Закономірності успадкування при моногібридному схрещуванні</i>	27
<i>2.2. Практична робота №9. Закономірності успадкування при дигібридному та полігібридному схрещуваннях</i>	32
<i>2.3. Практична робота №10. Взаємодія неалельних генів</i>	35
<i>2.4. Практична робота №11. Зчеплене успадкування генів і кросинговер</i>	39
<i>2.5. Практична робота №12. Успадкування ознак, зчеплених зі статтю</i>	42
<i>2.6. Практична робота №13. Розв'язування генетичних задач</i>	45
<b>3. МОДУЛЬ IV. Генетика популяцій. Генетичні основи</b>	

## **селекції**

*3.1. Практична робота №14.* Генетична структура рослинних популяцій 47

*3.2. Практична робота №15.* Статистичний аналіз результатів розщеплення 51

**Додатки** 55

**Рекомендована література** 58



## **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 201 "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".

Практичний курс викладається відповідно до робочої програми з дисципліни "Генетика" для спеціальності 201 "Агрономія" та включає 15 практичних робіт.

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.

Матеріал подається з урахуванням специфіки структурно-модульної системи навчання та рейтингового оцінювання знань.

# 1. МОДУЛЬ I. Цитологічні та молекулярні основи спадковості.

## Практична робота № 1

**Тема.** Підрахунок кількості хромосом у рослинних препаратах.

**Мета:** опанувати методикою підрахунку хромосом клітинного ядра рослин; вивчити хромосомні набори основних сільськогосподарських культур.

**Обладнання на матеріали:** мікроскопи, мікропрепарати, проростки цибулі (жита, пшениці).

### 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 підігрівують 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).

### **Завдання.**

1. Приготувати тимчасовий мікропрепарат молодих корінців цибулі (жита, пшениці).
2. Підрахувати кількість хромосом у соматичних клітинах рослин.
3. Записати у зошит диплоїдні набори хромосом основних сільськогосподарських культур та запам'ятати їх.

### **Питання до обговорення:**

1. Що таке хромосоми, які їх функції?
2. Дайте визначення поняття гаплоїдний, диплоїдний набори хромосом?
3. Охарактеризуйте основні поняття, пов'язані з каріотипом організмів.
4. Назвіть кількість хромосом у диплоїдному наборі основних сільськогосподарських культур (пшениця, ячмінь, кукурудза, горох та ін).

## Практична робота № 2

**Тема.** Морфологічна ідентифікація хромосом.

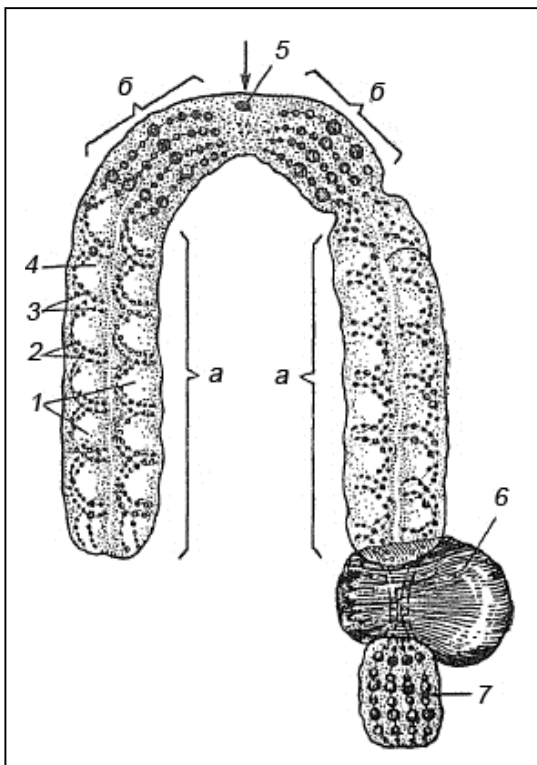
**Мета:** вивчити морфологічні особливості хромосом як носіїв спадкової інформації живого організму.

**Обладнання та матеріали:** мікроскопи, мікропрепарати, мікрофотографії.

**Методичні рекомендації.**

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

Морфологію хромосом вивчають на стадії метафази 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 хромонери,  
3 – хромери, 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* ( $l$ ) – 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 *рівноплечою*, 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 (рівноплеча); б – субметацентрична; в – акроцентрична.

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

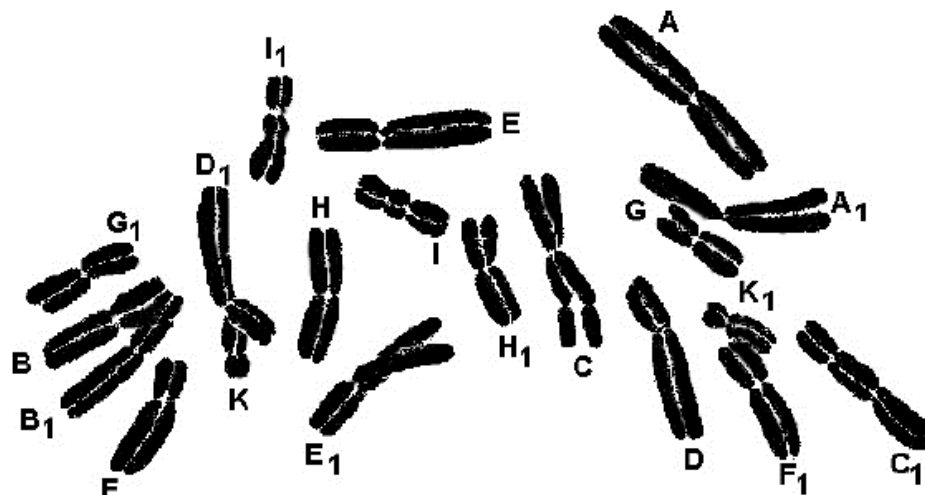
Графічне (або фотографічне) зображення каріотипу з метою виявлення морфологічних відмінностей хромосом називають *каріограмою*. При цьому гомологічні хромосоми розташовують парами від найкрупніших до найдрібніших, а центромери перебувають на одній лінії. Графічне зображення хромосом з усіма структурно-морфологічними 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: AA<sub>1</sub>, BB<sub>1</sub>, CC<sub>1</sub> і т.д. Потім пари розбиваються на класи: L<sub>m</sub> (AA<sub>1</sub>), M<sub>m</sub> (BB<sub>1</sub>), M<sub>mc</sub> (CC<sub>1</sub>), M<sub>s</sub>(DD<sub>1</sub>, EE<sub>1</sub>, FF<sub>1</sub>), S<sub>m</sub>(JJ<sub>1</sub>, HH<sub>1</sub>), S<sub>mc</sub>(II<sub>1</sub>) та S<sub>a</sub>(KK<sub>1</sub>). 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. Розглянути мікропрепарат корінців цибулі на стадії метафази.
2. Вивчити метафазну пластинку, мікрофотографії, зарисувати основні морфологічні форми хромосом.
3. Розшифрувати формулу каріотипу жита:

$$3L_m + 1L_m^c + 1L_s + 1M_m + 1M_s^t$$

і дати відповіді на такі запитання:

- кількість хромосом у диплоїдному наборі?
- кількість хромосом у гаплоїдному наборі?
- кількість довгих, середніх і коротких хромосом?
- кількість метацентричних, субметацентричних і акроцентричних хромосом?
- кількість супутникових хромосом?
- кількість довгих метацентричних хромосом?
- кількість середніх метацентричних хромосом?

