Оксана Андерсон
Марина Вихренко
Андрій Чернінський

Біологія

Підручник для 9 класу
закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України



Київ
«Школяр»
2026

УДК 57*кл9(075.3)
Б65

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(*наказ Міністерства освіти і науки України від 27.01.2026 № 110*)

Відповідає модельній навчальній програмі «Біологія. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти (авт. Балан П.Г., Кулініч О.М., Юрченко Л.П.), рекомендованою Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 06.09.2023 № 1090).

Андерсон О.А. та ін.
Б65 **Біологія**: підруч. для 9 кл. закладів заг. середньої освіти / О.А. Андерсон, М.А. Вихренко, А.О. Чернінський. — Київ: Школяр, 2026. — 264 с.: іл.
ISBN 978-617-7735-13-6

УДК 57*кл9(075.3)

© Андерсон О.А., Вихренко М.А., Чернінський А.О., 2026
© УВЦ «Школяр», 2026
© УВЦ «Школяр», художнє оформлення, 2026

ISBN 978-617-7735-13-6

Шановний дев'ятикласнику!
Шановна дев'ятикласнице!

Цей підручник продовжує серію підручників з курсу «Біологія». Щоб успішно опанувати навчальний матеріал, вам потрібно пригадати раніше набуті знання, адже в цьому навчальному році підручник поведе вас шляхом пізнання **властивостей живого**.

Ви вже знаєте, що підручник — не просто книжка для читання, тому дуже важливо вміти працювати з ним. Для цього необхідно знати, як побудовано саме цей підручник. Тож спочатку погортайте його сторінки й ознайомтеся зі структурою. Щоб підручником було зручно користуватися, кожен параграф розпочинається на парній сторінці, а закінчується — на непарній. Ілюстрації розміщено здебільшого в нижній частині тієї самої сторінки, де на них є посилання в тексті параграфа. Так само до них запропоновано завдання та інтерактивні вправи — це дасть змогу ретельно опрацювати частину змісту параграфа відразу під час його вивчення. Ви будете покроково сприймати інформацію, аналізувати її, узагальнювати щойно набуті знання. На сторінках параграфів також є завдання щодо підготовки повідомлення або створення проєкту, які вимагають ґрунтовної роботи з пошуку наукової інформації. Опрацювання таких завдань часто вимагає часу, а отже ви маєте сформувати власне домашнє завдання. Кожен крок роботи зі змістом підручника має відповідне означення залежно від того, який її вид пропонується виконати:



актуалізуйте опорні знання;



сформулюйте мету, доберіть об'єкти лабораторного дослідження та проведіть його за планом; виконайте практичну роботу;



працюйте в команді: учіться разом порівнювати, аналізувати, робити висновки, складати план дій;



розв'яжіть задачу, створіть модель;



знайдіть інформацію, використовуючи наукову літературу, інтернет-джерела тощо; інформацію оцінюйте критично;



повторіть, поміркуйте, поясніть, висловіть судження, сформулюйте висновки;



попрацюйте з електронним додатком: перегляньте відео, виконайте інтерактивну вправу, завдання для самоконтролю.

Виконуючи **лабораторні дослідження та практичні роботи**, ви матимете змогу застосовувати набуті знання на практиці, розвивати свою дослідницьку інтуїцію.

За допомогою рубрики **«Аналізуємо інформацію, робимо висновки»** ви ознайомитеся з цікавими науковими фактами, отримаєте навички аналізування нової інформації з використанням набутих раніше знань. Завдання, що вимагають розгорнутої відповіді, спонукатимуть до роздумів над складними або проблемними питаннями, пошуками відповідей за допомогою наукової літератури.

Тестові завдання рубрики **«Самоконтроль рівня навчальних досягнень»** до кожної теми допоможуть вам проконтролювати рівень власних навчальних досягнень, усвідомити прогалини в знаннях, сформувати навички роботи з тестовими завданнями різних форм. Це стане в пригоді під час підготовки до державної підсумкової атестації та складання зовнішнього незалежного оцінювання.

Завдання рубрики **«Чи досягнуто результатів навчання?»** дозволить підвести підсумок навчальної діяльності з певних тем, усвідомити прогалини, намітити орієнтири самостійної роботи.

Підручник містить електронний додаток, який сприяє зручній самоперевірці та покращенню ефективності навчання, допомагаючи краще розуміти та вивчати навчальний матеріал. Він представлений QR-кодами в різних розділах підручника, зокрема в параграфах або на сторінках рубрики «Самоконтроль рівня навчальних досягнень». Відсканувавши QR-код, ви одразу потрапите на сторінку із завданням. Тут ви знайдете відповідні інструкції до вправ, які необхідно виконати. Після виконання завдання можна перевірити правильність своїх відповідей.

Якщо у вас немає можливості сканувати QR-коди, на останній сторінці наявне посилання, яке веде до головної сторінки електронного додатка. Там ви зможете знайти всі інтерактивні матеріали, доступні в підручнику, та перейти до їх виконання.

Водночас пам’ятайте, що сучасна біологія — захоплююча, але дуже складна багатогранна наука. А шкільний підручник — лише своєрідний дороговказ у світі знань про неї. Факти, закони, гіпотези та теорії надто численні, щоб умістити їх на сторінках однієї книги. Тож радимо користуватися додатковою літературою та інтернет-джерелами, які дадуть вам змогу розширювати межі відомого, поповнювати скарбницю власних знань, знаходити відповіді на найрізноманітніші та найскладніші запитання.

Зичимо успіхів в опануванні основ біологічної науки!

Автор та авторки

§ 1. Біологія — наука про живе. Рівні організації біологічних систем



Що вивчає біологія?
Які ознаки живого?

Ви вже знаєте, що біологія досліджує різні прояви життя. Її назву в 1802 р. незалежно один від одного запропонували французький учений Жан Батіст Ламарк (1744–1829) і німецький — Готфрід Рейнхольд Тревіранус (1766–1837).

Біологія (від грец. *біос* — життя та *логос* — учення) — це сукупність наук про живі істоти, їхню будову, процеси життєдіяльності, взаємозв'язки між собою та умовами навколишнього середовища, закономірності поширення по земній кулі, походження, історичний розвиток та різноманітність.

Методи біологічних досліджень. Ще прадавня людина спостерігала за організмами, намагалася досліджувати й описувати їх (іл. 1). Деякі становили для неї небезпеку, інші були їжею, шкури тварин зігрівали її, рослини загоювали рани.

Досліджують живу природу за допомогою різних методів, основними з яких є порівняльно-описовий, експериментальний, моніторинг та моделювання.

Засновником ***порівняльно-описового методу*** вважають давньогрецького вченого Арістотеля. Сутність методу полягає в описі об'єкта дослідження та порівнянні з іншими подібними об'єктами для встановлення його своєрідності. Прикладом результатів таких досліджень слугують книги, на сторінках яких дослідники й дослідниці описували різні види рослин і тварин (іл. 2).

Іл. 1. Зображення тварин у печері Альтаміра в Кантабрійських горах (Іспанія, 15–8 тис. до н. е.)



Зображення чудово збереглися і дивують точністю відтворення анатомічної будови тварин

Іл. 2. Сторінки із книги Карла Ліннея *«Genera Insectorum»*, 1789



Експериментальний метод виник пізніше. Він полягає в зміні дослідниками й дослідницями умов існування об'єктів вивчення і спостереженні за наслідками цих змін (іл. 3). Експерименти бувають польові та лабораторні. Польові експерименти проводять у природних умовах, а лабораторні — у спеціально обладнаних лабораторіях.

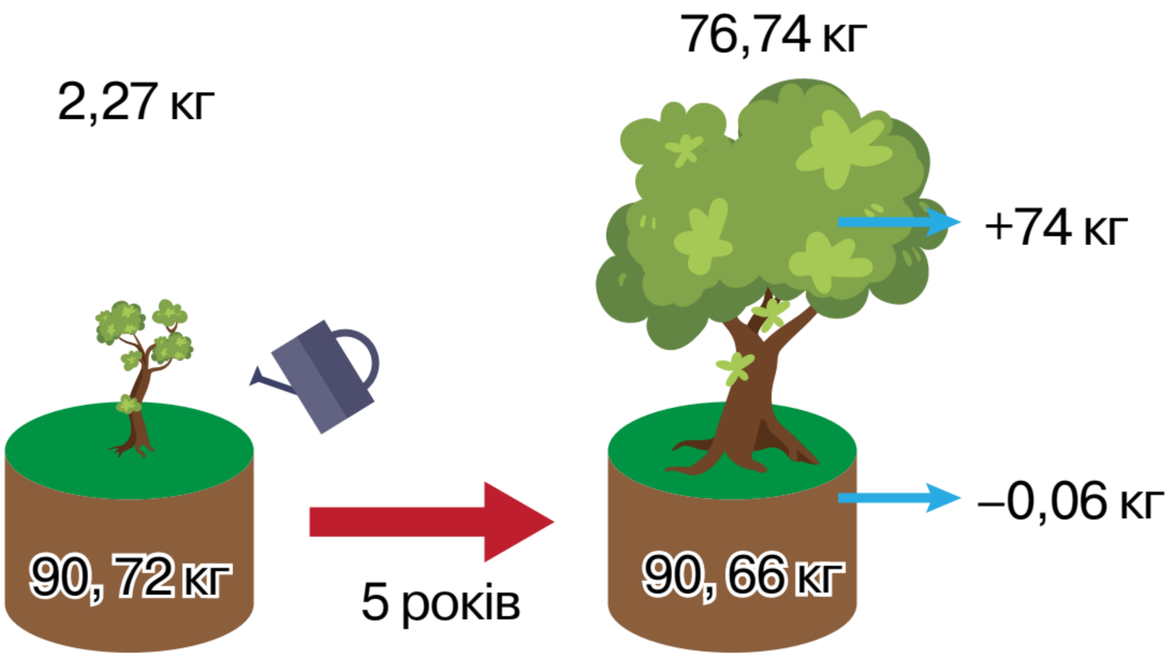
Моніторинг (від лат. *монітор* — той, що спостерігає) — стеження за перебігом певних процесів в екосистемах чи за станом конкретних біологічних об'єктів протягом тривалого часу. Метод дає змогу визначати стан певних об'єктів і прогнозувати можливі зміни. Завдяки моніторингу розробляють заходи щодо охорони окремих популяцій організмів, екосистем і біосфери в цілому.

Моделювання (від лат. *модулюс* — устрій, зразок) — це метод дослідження та демонстрування структур, функцій, процесів за допомогою їх імітації, тобто моделі. Моделі в біології застосовують під час досліджень різних об'єктів — від молекул до екосистем (іл. 4). Останні, зокрема, мають значення для обґрунтування місць розташування промислових і аграрних підприємств на певних територіях. Сучасні наукові дослідження неможливі без застосування електронно-обчислювальної техніки та інформаційних технологій (ІТ).

Біологічні науки. Зв'язок біології з іншими науками. У попередніх класах ви ознайомилися з основами біологічних наук, об'єктами вивчення яких є: мікроскопічні організми — мікробіологія; гриби — мікологія; рослини — ботаніка; тварини — зоологія; внутрішня будова організмів — анатомія; процеси життєдіяльності організмів — фізіологія.

У цьому навчальному році ви дізнаєтеся про досягнення інших біологічних наук: біохімії, цитології, біології індивідуального розвитку, генетики, екології, еволюційного вчення, палеонтології. Нині біологія є сукупністю наук, що вивчають життя у всіх його виявах на різних рівнях організації (див. форзац 1).

Іл. 3. Дослід Я. Б. ван Гельмонта



Проаналізуйте схему дослідження вченого.

Іл. 4. Модель штучної екосистеми



Які умови існування рослини контролював учений під час досліду?
Які результати дослідження?
Який висновок можна зробити за результатами дослідження?

Біологія має тісний зв'язок з іншими природничими й гуманітарними науками. Унаслідок досліджень на межі біології з точними науками виникли нові її галузі — біохімія, біофізика, біоінформатика тощо. Водночас біологія є невід'ємним складником медичних, ветеринарних, сільськогосподарських наук, деяких галузей виробництва (біотехнології), пов'язана із соціологією, юриспруденцією тощо (іл. 5).