### **Питання до обговорення:**

1. Назвіть основні типи хромосом, що виділяються за положенням центромери.
2. Опишіть будову хромосом. Що таке хроматиди, центромера, плечі, первинна і вторинна перетяжка?
3. Що таке каріотип? За якими ознаками систематизують хромосоми?

### Практична робота № 3

**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).

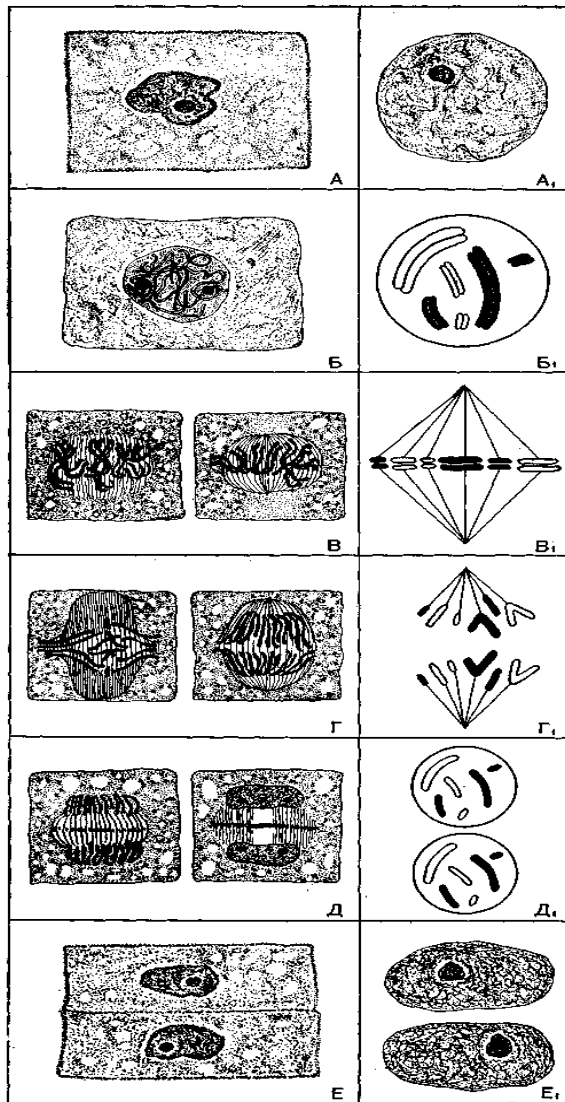


Рис.4. Мітотичний поділ клітини кінчика корінця цибулі (зліва) та схема поділу матеріалу ядра при мітозі (праворуч):

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 клітини, 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.3.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.3.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 апоміксисі, в основі яких лежить мітоз, нащадки мають такий же генотип, як і батьківська особина.

**Завдання:**

1. Знайти на препаратах (під мікроскопом) та розглянути різні фази мітозу – профазу, метафазу, анафазу і телофазу.
2. Підрахувати кількість клітин, що перебувають на різних фазах поділу в полі зору мікроскопа постійного препарату "Мітоз у корінцях цибулі".
3. Зарисувати фази мітозу.

**Запитання до обговорення:**

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 біологічна суть мітозу?

## Практична робота № 4

**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.

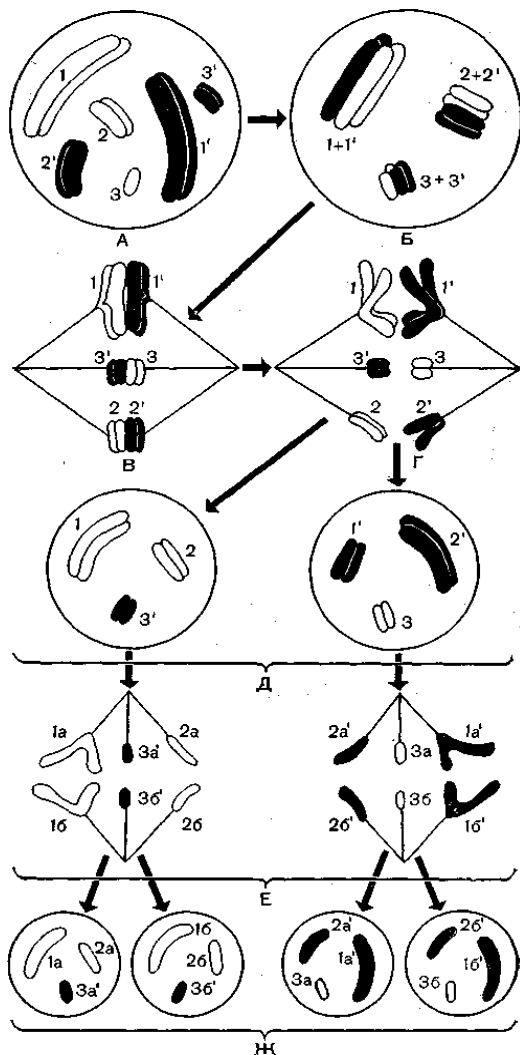


Рис. 5. Схема поведінки "умовної" клітини ( $2n=6$ ) при мейозі:

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).

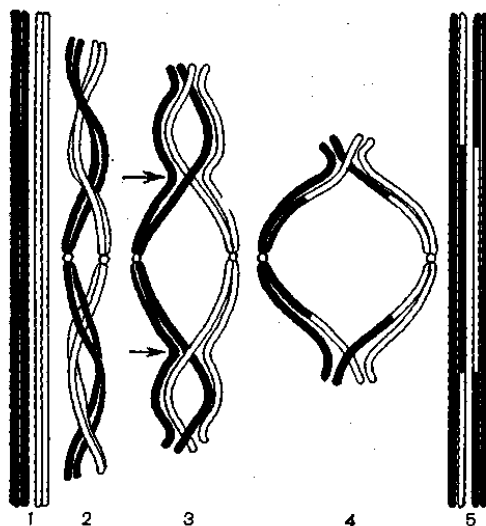


Рис. 6. Схема кросинговеру під час мейозу:

- 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 – профаза II, метафаза II, анафаза II, телофаза II, які протікають як і при мітозі. Проте, на відміну від мітозу, екваційний поділ мейозу не дає генетично рівноцінних ядер.

**Завдання:**

1. Вивчити за схемою (рис. 4) та мікрофотографіями процеси, що відбуваються під час мейозу.
2. Зарисувати ядра клітин на стадії диплотени; діакінезу.
3. Заповнити таблицю:

Стадія	Мітоз	Мейоз

4. Зробити висновок про біологічне значення мейозу.

**Питання до обговорення:**

1. Скільки поділів відбувається під час мейозу?
2. Охарактеризуйте різницю 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?

## Практична робота № 5

**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.

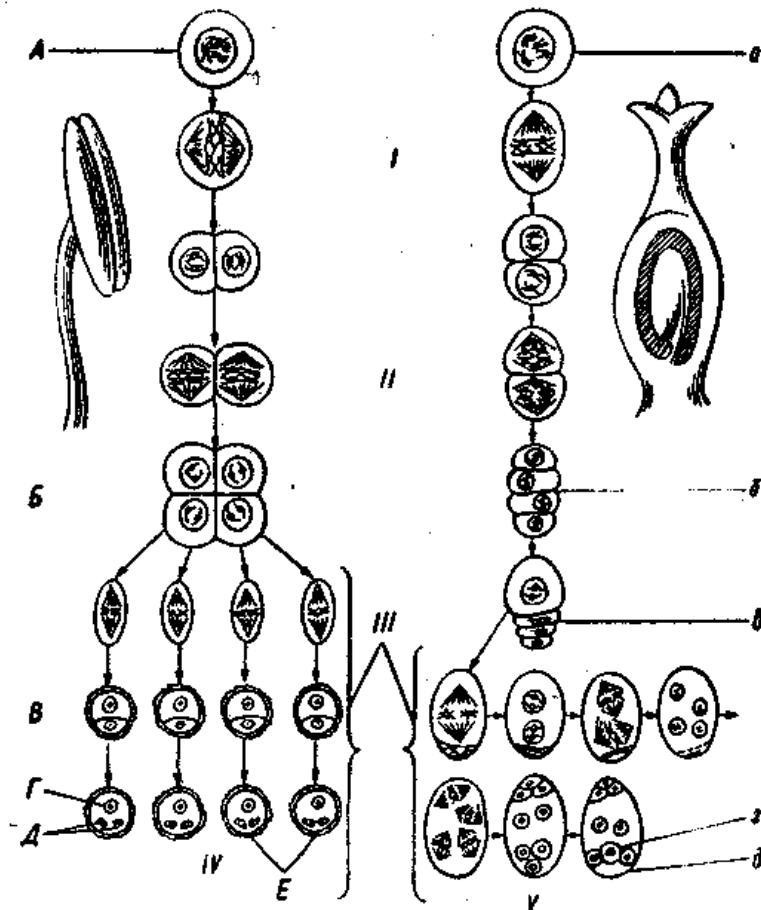


Рис. 7. Утворення пилкових зерен та зародкових мішків у квіткових рослин:

I – метафаза I; II – метафаза II; III – гаплофраза; IV – процес дозрівання чоловічих клітин; V – процес дозрівання жіночих клітин; А – материнська клітина мікроспори; Б – тетрада мікроспор; В – перший мітоз у мікроспорах; Г – вегетативне ядро; Д – спермії; Е – зріле пилкове зерно; а – материнська клітина мегаспор; б – тетрада мегаспор; в – дегенерація трьох мегаспор; з – яйцеклітина; д – зрілий зародковий мішок.

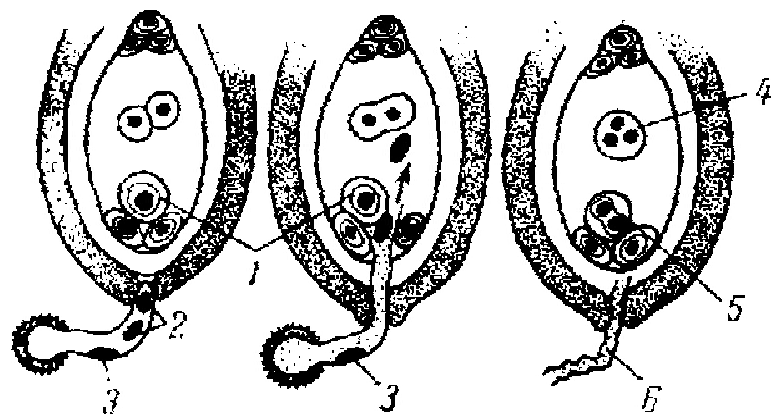


Рис. 8. Процес запліднення у квіткових рослин:

1 – яйцеклітина; 2 – ядра спермій; 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 було зроблено С.Г. Навашиним у 1898 році. З подвійним заплідненням пов'язана генетична природа *ксенійності* – явища прояву ознак батьківської рослини у гібридного насіння та плодів.

**Завдання:**

1. Описати процес мікрогаметогенезу й мегагаметогенезу за схемою рис.6. Вивчити будову пилкового зерна і зародкового мішка, визначити активні компоненти – носії спадкової інформації.
2. Описати основні етапи подвійного запліднення у рослин за схемою рис.7.
3. Ознайомитись із явищем ксенійності на зернівках початків кукурудзи.

**Запитання до обговорення:**

1. Що означають терміни: “вегетативна клітина”, “генеративна клітина”?
2. У яких органах відбувається мікроспорогенез і макроспорогенез?
3. Поясніть суть подвійного запліднення. Чому воно одержало таку назву?



## Практична робота № 6

**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: дизоксирибонуклеїновою (ДНК) і рибонуклеїновими кислотами (РНК).

Мономерами нуклеїнових кислот є *нуклеотиди*. 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 пурины (аденін і гуанін) входять до складу ДНК і РНК. Два піримідини (цитозин і тимін) входять до складу ДНК. У РНК замість тиміну є урацил.

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.8).

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. 9).