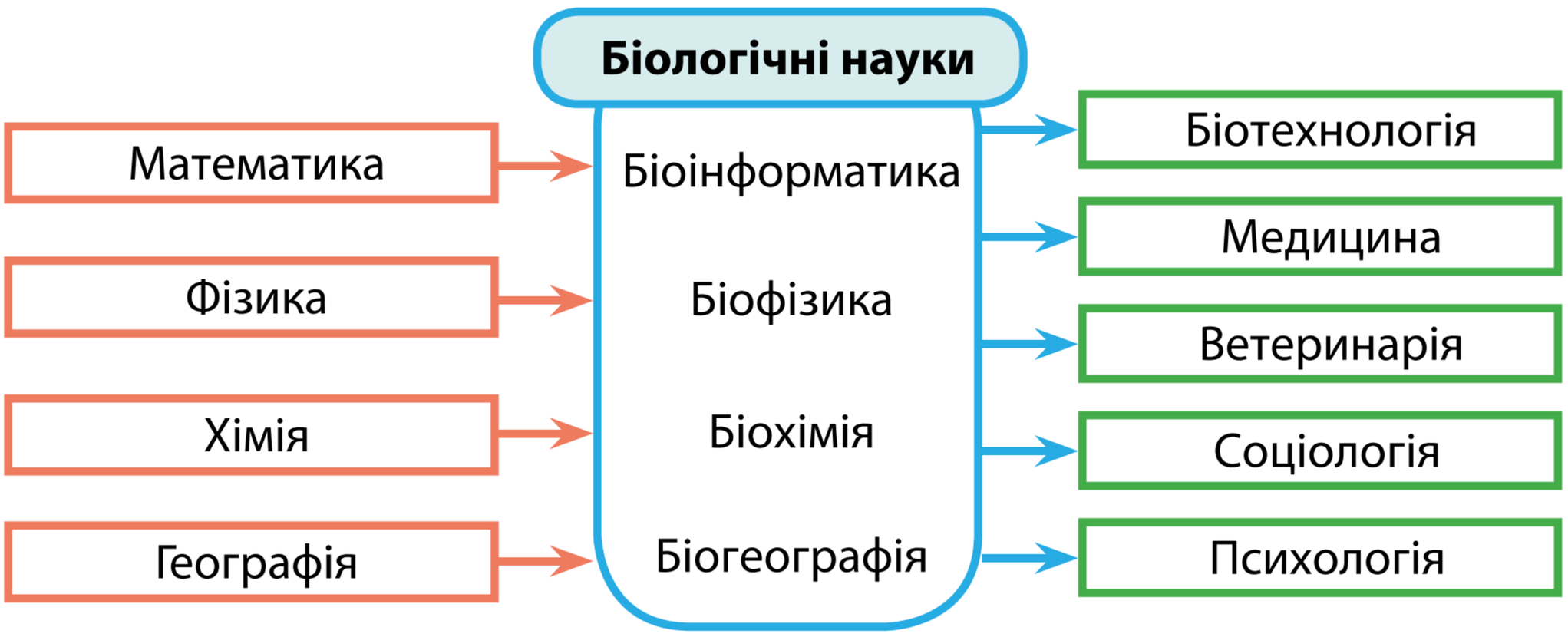
Поняття біологічної системи. Поняття «система» застосовують у різних науках як сукупність взаємопов'язаних компонентів, що утворюють єдине ціле, взаємодіють із середовищем та між собою (пригадайте, які системи ви вивчали в інших науках). Упродовж вивчення біології ви ознайомилися з різними біологічними об'єктами — клітиною, організмом, екосистемою. Усі вони містять взаємопов'язані компоненти, що утворюють єдине ціле. Тому можна стверджувати, що клітина, організм чи екосистема є біологічними системами.

Біологічна система — сукупність взаємопов'язаних компонентів, що утворюють цілісний біологічний об'єкт, здатний певною мірою до самоонов-лення, саморегуляції та самовідтворення.

Живе характеризується сукупністю ознак, відомих вам із попередніх курсів біології, із яких жодна не може самостійно характеризувати живе. Проте маємо нагадати, що жива й нежива природа побудовані з однакових атомів, але на молекулярному рівні різниця між ними суттєва — нуклеїнові кислоти та білки утворюються лише в живих об'єктах, забезпечуючи збереження спадкової інформації та її реалізацію. Біологічні системи є відкритими, тобто існують завдяки енергії, яку отримують із навколишнього середовища. Тому ми можемо стисло сформулювати означення поняття життя.

Життя — це відкрита система, побудована з білків і нуклеїнових кислот, яка здатна до самооновлення, саморегуляції та самовідтворення.

Іл. 5. Зв'язок біології з іншими природничими й гуманітарними науками



Створіть інформаційно-пошуковий проєкт на одну з тем: «Зв'язок біології з гуманітарними науками», «Біологія як основа медицини», «Вплив біології на розвиток ветеринарії».

Рівні організації біологічних систем. Світ живого організований у вигляді сходинок — рівнів організації живої природи, кожна наступна з яких містить об'єднання розташованих нижче. Різні одиниці одного рівня є складниками, якими утворений наступний вищий рівень. **Рівні організації живої природи** — це відносно одноманітні біологічні системи.

Найнижчий рівень організації — молекулярний. На цьому рівні відбувається перебіг хімічних реакцій та перетворення енергії, зберігається і реалізується спадкова інформація, закодована в молекулах нуклеїнових кислот.

На **клітинному рівні** здійснюються процеси обміну речовин і перетворення енергії за участі органел клітини, забезпечуються процеси розмноження та передавання потомству спадкової інформації.

Організмовий рівень характеризується взаємодією тканин, органів, а у тварин — систем органів. На рівні організму відбувається обмін речовин та енергії з навколишнім середовищем, розмноження. Одноклітинні організми можна водночас розглядати на організмовому й клітинному рівнях організації живого.

Організми одного виду мають однакові ознаки будови й життєві функції. Вони об'єднані в групи — популяції, що поширені на певних частинах території. Особливістю **популяційно-видового** рівня організації живого є обмін спадковою інформацією та передавання її потомству в межах одного виду.

Популяції різних видів, що взаємодіють між собою, входять до складу екосистем. Для **екосистемного** рівня характерні обмін енергією між популяціями різних видів і колообіг речовин між живою та неживою частинами екосистеми. Окремі екосистеми утворюють біосферу — оболонку Землі, населену організмами. **Біосферний** рівень є найвищим рівнем організації живого на нашій планеті. Він характеризується колообігом речовин та енергії за участю всіх організмів нашої планети (іл. 6).

Іл. 6. Біологічні системи, що перебувають на різних рівнях організації живого



1



2



3



Проаналізуйте твердження щодо зображених біологічних систем. Чи є поміж них правильні?

1. Біологічна система, позначена цифрою 2, перебуває на вищому рівні організації порівняно із біологічною системою, позначеною цифрою 3.
2. Біологічну систему, позначену цифрою 1, можна розглядати одночасно на двох різних рівнях організації живої природи.



1. Дайте означення поняття *біологія*. **2.** Схарактеризуйте методи біологічних досліджень. **3.** За якими ознаками можна визначити живий об'єкт? **4.** Наведіть приклади біологічних систем. **5.** Назвіть рівні організації біологічних систем. **6.** Доведіть, що клітина є біологічною системою.

ТЕМА 1 ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ

З історії відкриттів

Людина здавна залежала від навколишнього середовища, а тому спостерігала, експериментувала, вивчала речовини, що утворюють живе.

Перші речовини, що їх описав середньовічний перський філософ і лікар Авіценна, належали до ліків. Ян Баптист ван Гельмонт — голландський хімік — описав процеси травлення та утворення сечі.

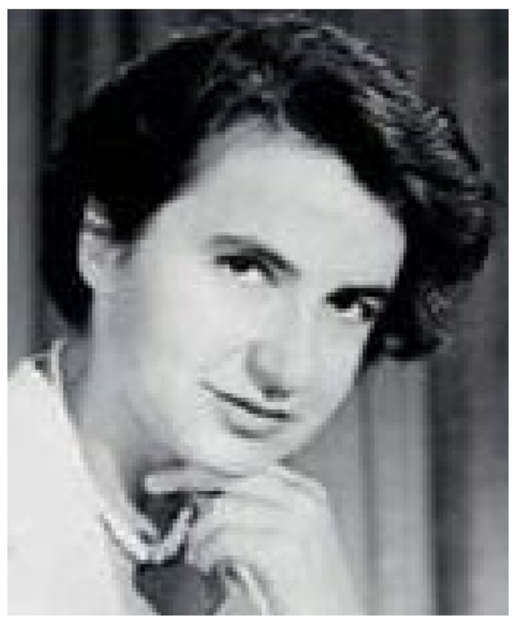
Початок XIX ст. ознаменувався відкриттям органічних сполук. Пошуки вели німецькі хіміки: у 1828 р. Фрідріх Велер уперше синтезував органічну речовину — сечовину з неорганічних речовин, а Юстус фон Лібіх першим схарактеризував основні речовини тканин організмів — білки, вуглеводи, ліпіди.

Основні досягнення біохімії кінця XIX — першої половини XX ст. пов'язані з дослідженнями білків та нуклеїнових кислот. У 1868 р. швейцарський біохімік Йоганн Фрідріх Мішер відкрив нуклеїнові кислоти. Німецький хімік Еміль Фішер з'ясував, що білки складаються з амінокислот. Відомий український біохімік Яків Оскарович Парнас досліджує питання ферментативних процесів під час скорочення м'язів. За вивчення природи хімічного зв'язку, у тому числі й тих, що утворюють біополімерні сполуки, Нобелівську премію у 1954 р. отримав американський хімік і фізик Лайнус Карл Полінг, а в 1958 р. — англійський біохімік Фредерік Сенгер за визначення структури білків, зокрема інсуліну.

Важливий внесок у вивчення структури нуклеїнових кислот зробили британські вчені — дослідниця в галузі біофізики Розалінд Франклін, молекулярний біолог і нейробіолог Френсіс Крік, фізик і молекулярний біолог Моріс Вілкінс, американці — біохімік Ервін Чаргафф, біолог Джеймс Вотсон. Троє з цих учених — Д. Вотсон, Ф. Крік і М. Вілкінс у 1962 р. стали лавреатами Нобелівської премії за відкриття просторової структури молекули ДНК.



Інститут біохімії ім. О. В. Палладіна Національної академії наук України



Розалін Франклін (1920–1958)

В Україні найбільшим науковим центром біохімічних досліджень є Інститут біохімії ім. О. В. Палладіна Національної академії наук України. Олександр Володимирович Палладін був його засновником, а основні наукові праці видатного українського вченого присвячені біохімії нервової системи, м'язової діяльності.

§ 2. Хімічний склад клітини. Неорганічні сполуки



Які речовини входять до складу клітини?
Якої речовини найбільше в клітині?
Які компоненти їжі засвоюються в організмі людини внаслідок процесів травлення?

Хімічний склад клітини. Ви вже знаєте, що всі організми складаються з клітин. Деякі організми складаються з однієї клітини, інші — з багатьох. Процеси, які відбуваються всередині клітин, є основою функціонування як одноклітинних, так і багатоклітинних організмів. Різноманітність сполук в організмах набагато більша, ніж в об'єктах неживої природи. Внутрішньоклітинні процеси забезпечуються взаємодією багатьох хімічних речовин. Для того щоб зрозуміти, як побудована та функціонує клітина, ознайомимося спочатку з її хімічним складом (іл. 7). Типова клітина організму людини містить як органічні, так і неорганічні речовини: 65 % води, 1,5 % інших неорганічних сполук, 20 % білків, 12 % ліпідів, близько 1 % нуклеїнових кислот і менше 0,5 % вуглеводів та інших органічних речовин (за масою).

Елементний склад клітин. Із курсу хімії вам уже відомо, що хімічні речовини складаються з молекул, а ті, своєю чергою, з атомів хімічних елементів. В організмах виявлено майже всі хімічні елементи, які є в об'єктах неживої природи, що свідчить про єдність живої та неживої природи. Вони утворені однаковими атомами, проте їх кількість може суттєво різнитися. Як доказ цього розглянемо діаграму вмісту деяких хімічних елементів в організмі людини. Він дещо подібний (але не ідентичний) до складу морської води,

Іл. 7. Хімічний склад клітини





Підготуйте повідомлення щодо кількості наведених на схемі речовин (%) у рослинній клітині за масою.

проте суттєво відрізняється від складу земної кори (іл. 8). В організмі людини наявні атоми 60 хімічних елементів, але лише на чотири із них — Гідроген, Оксиген, Карбон та Нітроген припадає близько 99 % від кількості атомів та 96 % маси організму людини.

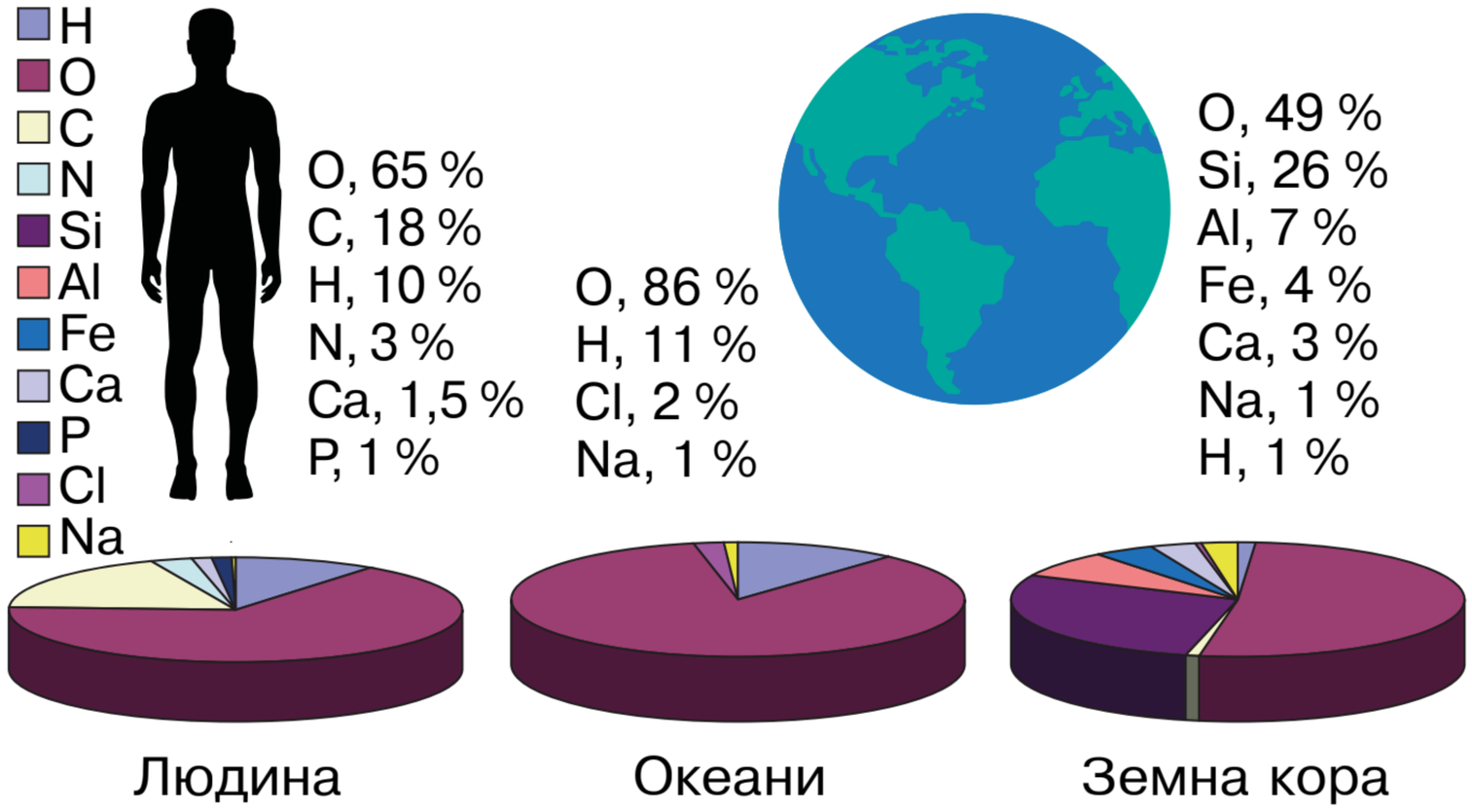
Нестача тих чи інших хімічних елементів може призвести до обмеження росту та розвитку, а інколи — навіть до загибелі організму. Адже хімічні елементи утворюють органічні й неорганічні сполуки, які забезпечують життєдіяльність клітини та організму в цілому. Тож ознайомимося зі значенням основних хімічних елементів для живого.

Значення хімічних елементів для живого. За значенням для живого хімічні елементи поділяють на кілька груп.

1. Карбон, Гідроген, Оксиген і Нітроген формують 98 % маси організмів. Ці чотири елементи називаються **органогенними**. Перші три елементи є обов'язковими компонентами всіх органічних сполук. Нітроген є складником білків і нуклеїнових кислот, а також інших речовин.

   Крім того, Гідроген та Оксиген є складниками молекули води, яка є обов'язковим компонентом живого. Для дихання аеробним організмам необхідний кисень (O_2), утворений двома атомами Оксигену. Карбон є складником неорганічних сполук — вуглекислого газу (CO_2), карбонатів та гідрогенкарбонатів, що мають важливе значення для організмів.
2. На сім інших хімічних елементів припадає близько 1,9 % кількості атомів. Незважаючи на відносно невелику кількість, вони необхідні для функціонування всіх відомих організмів:
   - Натрій, Калій і Хлор у вигляді відповідних йонів (Na^+, K^+, Cl^-) необхідні для нормального функціонування кожної клітини. У тварин ці йони беруть участь у забезпеченні здатності нервових і м'язових

Іл. 8. Діаграми вмісту деяких хімічних елементів в організмі людини, морській воді та земній корі



Проаналізуйте наведені діаграми.

1. Визначте хімічні елементи, за вмістом яких організм людини подібний до морської води.
2. Визначте хімічний елемент, якого найбільше в складі всіх трьох об'єктів.

клітин до подразливості й збудження. Хлоридна кислота створює кисле середовище в шлунку хребетних тварин і людини, забезпечуючи активність ферментів шлункового соку.

- **Кальцій** у складі карбонатів, сульфатів і фосфатів забезпечує міцність кісток, зубів, мушель, яєчної шкаралупи тощо (іл. 9а). Як йон Ca^{2+} він бере участь у регуляції багатьох внутрішньоклітинних функцій. Зокрема він є необхідним для забезпечення процесів виділення (секреції) з клітини багатьох гормонів, ферментів, нейромедіаторів, потрібен для скорочення м'язів. В організмі людини бере участь у зсіданні крові.
- **Фосфор** у вигляді ортофосфат-аніона (PO_4) є складником багатьох життєво важливих органічних сполук, зокрема ортофосфатної кислоти, необхідної для синтезу АТФ та нуклеїнових кислот.
- **Магній** є складником деяких ферментів, активуючи їх. У рослин цей хімічний елемент є обов'язковим складником молекули хлорофілу в хлоропластах (іл. 9б).
- **Сульфур** входить до складу деяких амінокислот, що утворюють білки в усіх організмах.

3. Наступні елементи є в живому в загальній кількості 0,1%. Вони потрібні для життєдіяльності багатьох, але не всіх організмів. До цієї групи належать Бор, Флуор, Силіцій, Ванадій, Хром, Манган, Ферум, Кобальт, Нікель, Купрум, Цинк, Йод, Молібден, Селен. Вони є компонентами деяких життєво необхідних речовин у певних видів або груп організмів. До прикладу, Йод входить до складу гормонів щитоподібної залози хребетних тварин, а Силіцій — до складу опорних структур деяких організмів: клітинних стінок хвощів, панцирів діатомових водоростей, внутрішньоклітинного скелета радіолярій, скелета деяких губок. За допомогою оптичного мікроскопа можна побачити еритроцити

Іл. 9. Хімічні елементи — складники організмів: а — Кальцій надає міцності мушлям молюсків і форамініфер; б — Магній є складником молекули хлорофілу в листках рослини



а б

Які функції мушель у зображених тварин?

На прикладах обґрунтуйте значення Кальцію для життєдіяльності організму людини. Поясніть гуморальні механізми регуляції обміну цього хімічного елемента в організмі людини. Оцініть значення процесу в клітинах листків рослини, який відбувається за участю хлорофілу.

червоного кольору. Цей колір зумовлений наявністю гемоглобіну, що містить атоми Феруму.

Екологічні та ендемічні захворювання людини. Ще понад 2000 років тому Гіппократ та інші мислителі зазначали, що чинники навколишнього середовища впливають на виникнення захворювань людини. Завдяки дослідженням нині вчені виокремлюють екологічні й ендемічні захворювання.

Екологічні захворювання спричиняються шкідливим впливом хімічних та фізичних чинників навколишнього середовища. Такий вплив чинять деякі речовини, які надходять в організм із водою та їжею. Наприклад, для організму людини небезпечне надходження солей важких металів, як-то Плюмбуму, Хрому, та радіонуклідів. Ці сполуки можуть відігравати роль канцерогенних, тобто таких, що сприяють утворенню в організмі злоякісних пухлин. Для організму людини небезпечні радіоактивні ізотопи багатьох хімічних елементів: Йоду, Цезію, Стронцію, Урану тощо. Радіоактивний ізотоп Стронцій може відкладатися в кістках, заміщуючи Кальцій, унаслідок чого кістки стають крихкими. Радіоактивний ізотоп Йоду порушує функції щитоподібної залози. Значні концентрації радіонуклідів можуть накопичувати рослини. Із рослинною їжею вони згодом потрапляють в організм людини.

Ендемічні захворювання — захворювання, характерні для певної місцевості, пов'язані з нестачею або надмірним вмістом у навколишньому середовищі якого-небудь хімічного елемента. Прикладом може слугувати ендемічний зоб — захворювання, яке характеризується збільшенням щитоподібної залози. Розвиток захворювання спричиняє нестача Йоду — йододефіцит. Добова потреба організму людини в цьому елементі становить 150 мкг, а в ендемічних районах організм отримує лише до 50 мкг Йоду на добу. Він міститься у воді, йодованій солі, харчових продуктах (іл. 10).

Іл. 10. Вміст Йоду в харчових продуктах, мкг/100 г продукту



200



110



75



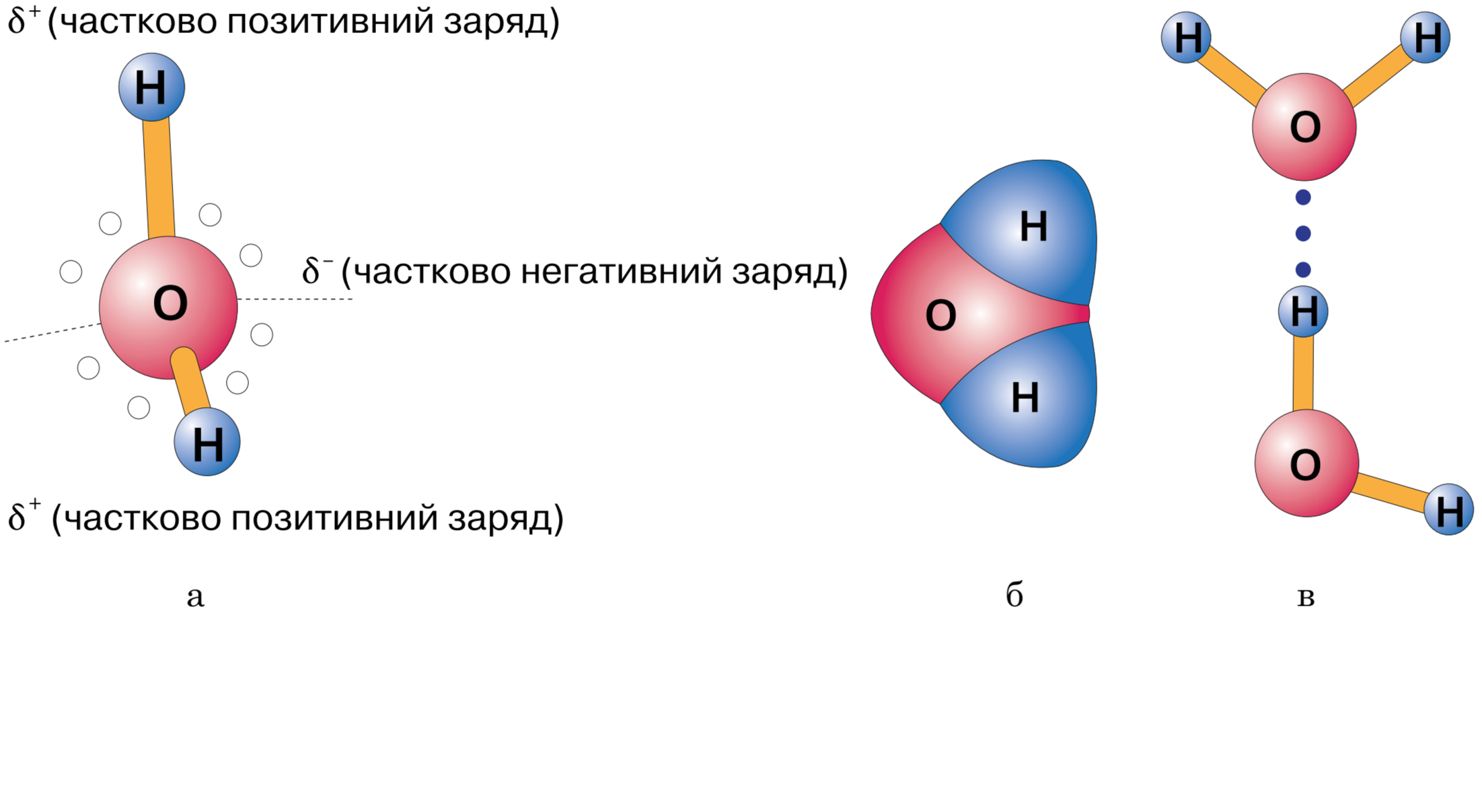
Обчисліть кількість кожного продукту в раціоні людини, що може забезпечити добову потребу в Йоді.

Вода та її біологічна роль. Вода належить до найпоширеніших речовин на Землі.

Вона займає близько 2/3 поверхні планети, у вигляді льоду й снігу вкриває високі гори й величезні простори Арктики й Антарктиди. Багато води є в атмосфері: це пара, туман і хмари. Значна кількість води міститься і в земній корі у вигляді підземних вод. У природі вода перебуває не лише у вільному стані, а й у хімічно зв'язаному. Вона є складником багатьох гірських порід і всіх організмів, у яких вона є основною неорганічною речовиною. Вміст води в них становить 60–70 %, а в деяких випадках — до 98 %. Цитоплазма більшості клітин містить близько 80 % води, кров і лімфа людини — понад 80 %. Отже, вода є основою внутрішнього середовища організмів.

Молекула води складається з двох атомів Гідрогену, сполучених із атомом Оксигену ковалентними зв'язками. Молекула води є полярною — атом Оксигену в її складі має частково негативний заряд, тоді як атоми Гідрогену — частково позитивний. Завдяки цьому дві сусідні молекули взаємно притягуються. Так виникає водневий зв'язок (іл. 11). Цим пояснюється головна особливість води — вона є ***розчинником*** для інших речовин полярної будови. У розчині молекули води орієнтовані так, що негативно заряджений атом Оксигену спрямований до позитивних зарядів розчинених частинок, а позитивно заряджені атоми Гідрогену — до негативних. Залежно від розчинності у воді сполуки поділяють на гідрофільні (добре розчинні) і гідрофобні (погано розчинні). До гідрофільних належать більшість солей, глюкоза, деякі амінокислоти та білки. Гідрофобними є жири та інші подібні до них речовини. Як розчинник вода є ***середовищем для перебігу багатьох хімічних реакцій***. Крім того, вона може сама вступати в певні реакції або утворюватися як продукт їх перебігу. Завдяки добрій розчинності різних сполук вода бере участь у їх ***транспортуванні***,

Іл. 11. Моделі будови молекули води: а — кулестержнева; б — масштабна; в — схема утворення водневого зв'язку



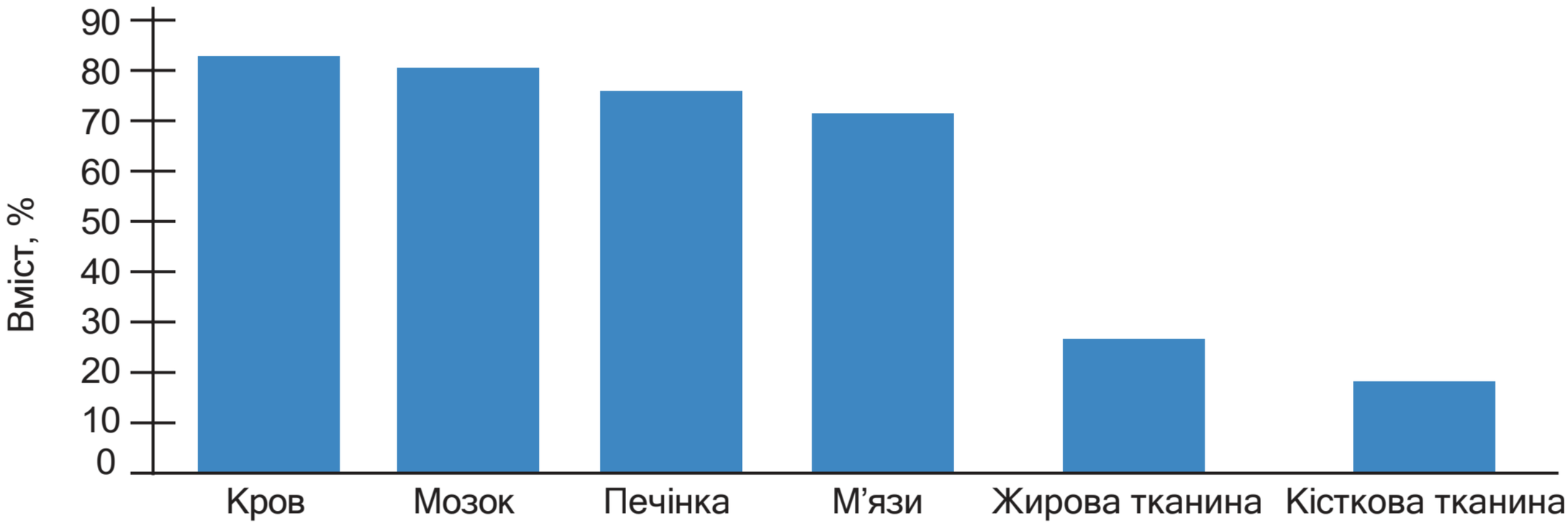
переносячи поживні речовини, продукти обмінних процесів тощо (наприклад, з кров'ю в організмі людини або в судинах рослин). В організмі вода розподілена нерівномірно Це залежить від інтенсивності процесів обміну речовин між органами та тканинами. Як приклад наводимо діаграму вмісту води в різних органах і тканинах організму людини (іл. 12).