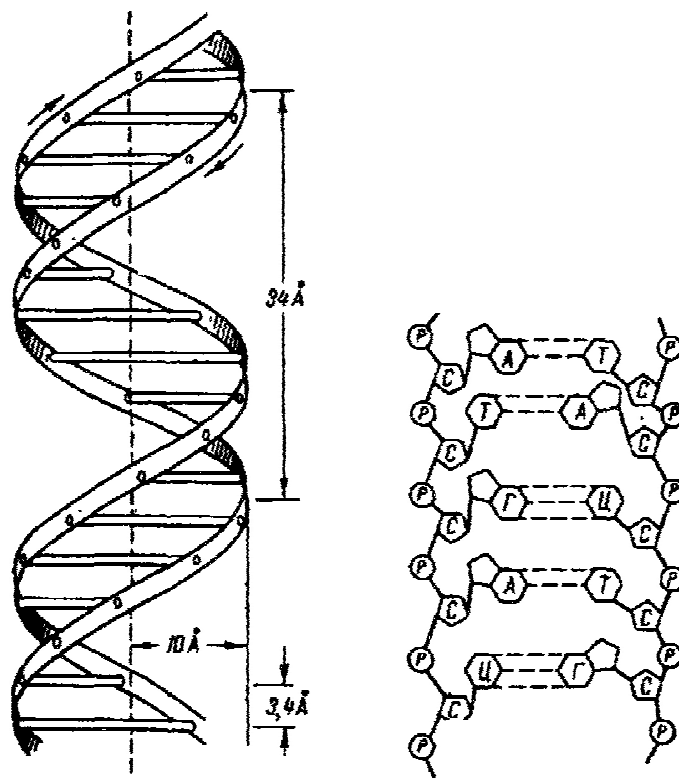


Рис. 9. Будова молекули ДНК:

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

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.

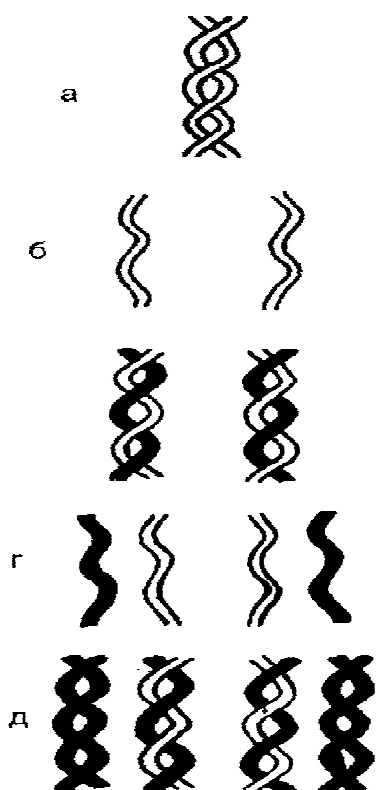


Рис. 10. Схема напівконсервативного способу синтезу ДНК:

*а* — вихідна молекула ДНК; *б* — утворення 2-х одониткових матриць; *в* — дочірні молекули. Кожна з них складається з одної материнської та одної заново синтезованої нитки; *г* — утворення 4-х одониткових матриць. Дві з них заново синтезовані; *д* — чотири молекули другого покоління, в яких міститься 8 ниток. З них — 6 заново синтезованих, а 2 походять від вихідної молекули

### Завдання:

1. Вивчити молекулярно-структурну будову ДНК за рис. 9
2. Описати процес реплікації ДНК за схемою рис. 10.
3. Встановити будову одного із двох ланцюгів ДНК, на які розпалася молекула, якщо інший має таку будову:

ТАГАЦТГГТАЦАЦТГГГТГАГТГ....

### Запитання до обговорення:

1. Що таке нуклеїнові кислоти? Які функції вони виконують?
2. Назвіть основні відмінності (структурні та функціональні) між ДНК та РНК.
3. У чому полягає компліментарність азотистих основ? Які основи нуклеїнових кислот компліментарні?
4. Які і коли відбувається самоподвоєння ДНК? Чому цей процес називають напівконсервативним?

## Практична робота № 7

**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.10):

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).

II етап – *трансляція* – процес переведення нуклеотидної послідовності і-РНК в амінокислотну послідовність білкової молекули, що відбувається в рибосомах.

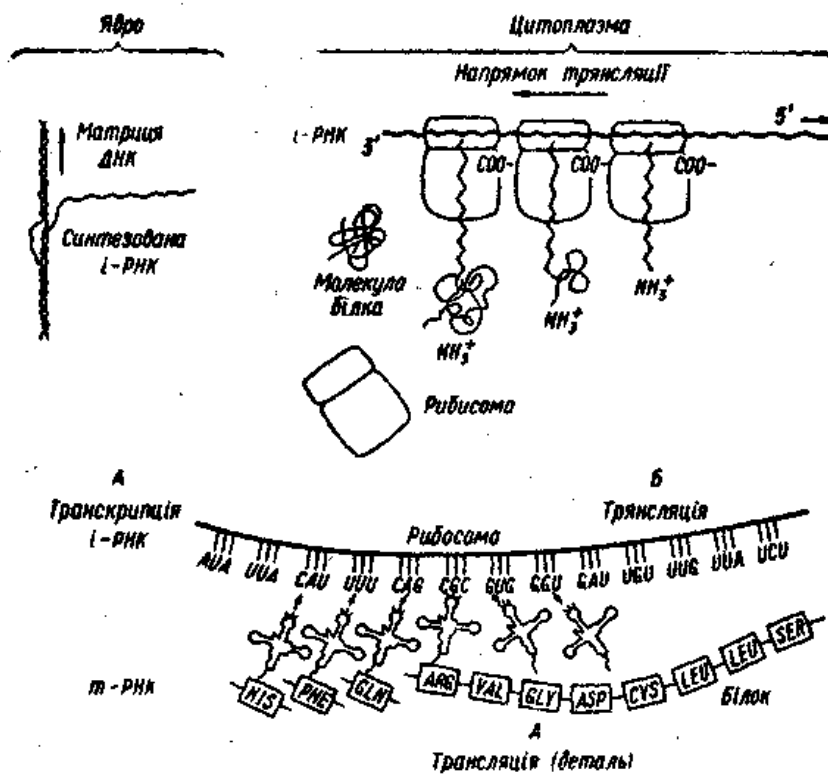


Рис. 11. Схема білкового синтезу (за Ayala, 1976)

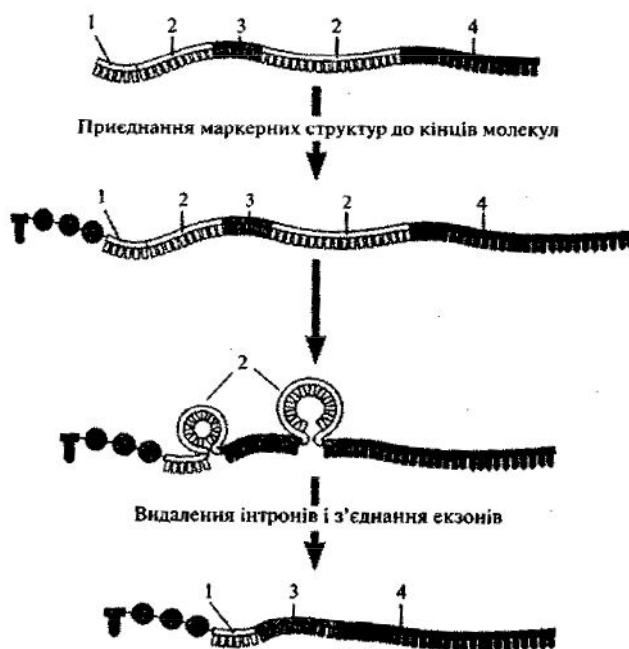


Рис. 12. Сплайсинг РНК: 1,3,4 – екзони, 2 – інтрони

Механізм трансляції полягає в тому, що три нуклеотиди т-РНК (антикодон) утворюють комплементарний зв'язок з трьома нуклеотидами і-РНК (кодоном) і визначають місцезнаходження 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.

### **Завдання:**

1. Описати процеси транскрипції та трансляції відповідно до рис. 11.
2. Використовуючи таблицю генетичного коду (додаток 2), складіть графічні моделі первинної структури білкових молекул, що синтезуються на *і-РНК*–матрицях із такими послідовностями азотистих основ:
  - а) ГГЦАУГАЦЦГУЦ;
  - б) АУГЦГАУУЦАЦГЦГУ;
  - в) УУУЦЦУУЦАААГГГАУГАГГУ.
3. Послідовність нуклеотидів в і-РНК: ААУУАЦГУЦААУУАЦ. Який поліпептид синтезується на цій матриці? Що відбудеться, якщо між 9-м та 10-м нуклеотидами буде вставлений урацил?

### **Запитання до обговорення:**

1. Що таке первинна структура білка?
2. Що означають поняття: “транскрипція”, “трансляція”, “кодон”?
3. Що таке генетичний код? Які його властивості?
4. Назвіть основні етапи біосинтезу білків?
5. Чим зумовлена різноманітність фізико-хімічних властивостей білків?

## 2. МОДУЛЬ II. Закономірності успадкування ознак при внутрішньовидовій гібридизації

### Практична робота №8

**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 *решитку 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 множення  $\times$ , материнську форму –  $\varnothing$ , батьківську –  $\sigma$ .

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 відповідну алель чи алелі:  $\bigcirc A \bigcirc a \bigcirc AB \bigcirc av$

6. Розв'язуючи генетичні задачі слід:

6.1. Зробити скорочений запис умови за допомогою генетичної символіки;

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

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 –  $Aa$

### Задачі:

1. У квасолі чорне забарвлення насінневої шкірки  $A$  домінує над білим  $a$ . Які типи гамет утворюють рослини, що мають генотипи  $AA$ ,  $Aa$ ,  $aa$ .

2. Визначити забарвлення насіння квасолі у рослин, одержаних у результаті наступних схрещувань (див. умову задачі №1):  $Aa \times Aa$ ,  $Aa \times AA$ ,  $aa \times AA$ ,  $Aa \times aa$ .

3. У вівса стійкість до сажки домінує над ураженістю. Рослину сорту, ураженого сажкою, схрещено з рослиною, гомозиготною за стійкістю до цієї хвороби. Визначити:

- а) генотипи і фенотипи гібридів  $F_1$ ;
- б) генотипи і фенотипи гібридів  $F_2$ ,
- в) результати зворотних схрещувань гібридів  $F_1$  з кожною з батьківських форм.

4. У томатів шкірочка плодів може бути гладкою чи опушеною. Один сорт має плоди гладкі, інший - опушені. При їхньому схрещуванні  $F_1$  має гладкі плоди, у  $F_2$  - 174 рослини з опушеними і 520 - з гладкими плодами. Як успадковується опушеність?

5. Знайдено форму огірків із квітками, що не відкриваються, але їх можна відкрити для штучного запилення. Дайте символи генів і визначте генотипи батьків у наступних схрещуваннях :

- а) закриті квітки  $\times$  відкриті -  $F_1$  (усі квітки відкриті);
- б)  $F_1 \times F_1 - F_2$  (145 рослин з відкритими квітками, 59 - із закритими);
- в) закриті квітки  $\times F_1 - F_a$  (81 рослина з відкритими квітками і 77 - із закритими).

### **Питання до обговорення:**

1. Пояснити терміни: *алель, гетерозиготний, гомозиготний, домінантний, рецесивний.*
2. Яке схрещування називають моногібридним?
3. Дати визначення понять “генотип” та “фенотип”.
4. Сформулювати перший закон Менделя.

## Практична робота №9

**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, що алельні пари генів розміщуються в різних парах гомологічних хромосом, наприклад,  $\begin{pmatrix} A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B \end{pmatrix}$ .

Унаслідок редукції числа хромосом під час гаметогенезу, у гамету від кожної пари гомологічних хромосом потрапляє лише одна. Доцільно користуватися *фенотиповим радикалом* – записом за допомогою символів тих генів організму, що визначають його фенотип. Наприклад,  $A-B-$ ,  $A-bb$ ,  $aaB-$  тощо.

При дигібридному схрещуванні в  $F_2$  буде спостерігатися розщеплення за фенотипом 9:3:3:1.

**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 червоноколосьі й остисті червоноколосьі 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 червоноколосьими.

**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 фенотипних 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.

### **Задачі:**

1. У першому поколінні від схрещування червоноколосих безостих рослин пшениці з білими остистими всі рослини мали червоний безостий колос, а в другому поколінні відбулося розщеплення:

159 червоноколосих безостих,

48 червоноколосих остистих,

57 білоколосих безостих,

16 білоколосих остистих.

Як успадковуються ознаки? Визначте генотипи вихідних рослин. Яка частина рослин  $F_2$  буде гетерозиготною? Яке розщеплення очікується в аналізуючому схрещуванні, і яку форму слід використовувати як аналізатор?

2. У вівса нормальний зріст домінує над гігантським, ранньостиглість над пізньостиглістю. Ознаки успадковуються незалежно. Схрещено ранньостиглу рослину нормального росту з пізньостиглою гігантською. Вихідні рослини гомозиготні. В якому поколінні з'являться гомозиготні ранньостиглі гіганти?

### **Питання для обговорення:**

1. Які схрещування називають дигібридними?
2. Сформулювати менделівський закон незалежного комбінування генів.
3. У яких випадках спостерігається незалежний розподіл ознак?
4. Назвати число фенотипів у  $F_2$  при повному домінуванні за обома генами.
5. 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?