Як і будь-які рідини, вода погано стискається, а тому може виконувати ***механічну функцію***. Заповнені рідиною порожнини в тілі тварин працюють як гідроскелет (пригадайте, яким тваринам він властивий). У рослин вода забезпечує пружність клітин і частин тіла (пригадайте, що таке тургор). Рідина, яка заповнює простір між головним мозком і кістками черепа, забезпечує амортизацію під час ударів (пригадайте, як називається така рідина). Завдяки воді послаблюється тертя між різними поверхнями (наприклад, у суглобах).

Із курсу фізики доцільно пригадати, що вода має порівняно високі питому теплоємність і теплоту випаровування. Унаслідок цього вона виконує ***терморегуляторну функцію***. Під час випаровування води з поверхні організму він втрачає велику кількість теплоти (пригадайте, як у спеку охолоджуються кішки або собаки). Вода переносить теплоту від більш нагрітих органів до холодніших. Наприклад, під час інтенсивної фізичної роботи кров нагрівається у м'язах і охолоджується в шкірі.

Вода може змінювати свої властивості, зокрема температури замерзання і кипіння, залежно від кількості розчинених у ній речовин. Унаслідок збільшення концентрації розчинених речовин знижується температура, за якої вода переходить у твердий стан, і організми мають змогу пристосовуватися до змін температури навколишнього середовища. Наприклад, із настанням зими в клітинах рослин підвищується вміст вуглеводів у розчині, у членистоногих — гліцеролу (§ 4), у риб — білків тощо.

Іл. 12. Діаграма вмісту (%) води в різних органах і тканинах організму людини





Проаналізуйте діаграму: у яких складниках організму людини води міститься найбільше, а в яких — найменше? Чим це можна пояснити?



1. Назвіть хімічні складники клітини. **2.** Які хімічні елементи називають органогенними й чому? **3.** Опишіть особливості будови молекули води. **4.** Поясніть на прикладах значення неорганічних сполук у життєдіяльності організмів. **5.** Обґрунтуйте взаємозв'язок властивостей та функцій води.

§ 3. Органічні молекули. Біологічні макромолекули — біополімери

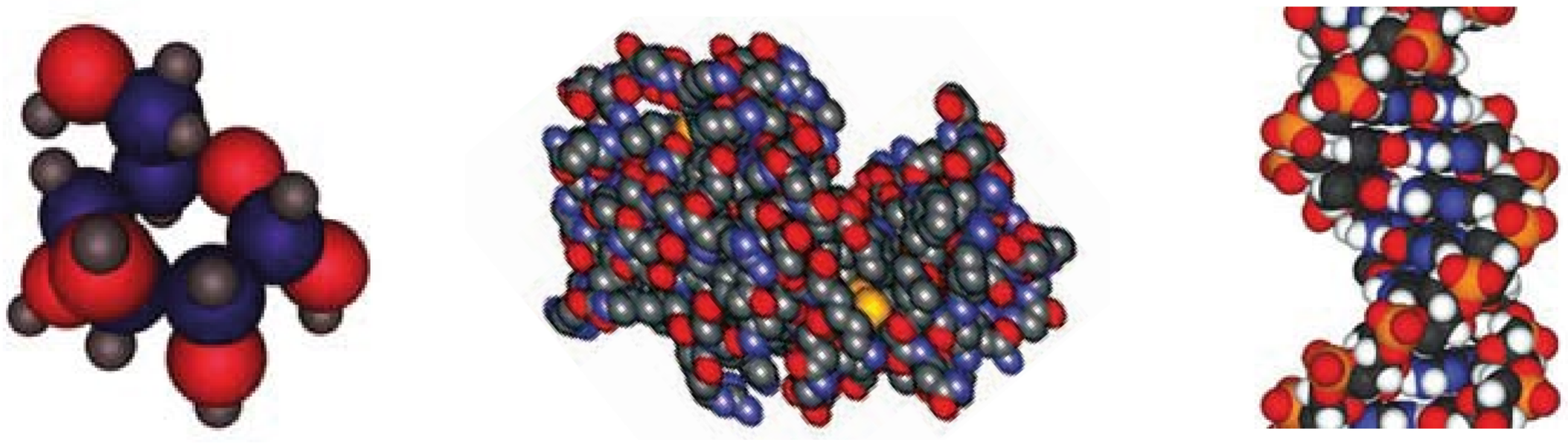


Які органічні речовини ви знаєте?
Які хімічні елементи називають органогенними?
Які біологічні полімери ви знаєте?

Поняття про органічні речовини. Найбільш різноманітними за хімічною будовою сполуками, з яких складаються організми, є органічні. Вони наявні в атмосфері, поверхневих і підземних водах, осадах, ґрунтах і гірських породах. Основою їх молекул є ланцюги, утворені атомами Карбону, сполученими між собою ковалентними зв'язками. Такі карбонові ланцюги можуть мати різноманітну будову — утворювати довгі лінійні або розгалужені ланцюги, замикатися в цикли (кільця). Окрім Карбону молекули органічних сполук містять атоми Гідрогену та Оксигену, а також часто Нітрогену (іл. 13). Вміст органічних сполук у клітинах становить у середньому 20–30 %. Нині людству відомо понад 20 млн різноманітних природних та штучно синтезованих органічних сполук. Органічні речовини характеризуються великою енергоємністю та відносно великою молекулярною масою. Зокрема, молекулярна маса більшості білків становить від 6 000 до 1 000 000, деяких нуклеїнових кислот — сягає кількох мільярдів дальтонів (1 дальтон відповідає 1/12 атомної маси ізотопу Карбону ^{12}C, тобто $1{,}67 \cdot 10^{-24}$ г).

Властивості органічних речовин залежать не лише від якісного й кількісного складу, а й від будови молекул.

Іл. 13. Приклади молекул органічних речовин: а — глюкоза (24 атоми); б — лізоцим (2303 атоми); в — ділянка молекули ДНК (мільярди атомів)



а б в

Атоми різних хімічних елементів представлено кульками різного кольору, масштаби зображень атомів різних молекул неоднакові



Молекула якої речовини має найменшу молекулярну масу, а якої — найбільшу? Поясніть значення для організму людини речовин, молекули яких зображено.

Органічні речовини — сполуки, утворені атомами Карбону, що сполучені між собою ковалентними зв'язками, та атомами Гідрогену.

За особливостями будови та властивостями виділяють різні групи органічних сполук. Поміж них найважливішими для функціонування живих структур є **вуглеводи, ліпіди, білки** та **нуклеїнові кислоти**.

Біополімери. Важливою властивістю органічних сполук є здатність встановлювати хімічні зв'язки між окремими молекулами. Сполуки, утворені великою кількістю однотипних ланок (простих молекул), з'єднаних між собою у довгі лінійні або розгалужені ланцюги, називаються **полімерами**, або макромолекулами. Молекули, повторенням яких утворюється полімер, — **мономерами**. Полімерними можуть бути штучно синтезовані сполуки, наприклад відомий вам поліетилен. У курсі біології ми будемо розглядати лише полімери, які є складниками організмів, — біополімери. До них належать усі білки, нуклеїнові кислоти та деякі вуглеводи (іл. 14).

Біополімери — високомолекулярні сполуки організмів, молекули яких складаються з мономерів, з'єднаних між собою у довгі лінійні або розгалужені ланцюги.

Мономери можуть бути як абсолютно однаковими, так і різними, але хімічно однорідними. Полімери, утворені повторенням однакових мономерів, називаються гомополімерами. Наприклад, уже відомий вам полімер целюлоза складається лише із залишків глюкози (ідеться не про молекулу мономера, а про залишок, оскільки під час утворення хімічних зв'язків молекули втрачають певні атоми). Гетерополімери — полімери, молекули яких складаються із залишків різних, але хімічно однорідних мономерів. Наприклад, білки складаються із залишків 20 різних амінокислот, що мають подібну будову (іл. 15).

Іл. 14. Значення деяких полімерів для організмів



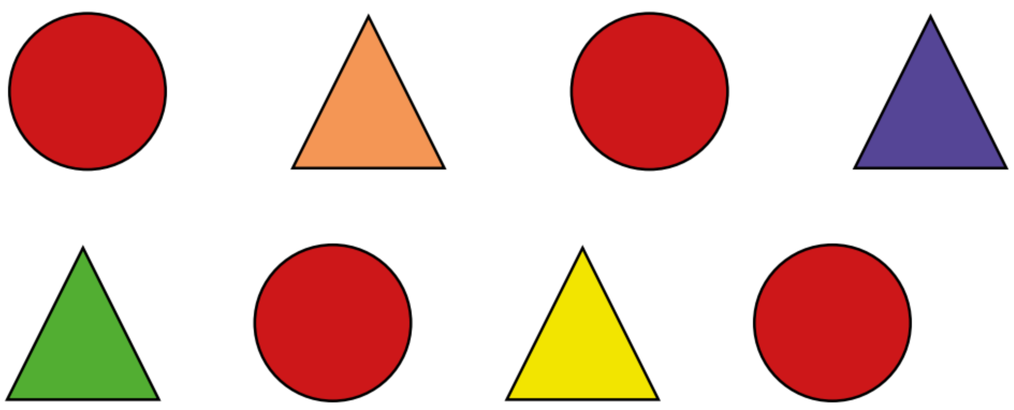
Клітинна стінка бавовнику містить целюлозу



У клітинах бульби картоплі накопичується крохмаль

Поясніть значення описаних полімерів у життєдіяльності організмів, складники яких наведено на ілюстрації.

Іл. 15. Складання схем будови гомо- та гетерополімеру



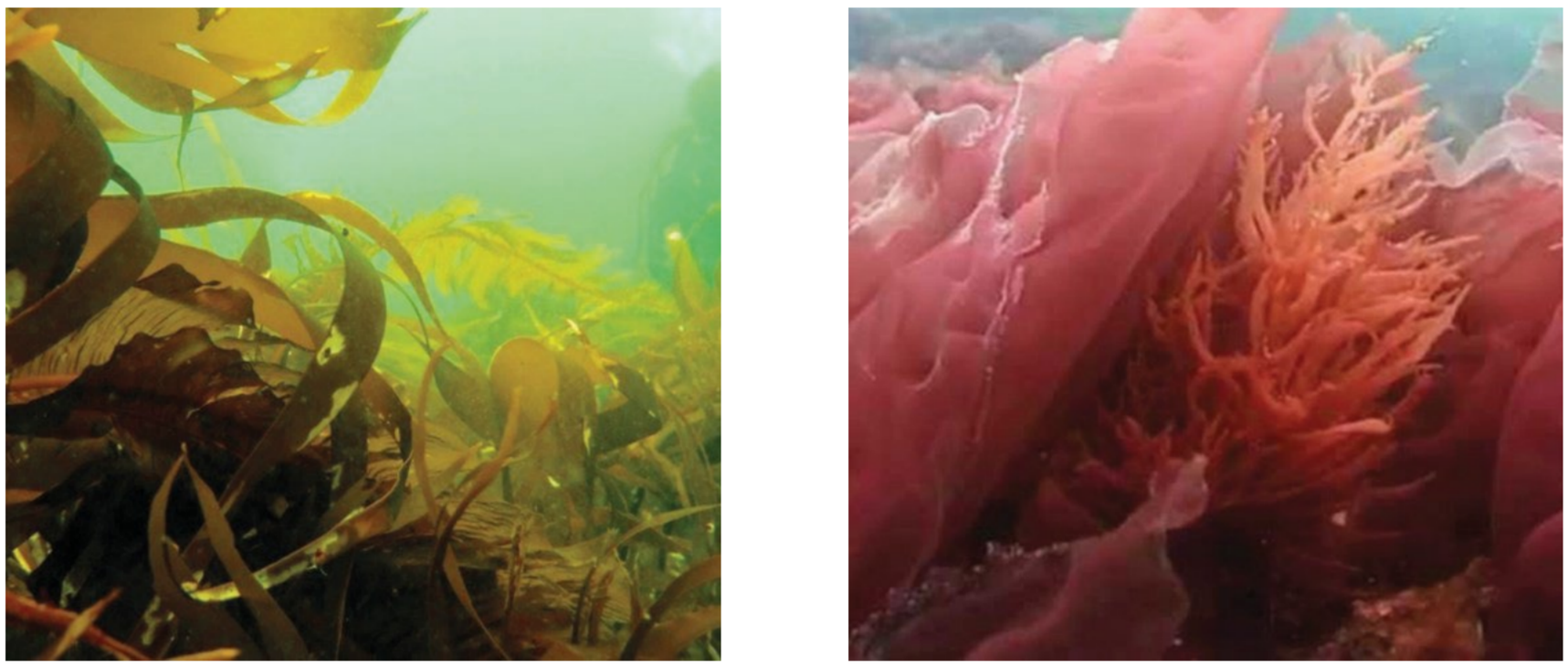
На ілюстрації мономери двох різних полімерів позначено різними геометричними фігурами. Змоделюйте в зошиті будову гомо- та гетерополімеру, використавши запропоновані умовні позначення (вам знадобляться кольорові олівці або папір для аплікацій).