## Практична робота №10

**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 алелей 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 неакумулятивну та акумулятивну полімерію. При неакумулятивній 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. *Акумулятивна* полімерія характеризується тим, що ступінь вираження ознаки залежить від кількості домінантних алелей як одного й того ж, так і різних полімерних генів. За цим типом успадковуються кількісні ознаки.

**Приклад 1.** 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  $aaII$ .
5. Гібриди першого покоління утворюють 4 типи гамет ( $AI, Ai, aI, ai$ ) і внаслідок схрещування між собою в другому поколінні виникає розщеплення:  $\underbrace{9A-I-}_{13 \text{ білі}}, \underbrace{3aaI-}_{3 \text{ пурпурові}}$  і  $3A-ii$  – пурпурові.

13 білі

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



**Приклад 2.** У курей алель  $A$  визначає горохоподібний гребінь,  $B$  — трояндоподібний; за спільного перебування в генотипі алелів  $A$  і  $B$  гребінь горіхоподібний. Взаємодія двох рецесивних алелей дає простий гребінь. Від схрещування півня й курки з горіхоподібним гребенем в  $F_1$  9 курчат мали горіхоподібний гребінь, 3 — горохоподібний, 3 — трояндоподібний, 1 — простий. Поясніть це генетичною схемою.

Скорочений запис умови задачі.

Кури. Успадкування форми гребеня.

$PP$  — горіхоподібний  $\times$  горіхоподібний

$F_1$  9 горіхоподібних; 3 трояндоподібних; 3 горохоподібних; 1 простий

Розв'язання.

Розщеплення в першому поколінні свідчить про гетерозиготність батьків і відповідає комплементарній взаємодії генів.

Оскільки розщеплення 9:3:3:1, то генотипи батьківських організмів — дигетерозиготні.

$A$  — горохоподібний гребінь

$AB$  — горіхоподібний

$B$  — трояндоподібний

$ab$  — простий

$PP$  ♀  $AaBb$   $\times$   $AaBb$  ♂

гамети  $AB, Ab, aB, ab$ ,

$F_1$  9  $A\_B\_$  - горіхоподібний гребінь

3  $A\_bb$  — трояндоподібний

3  $aaB\_$  — горохоподібний

1  $aabb$  — простий

Відповідь: Характер розщеплення ознак свідчить про комплементарну взаємодію генів.

### Задачі:

1. При схрещуванні двох рослин безвусої суниці у першому поколінні всі рослини виявилися вусатими, а в другому — з 752 рослин 419 були вусатими, а 333 — безвусими. Як успадковується ця ознака?
2. При схрещуванні гомозиготної червонозерної рослини пшени ці з білозерною у другому поколінні одержано розщеплення — 15 червонозерних до 1 білої. Визначте генотипи батьківських форм. Який тип взаємодії генів можна спостерігати на цьому прикладі?
3. Зеленозерний сорт жита при схрещуванні з білозерним дає в першому поколінні зелене насіння, а в другому — 89 зелених насінин, 28 жовтих і 39 білих. Як успадковується забарвлення насіння жита?
4. Відомо багато сортів цибулі з різним забарвленням цибулини. Від схрещування двох сортів з білими цибулинами перше покоління також має білі цибулини, а в другому спостерігається розщеплення: 78 білих і 18 забарвлених. Який тип взаємодії генів проявляється? Поясніть це генетичною схемою.
5. Схрещено два сорти вівса. В одного зерно чорного кольору (генотип  $A_1A_1A_2A_2$ ), у другого — жовтого (генотип  $a_1a_1a_2a_2$ ). Рослини, що мають проміжний генотип, фенотипово відрізняються різними відтінками забарвлення (темно-сіре, сіре, світло-сіре). Визначте фенотипи при схрещуванні  $A_1a_1A_2a_2 \times A_1a_1A_2a_2$

### Питання до обговорення:

- 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?

## Практична робота №11

**Тема.** Зчеплене успадкування генів і кросинговер

**Мета:** вивчити успадкування ознак у випадку зчеплення генів.

**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 –  $\frac{AB}{ab}$ . 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. Відповідно до цього утворюються кросоверні (рекомбінантні) гамети та некросоверні (нерекомбінантні).

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.** 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 :  $\frac{109+104+10}{984} \times 100\% = 22,6\%$

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 22,6 морганіди, а між генами  $B$  і  $C$  – 36,48 морганіди.

### Задачі:

1. У кукурудзи гладеньке насіння домінує над зморшкуватим, а забарвлене — над безколірним. Ці гени локалізовані в одній і тій самій аутосомі на відстані 3,6 морганіди. Схрещено гомозиготну рослинку з домінантними ознаками з рослиною, яка має рецесивні ознаки. Яке потомство буде від схрещування гібрида з рослиною, яка має обидві рецесивні ознаки?

2. У томатів відомі наступні пари ознак: плід округлий ( $O$ ) і плоский ( $o$ ), опушений ( $p$ ) і неопушений ( $P$ ), квітки одиночні ( $C$ ) і зібрані в суцвіття ( $c$ ). Усі три гени знаходяться в другій хромосомі. На підставі результатів аналізуючого схрещування, визначте порядок генів і відстань між ними, генотипи вихідних гомозиготних рослин:

$OPC$  -13;  $oPc$ -110;

$OPc$  - 348;  $oPc$  - 2;

$OpC$ -2;  $opC$ -306;

$OpC$  -96;  $opc$ -23.

### Питання до обговорення:

1. Що таке кросинговер та його значення у спадковості і мінливості організмів?
2. Механізм кросинговеру. На якій стадії клітинного циклу він відбувається?
3. Яким чином визначаються групи зчеплення?
4. Як ви розумієте рекомбінаційну мінливість?

## Практична робота №12

**Тема.** Успадковування статі та ознак, зчеплених зі статтю.

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

**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	$XX$	$x$	$XY$
гамети	$X$ і $X$		$X$ і $Y$
F <sub>1</sub>	гамети	$X$	$Y$
	$X$	$XX$	$XY$
	$X$	$XX$	$XY$

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  $X^aY$ , а генотип півня —  $X^aX$ .

$$2. P \quad \text{♀ } X^aY \times X^aX^a \text{ ♂}$$

гамети  $X^a, Y$        $X^a, X^a$

$$F_1 \quad X^aX^a, X^aX^a, X^aY, X^aY$$

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

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

**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  $X^HY$ .

$$3. \quad P \quad \text{♀ } X^HX^h \times X^HY \text{ ♂}$$

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-носій (але фенотипово здорова), хлопчик здоровий і хлопчик-гемофілік, причому ймовірність народження будь-якої дитини однакова.