До складу молекул біополімерів можуть входити від кількох десятків залишків мономерів (невеликі білки) до кількох мільйонів (молекули ДНК). Значна довжина полімерних молекул дає змогу утворювати величезну кількість різноманітних та унікальних молекул. Наприклад, кількість різних варіантів поєднання лише 5 амінокислот із 20 можливих становить 3,2 млн. А кількість можливих варіантів структур білків із 100 амінокислот становитиме більш ніж 10^{130} (для порівняння: кількість атомів у Всесвіті оцінюється в 10^{80}). Молекули різної будови можуть виконувати різні функції. Саме тому переважна кількість процесів усередині клітин забезпечуються полімерними сполуками — білками. Ще більшу кількість варіантів забезпечує довжина молекул ДНК — вони можуть складатися з мільйонів мономерів. Завдяки цьому молекули ДНК найкраще виконують функцію збереження спадкової інформації, зокрема й щодо структури всіх білків організму.

Проте унікальність та різноманітність будови є важливою не для всіх біополімерів. Деякі з них потрібні для зменшення кількості мономерів у клітині та зручнішого їх збереження. Такі полімери виконують резервну функцію. Інші макромолекули формують довгі нитки, з'єднані численними зв'язками, що надає їм міцності. Ці речовини виконують механічну функцію. Ви вже ознайомлені з деякими з них, спробуйте знайти їх на іл. 11.

Пігменти, вітаміни, антибіотики, алкалоїди. Окрім перелічених найважливіших чотирьох груп органічних сполук у клітинах є й інші, які виконують важливі функції. Наприклад, у рослин та деяких бактерій наявні фотосинтезувальні пігменти, що забезпечують утворення органічних сполук за допомогою світла (іл. 16). Для нормального існування організмів необхідні вітаміни — біологічно активні низькомолекулярні

Іл. 16. Забарвлення талому водоростей різними пігментами: а — ламінарія; б — порфіра



а б

Різне забарвлення талому водоростей зумовлене наявністю хлорофілу та інших специфічних пігментів. Бурі водорості містять ксантофіли, а червоні — фікобіліни, які поглинають сині та фіолетові промені. Пригадайте, яка особливість розповсюдження червоних водоростей із цим пов'язана.

органічні сполуки, що мають різну хімічну природу та надходять із їжею (пригадайте, які вітаміни потрібні людині для нормальної життєдіяльності). Вітаміни беруть участь в обміні речовин і перетворенні енергії здебільшого як компоненти ферментів. Нині відомо близько 20 різних вітамінів і вітаміноподібних сполук, які по-різному впливають на організми. Деякі вітаміни в незначних кількостях синтезуються в організмах людини й тварин або з речовин-попередників — провітамінів (наприклад, вітамін D утворюється в шкірі людини під дією ультрафіолетового випромінювання), або симбіотичними мікроорганізмами (зокрема, у кишківнику людини ці бактерії синтезують вітаміни K, B_6, B_{12}). Речовини, що синтезуються бактеріями та грибами в природі для захисту від негативного впливу інших видів мікроорганізмів, називають антибіотиками. Їх особливістю є здатність порушувати певні ланки обміну речовин мікроорганізмів або дію деяких їхніх ферментів. Антибіотики використовують у медицині, ветеринарії та рослинництві для боротьби з інфекційними хворобами.

Деякі організми для захисту або полювання утворюють отруйні речовини. Із курсу біології тварин вам відомі тварини, «озброєні» отрутою для захисту та нападу (іл. 17). Вони можуть бути небезпечними для людини. Рослини утворюють алкалоїди — нітрогеновмісні органічні сполуки, більшість із яких мають властивості слабкої органічної основи. Функції алкалоїдів ще недостатньо вивчено, але вчені вказують на їх роль у захисті рослин від паразитичних грибів, комах і рослиноїдних хребетних тварин. Спектр будови й функцій органічних сполук у живій природі надто широкий, аби мати змогу розглянути їх усі. Тож більш детально вивчатимемо найголовніші з них.

Іл. 17. Отруйні тварини: а — гадюка звичайна; б — каракурт



а



б

Опишіть стратегію поведінки зображених отруйних тварин.

1. Дайте означення поняття *органічні речовини*. **2.** Що таке біополімери? Перелічіть відомі вам біологічні полімери. **3.** Порівняйте гомо- та гетерополімери. **4.** Поясніть значення пігментів і вітамінів для життєдіяльності організмів. **5.** Які організми продукують антибіотики та алкалоїди? Яке це має пристосувальне значення?

§ 4. Вуглеводи та ліпіди



Який вуглевод утворюється внаслідок фотосинтезу?
Які вуглеводи запасаються в клітинах рослин, тварин і грибів?
Якого співвідношення білків, жирів та вуглеводів повинна дотримуватися людина для раціонального харчування? Чому?

Будова, властивості та біологічна роль вуглеводів. Масова частка вуглеводів у живій природі більша, ніж інших органічних сполук. У клітинах тварин і грибів вуглеводи містяться в незначній кількості (близько 1 % сухої маси, у клітинах печінки та м'язів — до 5 %), натомість у рослинних клітинах їх вміст значно більший (60–90 %). Вуглеводи утворюються переважно під час фотосинтезу. Гетеротрофні організми отримують вуглеводи з їжі або ж синтезують їх із інших органічних сполук (жирів, амінокислот тощо).

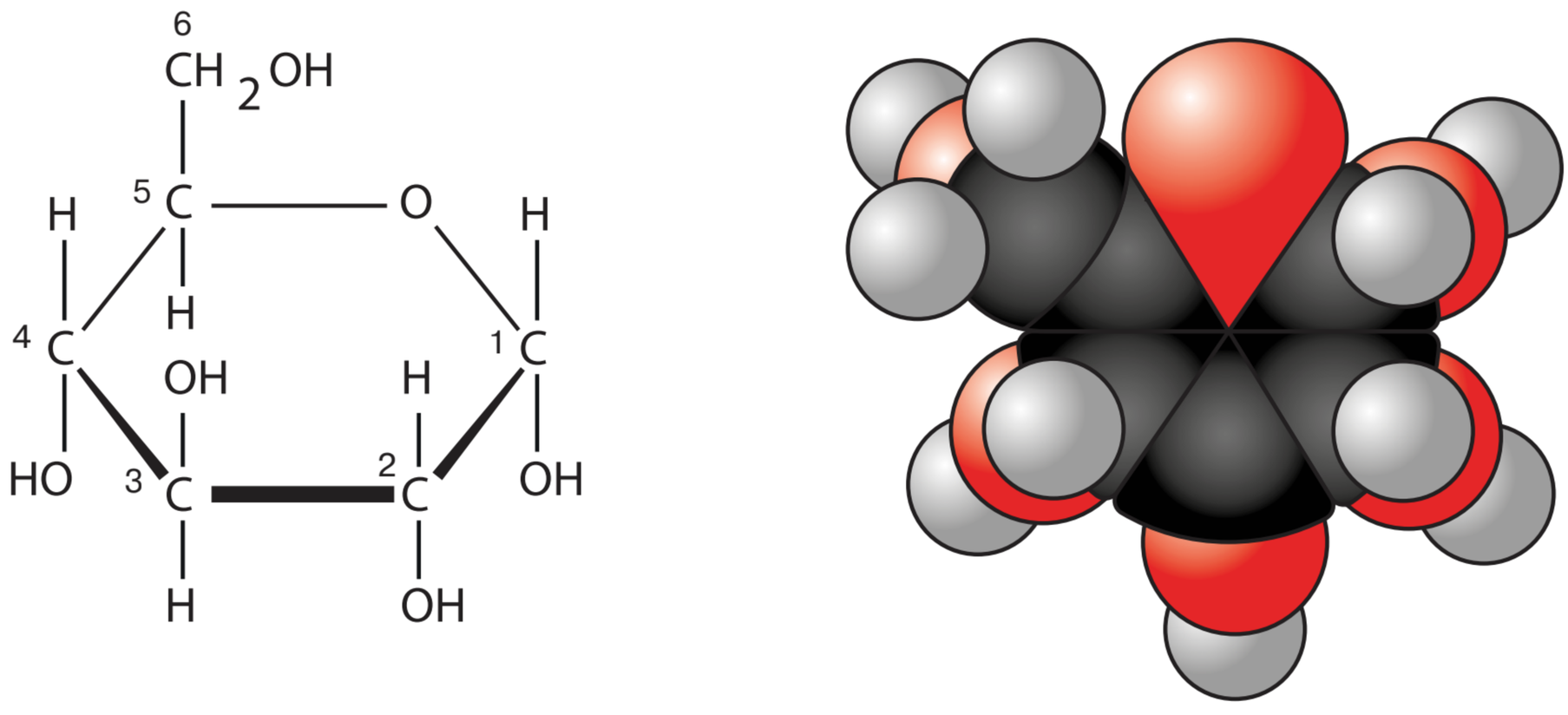
Вуглеводи — це органічні сполуки, у яких співвідношення атомів Карбону, Гідрогену, Оксигену здебільшого відповідає формулі $(CH_2O)_n$, де $n = 3$ й більше.

Проте є вуглеводи, у яких це співвідношення дещо інше, а деякі містять також атоми Нітрогену, Фосфору чи Сульфуру. До вуглеводів належать моносахариди, олігосахариди й полісахариди.

Моносахариди — добре розчинні у воді речовини, що мають солодкий смак. Розглянемо будову молекул моносахаридів на прикладі глюкози. Її молекулярна формула $C_6H_{12}O_6$ (іл. 18).

Моносахариди класифікують за кількістю атомів Карбону в їхніх молекулах. Найбільш важливими для живої природи є пентози (сполуки

Іл. 18. Будова молекули глюкози: а — структурна формула; б — масштабна модель



а б

з п’ятьма атомами Карбону) та гексози (сполуки з шістьма атомами Карбону). Поширеними гексозами окрім глюкози є фруктоза й галактоза. З пентоз поширені рибоза й дезоксирибоза, залишки яких є складниками мономерів нуклеїнових кислот. Моносахариди здатні сполучатися між собою за допомогою –ОН– груп. Унаслідок цього утворюється хімічний зв’язок між двома залишками моносахаридів крізь атом Оксигену (–О–) (іл. 19).

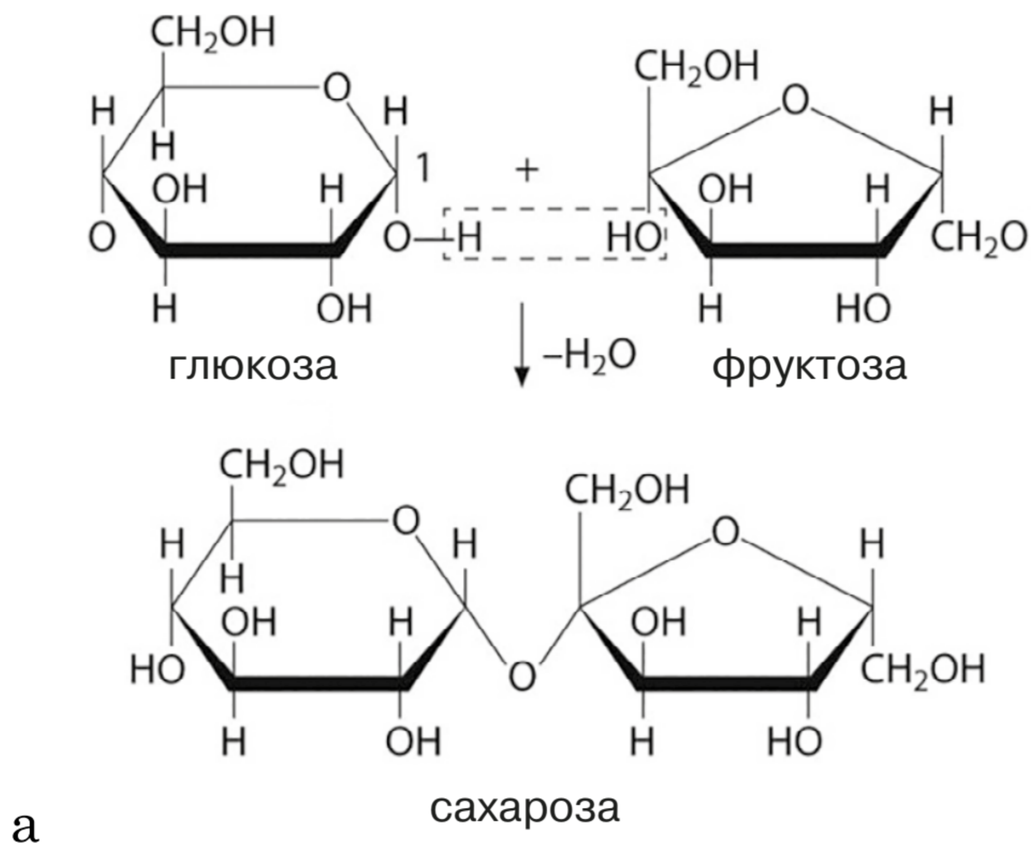
Олігосахариди та полісахариди складаються із залишків моносахаридів. Олігосахариди — полімерні вуглеводи, у яких 2–10 моносахаридних ланок з’єднані ковалентними зв’язками. Наприклад, дисахариди утворені двома залишками моносахаридів. У природі поширені такі дисахариди: звичайний харчовий цукор — сахароза (складається із залишків глюкози й фруктози) та молочний цукор — лактоза (складається із залишків глюкози й галактози) (іл. 19).