Відповідь. Імовірність народження хворої дитини 25%.

### Задачі.

1. Жіночу рослину куколиці з вузьким листям запилено пилом чоловічої рослини з нормальним листям. В  $F_1$  жіночі рослини мають нормальне, а чоловічі — вузьке листя. Яке утворюється потомство, якщо квіти жіночих рослин  $F_1$  заплити пилом чоловічої рослини, аналогічної батьківській?

2. У курей рябе оперення домінує над не рябим (ознака зчеплена зі статтю). Наявність гребеня домінує над його відсутністю (успадкування аутосомне). Півень і курка рябі з гребенем. Від них одержали двох курчат: рябого з гребенем півня і не рябу курку без гребеня. Визначте генотипи птахів. Які ще за цими ознаками можуть бути в них курчата?

### Запитання до обговорення:

1. Які ознаки відносяться до ознак, зчеплених зі статтю, обмежених статтю і залежних від статті?
2. Дати визначення поняття “статеві хромосоми”.
3. Поясніть суть гомо- і гетерогаметної статі.
4. Успадкування хрест-навхрест.
5. Який стан алелей називається гемізіготним?
6. У чому біологічна роль розщеплення за статтю в співвідношенні 1:1?



### Практична робота №13

**Тема.** Розв'язування генетичних задач (контрольна робота).

**Мета:** поглибити та закріпити навички розв'язування генетичних задач.

**Посібник:** Абрамова З.В. Практикум по генетике. - М.: Агропромиздат, 1992.

У таблиці, що нижче приводиться, проти окремих букв і груп букв по горизонталі зазначені номери задач з посібника *"Абрамова З.В. Практикум по генетике. - М.: Агропромиздат, 1992."*

Задачі вибираються відповідно до двох перших букв прізвища, імені і по-батькові студента. По першій букві прізвища вибирається задача в колонці 2, по другій букві прізвища - у колонці 3; по першій букві імені - у колонці 4, по другій букві імені - у колонці 5; по першій букві по батькові - у колонці 6.

Приклади: Шевчук Віра Олександрівна.

Перша буква прізвища Ш, друга - Е; перша буква імені В, друга - І; перша буква по-батькові О. Відповідно до цього, Шевчук В.О. вирішує задачі 81, 90, 111, 140, 184.

Роботи, виконані по довільних номерах задач, перевірятися не будуть. Рішення задач повинні приводитися у роботі в порядку зростання номерів задач. Роботу варто оформити акуратно. У верхній частині першої сторінки контрольної роботи необхідно вказати факультет, курс, прізвище, ім'я, по-батькові і номери своїх задач.

Робота повинна бути написана чітким почерком, без помарок і ретельно перевірена змістовно, стилістично й орфографічно. Рішення задач повинні бути приведені в такому виді, щоб був ясний хід рішення чи міркування. У разі потреби повинні бути дані формулювання законів, що використовувалися при рішенні задач, формули і т. п. Наприкінці рішення кожної задачі в чіткій і короткій формі повинні бути приведені відповіді. Контрольна робота повинна бути підписана студентом, зазначена дата виконання.

Таблиця 1

Букви	Номери задач на перші букви		
	Прізвища	Імені	По-батькові
А	61 85	109 133	157
Б	62 86	110 134	158
В	63 87	111 135	159
Г	64 88	112 136	160
Д	65 89	113 137	176
Е,Є	66 90	114 138	177
Ж, З	67 91	115 139	178
И, І	68 92	116 140	179
К	69 93	117 141	180
Л	70 94	118 142	181
М	71 95	119 143	182
Н	72 96	120 144	183
О	73 97	121 145	184
П	74 98	122 146	185
Р	75 99	123 147	186
С	76 100	124 148	187
Т	77 101	125 149	188
У	78 102	126 150	201
Ф	79 103	127 151	202
Х, Ц	80 104	128 152	203
Ч, Ш	81 105	129 153	205
Щ	82 106	130 154	207
Ю	83 107	131 155	210
Я	84 108	132 156	211

## МОДУЛЬ IV. Генетика популяцій. Генетичні основи селекції.

### Практична робота №14

**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:

$p^2 AA + 2pAa + q^2 aa = 1$ , 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  $AA + 2pqAa + q^2aa = 1$ .

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 м<sup>2</sup> 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
	$p + q = 1$
	$p_A = \frac{12118}{17410} = 0,696;$
	$q_a = 1 - 0,696 = 0,304$
	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 снопа було виявлено 4 рослини із 500, у яких відсутнє опушення під колосом. Яка частота рецесивного та домінантного алеля в популяції?

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

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

Якщо ген зчеплений з Х-хромосомою, 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:

$$p^2 A_1 A_1 + q^2 A_2 A_2 + r^2 A_3 A_3 + 2pq A_1 A_2 + 2pr A_1 A_3 + 2qr A_2 A_3 = 1.$$

### Задачі:

1. У сорту кукурудзи альбіносні рослини ( $rr$ ) зустрічаються з частотою 0,0025. Вичислити частоту алелей  $R$  і  $r$  та частоту генотипів  $RR$  і  $Rr$  у цього сорту.

2. У кукурудзи ген  $C$  обумовлює розвиток забарвленого алеїронового шару насіння, ген  $c$  – безбарвного. У вихідній популяції знаходиться 1 % рослин із рецесивними ознаками. Чому дорівнює частота рецесивного та домінантного алеля? Скільки рослин (%) є гетерозиготними?

3. У вибірці, що складається з 84000 рослин жита, 210 рослин виявилися альбіносами, тому що в них рецесивні гени перебувають у гомозиготному стані. Визначити частоти алелей  $R$  і  $r$  та частоту гетерозиготних рослин, що несуть ознаку альбінізму.

4. Як зміниться рівноважний розподіл генотипів у популяції: ( $AA=p^2=0,49$ ) + ( $Aa=2pq=0,42$ ) + ( $aa=q^2=0,09$ ) при встановленні нової концентрації алелей:

$$A = p=0,6, a = q=0,4.$$

### Питання до обговорення:

1. Поняття про популяцію як елементарну одиницю еволюції.
2. Яку популяцію прийнято вважати панміктичною?
3. Сформулюйте закон Харді-Вайнберга.

## Практична робота №15

**Тема.** Статистичний аналіз результатів розщеплення.

Розв'язуючи 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 дослідках відхилення до 5 % вважаються випадковими, розходження, що перевищують 5 %, домовились вважати не випадковими. Величину відхилення знаходять за допомогою критерію  $\chi^2$  (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.