Унаслідок взаємодії моносахаридів можуть формуватися ланцюжки в сотні й тисячі залишків — полісахариди. Ці сполуки погано розчинні у воді та не мають солодкого смаку. У природі поширені полісахариди, утворені залишками глюкози: целюлоза, глікоген і крохмаль (пригадайте, це гомо- чи гетерополімери). Інший поширений у природі полісахарид — хітин складається з нітрогеновмісних похідних глюкози.

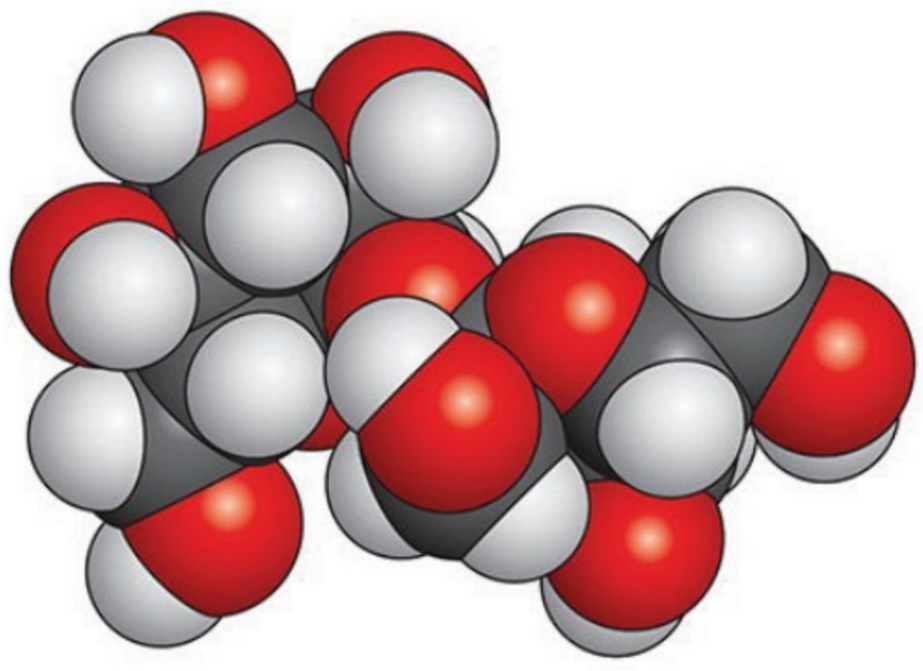
Функції вуглеводів досить різноманітні. ***Енергетична*** функція зумовлена тим, що внаслідок повного розщеплення 1 г вуглеводів вивільняється 17,6 кДж енергії. Частина цієї енергії забезпечує функціонування організму, а частина виділяється у вигляді теплоти. Найбільша кількість енергії вивільняється внаслідок окиснення вуглеводів киснем, проте розщеплення вуглеводів із виділенням енергії може відбуватися і за його відсутності.

Це важливо для організмів, які існують в умовах нестачі або відсутності кисню (пригадайте таких тварин).

Іл. 19. Дисахарид: *а* — *с*хема утворення дисахариду на прикладі сахарози; б — будова молекули сахарози (масштабна модель)



а



б

Залишки яких моносахаридів утворюють сахарозу? Скільки молекул води виділяється внаслідок утворення ковалентного зв’язку між двома залишками моносахаридів? Згадайте, як людина використовує сахарозу?

Полісахариди можуть накопичуватися в клітинах, тобто виконувати ***резервну*** функцію. У клітинах тварин і грибів накопичується глікоген, у клітинах рослин — крохмаль.

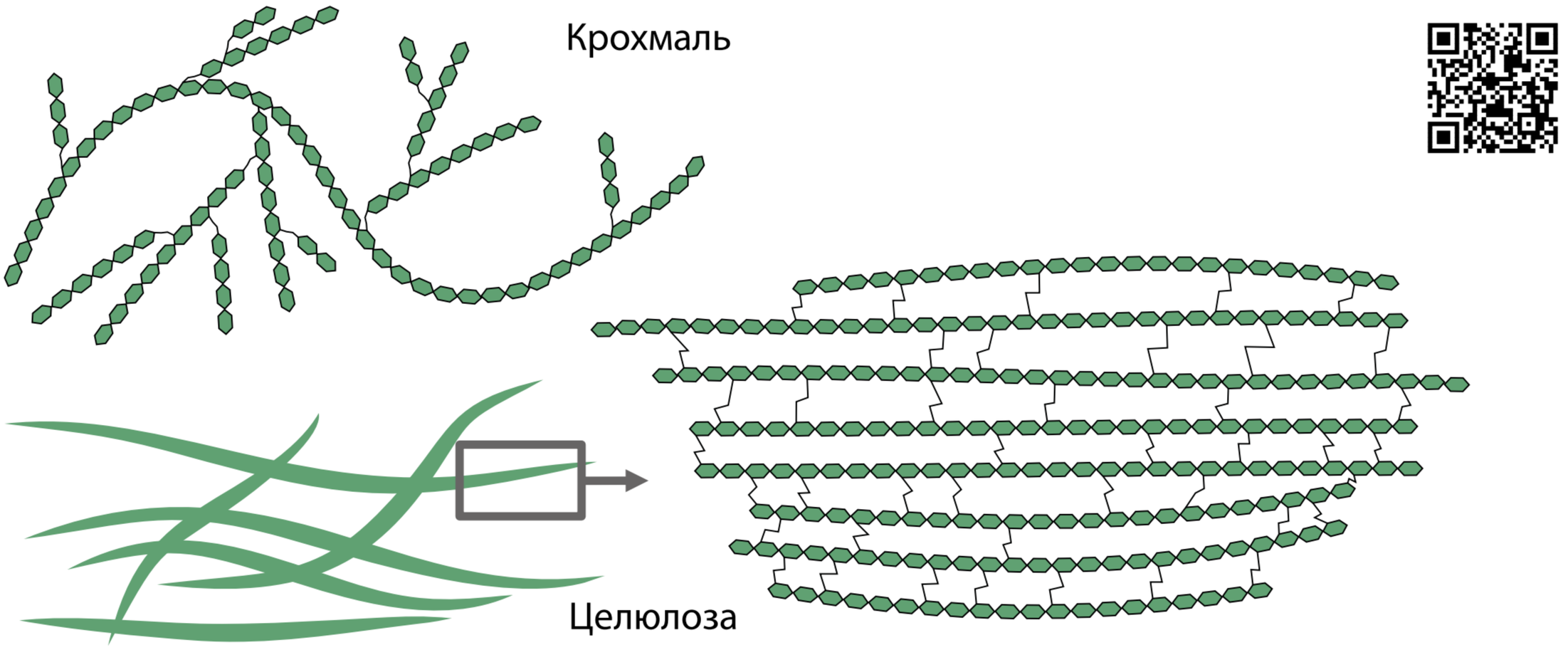
Будівельна (структурна) функція вуглеводів полягає в тому, що полісахариди входять до складу певних структур. Так, хітин формує зовнішній скелет членистоногих і міститься в клітинній стінці грибів, а целюлоза — у клітинній стінці рослин. Вуглеводи, пов'язані з білками та ліпідами, розташовуються ззовні плазматичної мембрани тваринної клітини й клітинної стінки бактерій. Особливі сполуки вуглеводів з білками (мукополісахариди) виконують в організмах хребетних тварин і людини функцію мастила — вони є складниками рідини, яка змащує поверхні суглобів.

Ланцюги полісахаридів можуть лінійно розташовуватися в просторі або ж розгалужуватися, що пов'язано з їхніми функціями. Ланцюги полісахаридів, які входять до складу структур клітини або організму, з'єднуються численними зв'язками між собою, що забезпечує міцність та хімічну стійкість цих речовин. Натомість більшість полісахаридів, що є резервними речовинами тваринних і рослинних клітин, мають численні розгалужені ланцюги, унаслідок чого в клітині ці молекули швидко розщеплюються до глюкози в багатьох точках одночасно (іл. 20).

Будова, властивості та біологічна роль ліпідів. До складу кожної клітини організму входять ліпіди. **Ліпіди** — це похідні жирних кислот і багатоатомних спиртів або альдегідів. Жирними кислотами є органічні кислоти з ланцюгом від чотирьох атомів Карбону, зазвичай нерозгалуженим. Деякі ліпіди мають дещо іншу будову, але також погано розчиняються у воді.

Ліпіди гідрофобні, але добре розчиняються в неполярних розчинниках: бензені, хлороформі, ацетоні.

Іл. 20. Розташування ланцюгів полісахаридів у просторі



Проаналізуйте особливості розташування молекули крохмалю і целюлози в просторі. Який із полісахаридів забезпечує структурну функцію, а який є резервною речовиною?

Велику групу ліпідів становлять жири. Жири — естери трьохатомного спирту гліцеролу і трьох залишків нерозгалужених жирних кислот. Одна з найважливіших функцій жирів — ***енергетична***. У разі повного розщеплення 1 г жирів виділяється 38,9 кДж енергії — удвічі більше ніж за повного розщеплення аналогічної кількості вуглеводів або білків. ***Резервна*** функція полягає в тому, що жири містяться в цитоплазмі клітин у вигляді включень — у клітинах жирової тканини, насінні соняшнику тощо. Запаси жирів можуть використовуватись організмами як резервні поживні речовини та як ***джерело метаболічної води*** (під час окиснення 1 г жирів утворюється майже 1,1 мл води). Накопичуючись у підшкірній жировій клітковині тварин, жири захищають організм від дії різких змін температури, виконуючи ***теплоізолювальну*** функцію. Ця функція жирів зумовлена їх низькою теплопровідністю. Запаси жирів в організмі можуть виконувати й захисну функцію. Зокрема вони захищають внутрішні органи від механічних ушкоджень. Подібними до жирів за будовою сполуками є воски, шар яких укриває листки й плоди наземних рослин, поверхню хітинового скелета багатьох членистоногих, запобігаючи надлишковому випаровуванню води з поверхні тіла. Окрему групу ліпідів утворюють стероїди. Найважливішим стероїдом організму тварин є холестерол — складник клітинних мембран, а також є попередником для синтезу вітаміну D, гормонів надниркових і статевих залоз. Поміж ліпідів є сполуки, які утворені внаслідок взаємодії молекул простих ліпідів з іншими речовинами. До них належать ліпопротеїди (сполуки ліпідів і білків), гліколіпіди (ліпідів і вуглеводів), фосфоліпіди (містять залишки ортофосфатної кислоти). Фосфоліпіди є основою біологічних мембран і виконують будівельну функцію.

Сформулюйте мету лабораторного дослідження, запишіть необхідне лабораторне обладнання та його об’єкти. Виконайте лабораторне дослідження

ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГЛЕВОДІВ І ЛІПІДІВ

Виявлення крохмалю та його властивостей.

1. Додайте у склянку із суспензією крохмалю 2–3 краплі розчину Йоду. Опишіть видимі зміни.
2. Нагрійте цей розчин, а потім дайте йому охолонути. Опишіть видимі зміни.
3. Нанесіть 2–3 краплі розчину Йоду на зріз бульби картоплі. Опишіть явище, яке спостерігаєте.

Виявлення жиру та його властивостей.

1. Розітріть на аркуші паперу кілька насінин соняшника. Опишіть, що спостерігаєте.
2. Налийте у дві пробірки по 0,2 мл рослинної олії. У першу пробірку додайте 2–3 мл води, а в другу — 2–3 мл ацетону. Опишіть, що спостерігаєте.

У висновку поясніть отримані результати лабораторного дослідження.

1. Дайте означення понять *вуглеводи, ліпіди.* **2.** Наведіть приклади моносахаридів, олігосахаридів і полісахаридів. **3.** Які речовини належать до ліпідів? **4.** Поясніть біологічну роль вуглеводів. **5.** Обґрунтуйте взаємозв’язок властивостей жирів та їх функцій.

§ 5. Білки: структурна організація та функції



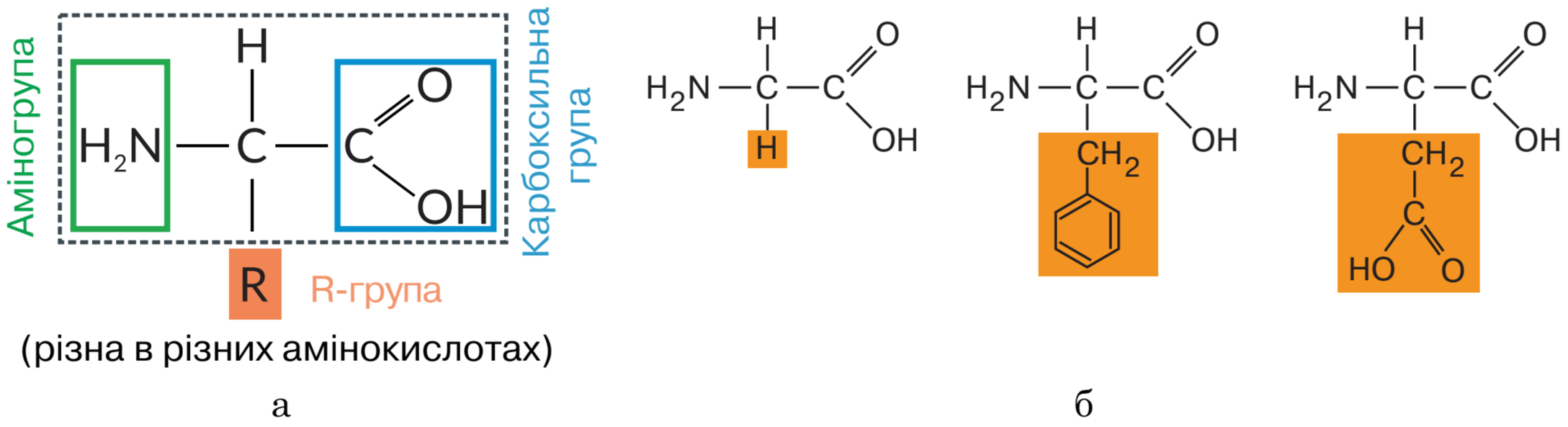
Які сполуки є мономерами білків?
Чому білки є необхідним компонентом харчування людини?
Назвіть відомі вам білки, які забезпечують життєдіяльність організму людини.

Поміж органічних сполук провідну роль відіграють білки. Часто вони переважають у клітинах і кількісно. Так, у клітинах тварин білки становлять 40–50 % сухої маси, а в клітинах рослин — 20–35 %.

Білки — високомолекулярні нітрогеновмісні біополімери, мономерами яких є залишки амінокислот.

Будова й властивості амінокислот. Амінокислоти — це органічні речовини, молекули яких містять аміногрупу ($–NH_2$), що виявляє основні властивості, та карбоксильну групу (–COOH) з кислотними властивостями. Ці групи сполучені з одним і тим самим атомом Карбону. Ковалентними зв'язками атом Карбону сполучений із двома атомами Гідрогену в амінокислоті, яка називається гліцином. У молекулах інших амінокислот один із атомів Гідрогену заміщений на певну групу атомів. Її називають замісником і позначають –R. Саме цією групою атомів амінокислоти відрізняються одна від одної. Структурну формулу амінокислоти зображено на ілюстрації (іл. 21а). Нині відомо понад 100 амінокислот, проте лише 20 із них є складниками білків (іл. 21б). Різні комбінації цих 20 амінокислот забезпечують величезну різноманітність білкових молекул.

Іл. 21. Амінокислота: а — будова молекули амінокислоти; б — приклади молекул амінокислот, які є складниками білків



Порівняйте будову молекул амінокислот (б). Який складник молекули кожної амінокислоти позначено кольором?

Підготуйте повідомлення про харчові продукти, які містять замінні та незамінні амінокислоти.

Оскільки в амінокислотах кислотні й основні властивості виявляють різні групи атомів, то їх молекули можуть реагувати одна з одною з утворенням міцного ковалентного зв'язку, який називають **пептидним**. Разом із тим, у речовині, яка утворилася, з одного боку залишається аміногрупа, а з іншого — карбоксильна, які здатні реагувати з іншими амінокислотами (іл. 22). Тому подовження такого ланцюга із залишків амінокислот може відбуватися далі. Молекула кожного білка характеризується певним складом і послідовністю амінокислотних залишків, які надають їй неповторних функціональних властивостей.

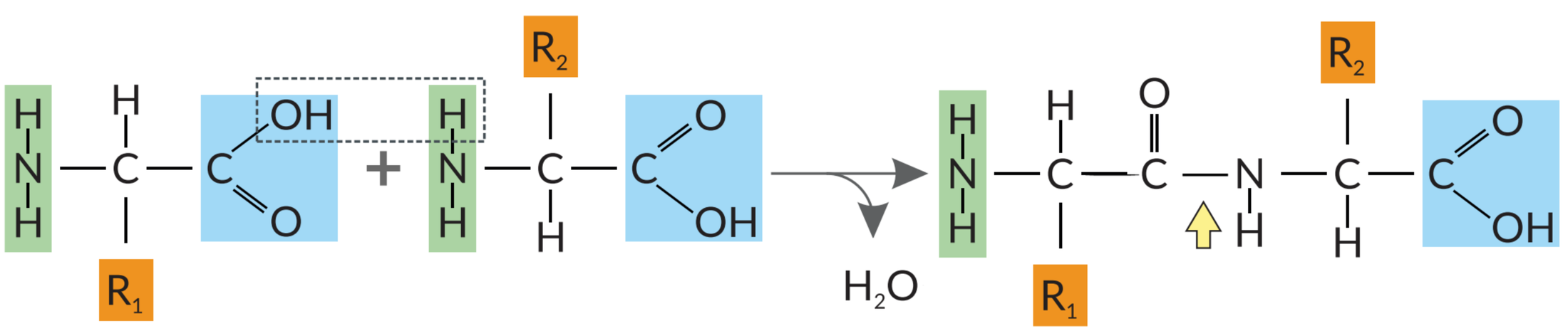
Рівні структурної організації білкових молекул. Різноманітність будови білкових молекул зумовлена складністю розташування їх у просторі. Виділяють кілька рівнів структурної організації білкових молекул. Кожен білок утворений лінійним ланцюжком з великої кількості різних амінокислотних залишків, розташованих у певному порядку та з'єднаних пептидними зв'язками. Це **первинний** рівень структурної організації.

У водному середовищі клітини різні частини довгого поліпептидного ланцюга скручуються і можуть укладатися різними способами в спіралі або складки. Це **вторинний** рівень структурної організації. Вторинна структура білка стабілізується слабкими водневими зв'язками між залишками амінокислот. Слабкість зв'язків компенсується великою кількістю, через це вторинні структури є відносно стійкими.

Сформовані в такий спосіб спіралі або складки вкладаються в просторі в різноманітні **третинні** структури (глобули). Цей рівень організації білка стабілізується сильними ковалентними та електростатичними взаємодіями або слабкими водневими та гідрофобними.

Для виконання своїх функцій деякі білки мають складатися з кількох субодиниць, кожна з яких сформована окремим поліпептидним ланцюгом.

Іл. 22. Схема утворення пептидного зв'язку



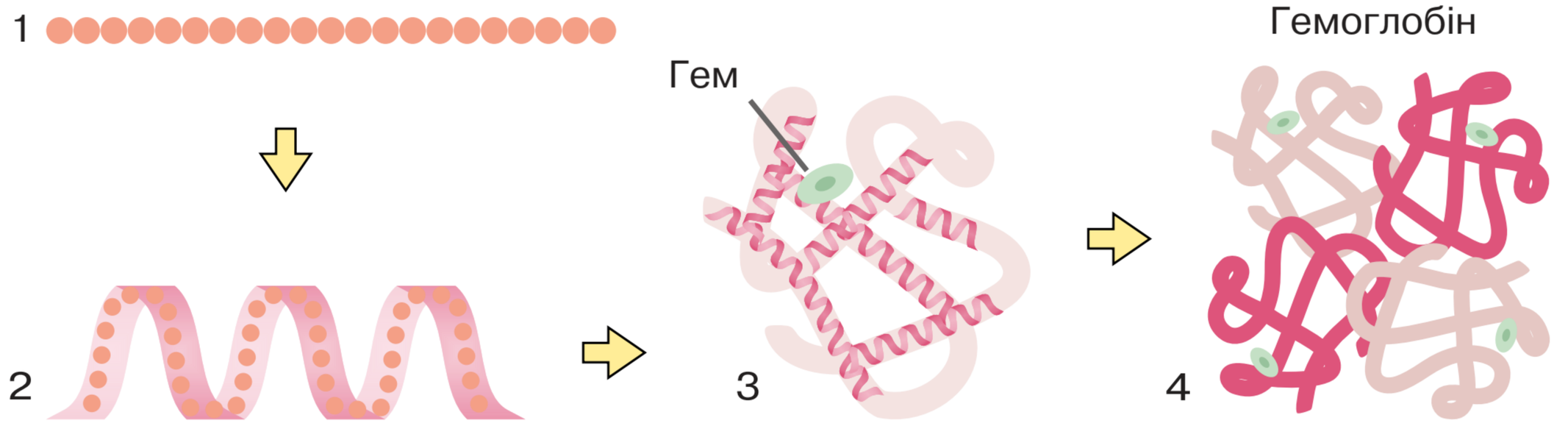
Змоделюйте утворення пептидного зв'язку в разі приєднання до продукту реакції ще однієї амінокислоти.

Таке об'єднання кількох третинних структур в одну функціональну білкову молекулу формує її **четвертинну** структуру, яка, на відміну від первинної, вторинної та третинної, характерна не для всіх білків. Процес укладання поліпептидних ланцюгів у вторинну, третинну та четвертинну структури є достатньо складним і контролюється спеціальними білками (іл. 23). У разі помилок у цьому процесі сформована білкова молекула може виявитися нефункціональною. Третинної й четвертинної структур набувають лише довгі (понад 50 амінокислот) поліпептидні ланцюги. Короткі ж (до 50 амінокислот) мають простішу будову й називаються пептидами.

За певних умов (висока температура, дія кислот, лугів або йонів важких металів, йонізувального випромінювання тощо) білкові молекули втрачають рівні організації: четвертинні структури розпадаються на окремі субодиниці, третинні структури розгортаються до рівня спіралей або складок, а ті, своєю чергою, випрямляються до поліпептидних ланцюжків. Такий процес утрати білковими молекулами природної структури називають **денатурацією** (іл. 24). Денатуровані білки не можуть виконувати свої функції. За умов нетривалого або неінтенсивного впливу зазначених чинників можливе повернення білків до природної структури — **ренатурація**. У разі порушення первинної структури білкової молекули процес виявляється незворотним і називається **деструкцією**.

Окрім амінокислот білкові молекули можуть містити й інші складники. Наприклад, білок крові гемоглобін містить небілкову частину гем із йоном Феруму (II) всередині. Ця частина молекули безпосередньо зв'язує кисень, проте характер цього зв'язування визначається саме білковою частиною. Більшість мембранних білків та велика кількість інших зв'язані з вуглеводами. Такі комплексні молекули називають глікопротеїнами.

Іл. 23. Рівні структурної організації білкової молекули на прикладі гемоглобіну: 1 — первинний; 2 — вторинний; 3 — третинний; 4 — четвертинний



Іл. 24. Денатурація білків альбумінів курячого яйця внаслідок дії високих температур



Виконайте інтерактивне завдання

Біологічна роль білків. Завдяки великій різноманітності будови білки виконують широкий спектр функцій (іл. 25).

Структурні білки є складниками клітин або позаклітинних структур: тубулін формує мікротрубочки цитоскелета; гістони зв'язують у ядрі молекули ДНК; колаген та еластин входять до складу міжклітинної речовини сполучної тканини; кератин формує основу волосся, нігтів, кігтів і пір'я.

Рухова функція білків забезпечується як на рівні клітин (динеїн та кінезин є молекулярними двигунами, які переміщують усередині клітин деякі органели), так і на рівні всього організму (актин і міозин забезпечують м'язове скорочення).

Ферменти є біологічними каталізаторами, які суттєво прискорюють хімічні реакції в організмах. Більш детально ми розглянемо їх у наступному параграфі.

Рецепторні білки здатні вибірково й дуже точно розпізнавати певні молекули або їх частини. Завдяки активації рецепторних білків чинять свій вплив гормони, функціонують сенсорні системи тощо.

Сигнальна функція білків полягає у тому, що деякі сигнальні речовини, а саме гормони (вазопресин, окситоцин, інсулін, тропні гормони гіпофіза) та нейромедіатори (згадайте їх значення для функціонування нервової системи) мають білкову природу.

Транспортні білки здатні зв'язувати певні речовини та переносити їх: білок еритроцитів гемоглобін потрібен для транспортування кров'ю кисню, мембранні білки-переносники забезпечують проникнення в клітину важливих складників (глюкози, йонів).

Захисна функція білків полягає у зв'язуванні шкідливих речовин, зокрема токсинів, що виробляються хвороботворними організмами, та згубним впливом на віруси. До таких білків належать антитіла та інтерферони. Білок плазми крові фібрин бере участь у зсіданні крові.

Іл. 25. Голуб сизий як приклад організму, життєдіяльність якого забезпечують різноманітні білки







Складіть оповідання на тему «*Роль білків у життєдіяльності птаха*», використавши наведені світлини.



1. Дайте означення поняття *білки.* **2.** Опишіть будову молекули амінокислоти. **3.** Як утворюється пептидний зв'язок? **4.** Опишіть рівні структурної організації білкової молекули. **5.** Поясніть біологічну роль білків на окремих прикладах.

§ 6. Ферменти, їх біологічна роль



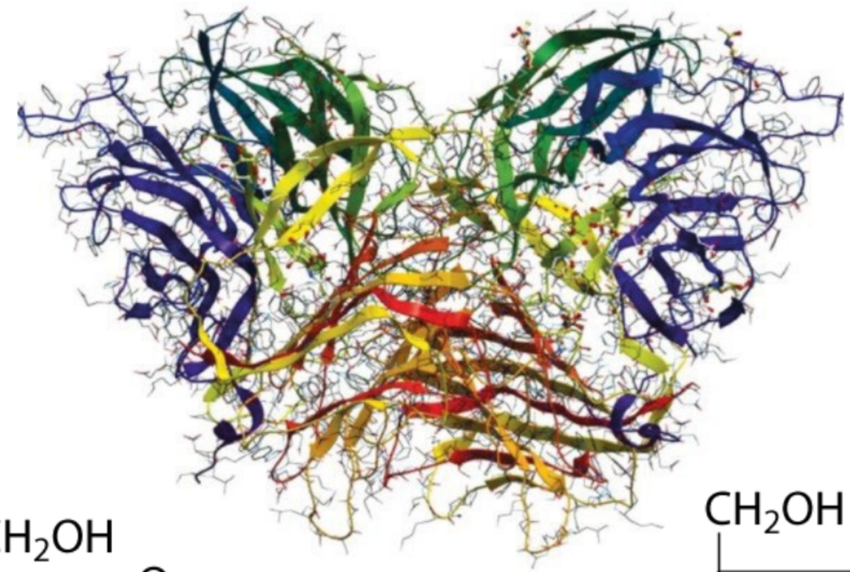
Які ферменти забезпечують травлення в організмі людини?
Які ферменти беруть участь у зсіданні крові?