**Стандартні значення  $\chi^2$  за різних ступенів свободи**  
(по Р. Фішеру, 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  $A$ , а ознака "білі квіти" — рецесивним —  $a$ . 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)	Теоретично очікуваний результат (E)	O – E	(O–E) <sup>2</sup>	$\frac{(O-E)^2}{E}$
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  $\chi^2$  порівнюємо із значенням таблиці:

$\nu$	1	2	3	4
$\chi^2$	10,6	12,6	16,3	18,5

Робимо це так. Знаходимо кількість ступенів свободи  $\nu$  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 очікуваним при незалежному успадкуванні (розщеплення за фенотипом 3:1).

**Завдання:** розв'язати якомога більше із нижченаведених задач.

1. При схрещуванні двох сортів гороху у другому поколінні було одержано 355 шт. жовтого та 123 шт. зеленого насіння. Чи відповідають результати досліду теоретично очікуваному співвідношенню жовтих до зелених як 3:1?

2. У кукурудзи забарвлене насіння — домінантна ознака, незабарвлене — рецесивна. Гетерозиготну рослину було взято як материнську форму, рослину з незабарвленим насінням — як батьківська. Одержано 765 забарвлених насінин і 323 незабарвлені насінини. В реципрокному схрещуванні одержано 528 забарвлених і 506 незабарвлених насінин. Перевірте, чи випадкова різниця в реципрокних схрещуваннях, чи в макроспорогенезі має місце не випадкове розходження хромосом, які мають нормальний і мутантний алель?

3. При схрещуванні двох сортів гороху у другому поколінні було отримано 556 насінин, з них: 315 гладеньких жовтих, 101 — гладеньких зелених, 108 — зморшкуватих жовтих, 32 — зморшкуватих зелених. Визначте, чи відповідає емпіричне співвідношення фенотипів теоретично очікуваному 9:3:3:1 (дослід Г. Менделя)?

4. Схрещено мух, які мають чорне тіло і червоні очі з мухами, які мають сіре тіло і коричневі очі. У потомства першого покоління тіло сіре, очі червоні. В другому поколінні одержано 10349 мух із сірим тілом і червоними очима, 3551 муху, які мають сіре тіло і коричневі очі, 3338 мух з чорним тілом і червоними очима, 687 мух з чорним тілом і коричневими очима. Чи відповідає цей результат розщепленню 9:3:3:1?

**Запитання до обговорення:**

1. Що таке критерій відповідності ( $\chi^2$ ) і як він використовується у генетичних дослідженнях ?
2. Як визначити число ступенів свободи ?

## Додаток 1

**Таблиця 2. Число хромосом у соматичних клітинах деяких видів рослин**

Назва виду	Число хромосом (2n)
Абрикос ( <i>Armeniaca vulgaris</i> )	16
Буряк цукровий ( <i>Beta vulgaris</i> )	18
Виноград культурний ( <i>Vitis vinifera</i> )	76
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
Капуста білокачанна ( <i>Brassica oleracea</i> )	18
Картопля ( <i>Solanum tuberosum</i> )	48
Квасоля звичайна ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	22
Конюшина лучна ( <i>Trifolium pratense</i> )	14
Кукурудза ( <i>Zea mays</i> )	20
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
Просо звичайне ( <i>Panicum miliaceum</i> )	36
Пшениця м'яка ( <i>Triticum aestivum</i> )	42
Пшениця тверда ( <i>Triticum durum</i> )	28
Рис посівний ( <i>Oryza sativa</i> )	24
Соняшник культурний ( <i>Helianthus annuus</i> )	34
Томат справжній ( <i>Lycopersicum esculentura</i> )	24
Цибуля ріпчаста ( <i>Allium cepa</i> )	16
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 F<sub>2</sub> 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	$2^4=16$	$4^4=256$	$2^4=16$	$3^4=81$	81:27:27:27:27:9:9:9:9:9:3:3:3:3:1
Полігібридне	n	$2^n$	$4^n$	$2^n$	$3^n$	$(3:1)^n$

## **Рекомендована література**

### **основна:**

1. Генетика : підручник / С. Р. Рушковський та ін. ; за ред. А. В. Сиволоба. - Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. 320 с.
2. Голда Д. М. Задачі з генетики : навч. посібник / Д. М. Голда, С. В. Демидов, Т. А. Решетняк. - Київ : Фітосоціоцентр, 2004. – 116 с.
3. Завірюха П. Д. Генетика рослин : практикум / П. Д. Завірюха, З. П. Неживий, Ю. С. Голячук. – Львів : Камула, 2014. – 320 с.
4. Задачи по современной генетике / под ред. М. М. Асланяна. – Москва : КДУ, 2005. – 224 с.
5. Инге-Вечтомов С. Г. Генетика с основами селекции : учебн. для студ. биол. спец. ун-ов. 2-е изд., перераб. и доп. СПб. : Издательство Н-Л, 2010. 720 с.
6. Крюков В. И. Генетика. В 15 ч. Ч. 15: учеб. словарь терминов. 2-е изд., испр. и доп. Орёл : ОрёлГАУ, 2011. 156 с.
7. Кравців Р. Й. Генетична інженерія / А. Г. Колотницький, В. І. Буцяк. – Львів : Видавництво ЛНАВМ, 2008. – 344 с.
8. Макрушин М. М. Генетика сільськогосподарських рослин / М. М. Макрушин, О. О. Созінов. – Київ : Урожай, 1996. – 260 с.
9. Марценюк І. М. Генетика. Практикум : навч. посібник / І. М. Марценюк. – Миколаїв : МНАУ, 2014. –148 с.
10. Марценюк І. М. Генетика : конспект лекцій / І. М. Марценюк. – Миколаїв : МНАУ, 2015. – 152 с.
11. Спирин А. С. Молекулярная биология : рибосомы и биосинтез белка : учебник для студ. высш. проф. образов. – Москва : Академия, 2011. – 496с.
12. Стрельчук С. І. Генетика з основами селекції : підручник / С. І. Стрельчук, С. В. Демидов, Г. Д. Бердишев, Г. Д. Голда. – Київ : Фітосоціоцентр, 2002. – 566 с.
13. Тоцький В. М. Генетика / В. М. Тоцький. – вид. 2-е. – Одеса : Астропринт, 2008. – 715 с.

### **додаткова:**

1. Докінз Річард. Егоїстичний ген / Р. Докінз. – Харків : Клуб Сімейного Дозвілля, 2017. – 540 с.
2. Клаг У. С. Основы генетики / У. С. Клаг, М. Р. Каммингс. – Москва : Техносфера, 2007. – 896 с.

Навчальне видання

# ГЕНЕТИКА

Методичні рекомендації

Укладач: **Марценюк Ігор Михайлович**

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. \_\_\_\_.

Тираж 20 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.