На молекулярному рівні життя є сукупністю найрізноманітніших хімічних реакцій, що відбуваються в організмах (а часом і за їх межами). Більшість із таких реакцій забезпечують перетворення лише однакових молекул, тобто ступінь їх вибірковості є високим. Крім того, швидкість біохімічних реакцій в організмах у мільйони разів вища, ніж вони відбувалися б у неживій природі за нормальних умов. Такі особливості функціонування живого забезпечують спеціалізовані білки, які називають ферментами.

Функціонування ферментів. Ферменти взаємодіють зі сполуками, які є субстратом реакції, змінюють їхню структуру, перетворюючи на продукт реакції, але самі при цьому не змінюють свого хімічного складу. Отже, **ферменти** — біологічні каталізатори, які значно прискорюють швидкість реакцій, не витрачаючись у них. Назви ферментів, зазвичай, формуються із назв їхніх субстратів із додаванням закінчення **-аза**. Наприклад, фермент лактаза розщеплює молочний цукор лактозу на моносахариди глюкозу й галактозу.

Проаналізуйте інший приклад (іл. 26). Деякі ферменти мають традиційні назви (без закінчення -аза). Наприклад, пепсин і трипсин, що забезпечують процеси травлення людини (пригадайте, розщеплення яких речовин вони каталізують).

Іл. 26. Тривимірна модель будови молекули ферменту, що розщеплює сахарозу на моносахариди





Поміркуйте, як називають цей фермент. Яка речовина є його субстратом? Що є продуктом цієї реакції?

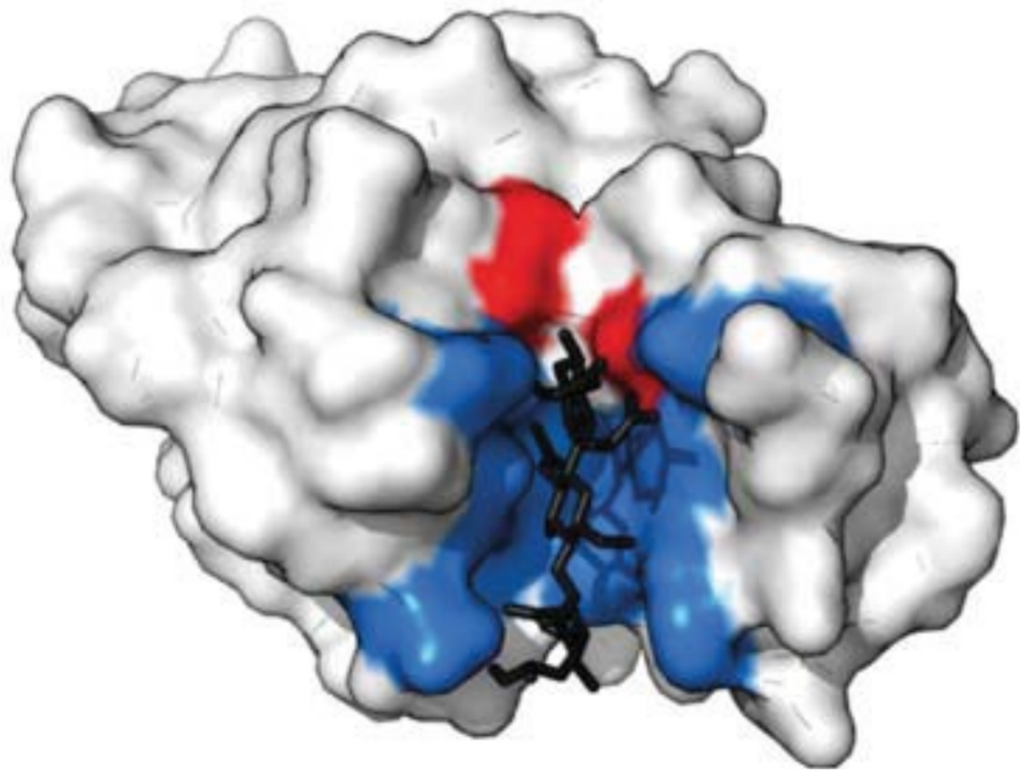
При зв'язуванні ферменту із субстратами утворюється тимчасова сполука фермент-субстратний комплекс, який розпадається з утворенням ферменту та продуктів реакції. Енергетично цей процес є більш вигідним, ніж перетворення субстрату на продукт без участі ферменту. Без нього реакція може потребувати високих температур, тиску, високої кислотності середовища тощо, тобто не може ефективно відбуватися в живих клітинах.

Функціонування ферменту визначається просторовою структурою його молекули. Завдяки здатності білків набувати найрізноманітніших третинних і четвертинних структур ферменти каталізують велику кількість реакцій — міжнародна база даних ферментів налічує близько 7000 назв і постійно поповнюється. Найважливішою для функціонування ферменту є частина молекули, що безпосередньо зв'язує субстрат і забезпечує його перетворення — **активний центр** (іл. 27).

Функціонування деяких ферментів залежить від наявності додаткових речовин небілкової природи. Сполуки, необхідні для роботи ферментів, називають **коферментами**. Ними можуть бути, наприклад, похідні вітамінів. Для функціонування деяких ферментів необхідні йони металів (Цинку, Купруму, Кобальту тощо).

Чинники, що впливають на активність ферментів. Із підвищенням температури на 10 °C ферментативна активність зростає приблизно у 2–3 рази. Проте, як і всі білки, ферменти можуть денатурувати, а отже, втрачати властиву їм природну структуру. Це призводить до втрати каталітичної активності. В організмі людини білки починають денатурувати за температури ~40 °C, в інших організмах білки залишаються стійкими в більшому інтервалі температур. Наприклад, деякі бактерії живуть у водоймах, температура води яких вища ніж 80 °C.

Іл. 27. Тривимірна модель молекули ферменту лізоциму



Активний центр виділено кольором, також можна бачити зв'язану молекулу субстрату.

Пригадайте, де трапляється зображена речовина та яку функцію вона виконує.

Підготуйте повідомлення про ферменти, які функціонують на рівні організму людини.

Іншим шляхом регуляції роботи ферментів є приєднання до них певних сполук, наприклад залишку ортофосфатної кислоти. Така реакція називається фосфорилюванням. Унаслідок неї неактивний фермент стає активним і починає виконувати свою функцію. Фосфорилювання може спричиняти й протилежний ефект — змінений білок переходить з активного стану в неактивний. Такі зміни можуть відбуватися всередині клітин унаслідок дії на них різноманітних подразників — гормонів, нейромедіаторів тощо. Це один зі способів регуляції функціонування клітин. Деякі речовини можуть блокувати активний центр ферменту, що призводить до порушення його функціонування. Рівень активності ферментів може визначатися також концентрацією продуктів реакції. Як правило, вони гальмують роботу ферменту: при накопиченні продуктів реакції швидкість реакції знижується, а отже, утворення цих речовин припиняється. У такий спосіб регулюється надмірне накопичення утворюваних сполук.

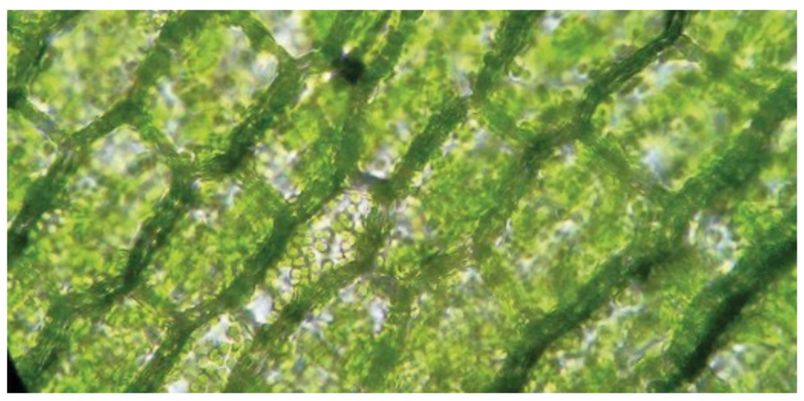
Ферменти й захворювання. Ферменти забезпечують більшість функцій в організмі — зчитування спадкової інформації, процеси отримання енергії, синтез необхідних для росту й розвитку речовин, розщеплення проміжних продуктів обміну речовин тощо. Наприклад, фермент каталаза забезпечує розщеплення до води й кисню отруйного для організму гідроген пероксиду, що утворюється в клітинах як проміжний продукт окиснення. Дослідити вплив ферменту каталази рослинних клітин на гідроген пероксид можна під час лабораторного дослідження, використавши водяну рослину елодею (іл. 28).

У випадку, якщо той чи інший фермент не функціонує, контрольована ним реакція не відбувається, що призводить до захворювання. Наприклад, якщо в організмі людини бракує ферменту лактази, не розщеплюватиметься молочний цукор. Оскільки лактоза не може всмоктуватися безпосередньо

Іл. 28. Водяна рослина елодея: а — листки рослини; б — клітини листка елодеї у полі зору оптичного мікроскопа



а



б



Сформулюйте мету лабораторного дослідження і запишіть необхідне обладнання та досліджуваний об’єкт. Виконайте лабораторне дослідження

ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФЕРМЕНТІВ

Перебіг роботи:

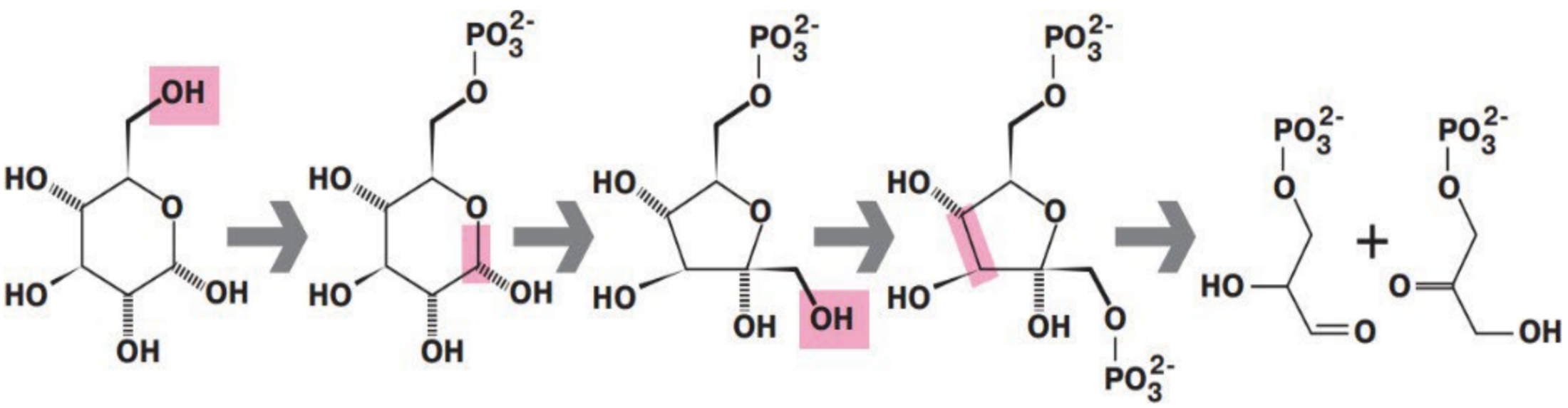
1. Приготуйте мікропрепарат витриманого на світлі (8–10 год) листка елодеї та розгляньте його за допомогою оптичного мікроскопа.
2. На один край накривного скельця нанесіть краплину розчину гідроген пероксиду. Відтягніть нанесений розчин на інший край фільтрувальним папером. Спостерігайте за допомогою мікроскопа явище, що відбувається. Опишіть та поясніть результат лабораторного дослідження.

в кишківнику в кров, вона залишатиметься в порожнині травного тракту, де її використовуватимуть бактерії. Утворені внаслідок цього продукти обміну речовин (вуглекислий газ, молочна кислота) негативно впливатимуть на функціонування кишківнику, що проявлятиметься як симптоми несприйняття лактози (нудота, здуття, біль, пронос тощо). Багато таких захворювань є вродженими, тобто зумовлені мутаціями генів, які кодують структуру відповідних ферментів.

Ферментативні реакції часто відбуваються у вигляді послідовних каскадів, коли продукт попередньої реакції стає субстратом наступної (іл. 29). Тож для синтезу або розщеплення певних сполук потрібна злагоджена послідовна робота кількох (часто десятків) ферментів. Такі складні ланцюжки реакцій забезпечують процеси отримання клітиною енергії (§ 16), фотосинтезу (§ 17) тощо. Якщо хоча б один із ферментів каскаду не функціонує, то розвиваються захворювання. Порушення функціонування багатьох ферментів виникає також унаслідок нестачі в раціоні вітамінів, незамінних амінокислот, жирних кислот, макро- та мікроелементів.

Вітаміни здебільшого не утворюються в організмі, тому за їх відсутності в харчових продуктах порушується функціонування ферментів, обмін речовин і розвиваються тяжкі захворювання. Такими захворюваннями людини є, наприклад, рахіт, цинга, куряча сліпота тощо (пригадайте, нестача яких вітамінів спричиняє зазначені захворювання, і які порушення в результаті виникають). До пригнічення активності окремих ферментів можуть призводити також природні компоненти харчових продуктів або чужорідні речовини, що містяться в них (наприклад, пестициди). Тому запорукою запобігання захворюванням, що виникають унаслідок порушення функціонування ферментів в організмі, є дотримання умов вирощування рослин, правил збереження вітамінів у продуктах та збалансоване харчування.

Іл. 29. Частина ланцюга розщеплення глюкози



Простежте, які структурні перетворення відбуваються під час кожної реакції. Зважте, що кожна стрілка відповідає впливу певного ферменту.

1. Дайте означення поняття *ферменти*. **2.** Наведіть приклади ферментів. **3.** Чому наявність ферментів є необхідною умовою життєдіяльності клітини? **4.** Опишіть результат дослідження. Яку властивість ферментів ви спостерігали? **5.** Які чинники впливають на активність ферментів?

§ 7. Нуклеїнові кислоти: структурна організація та функції. АТФ



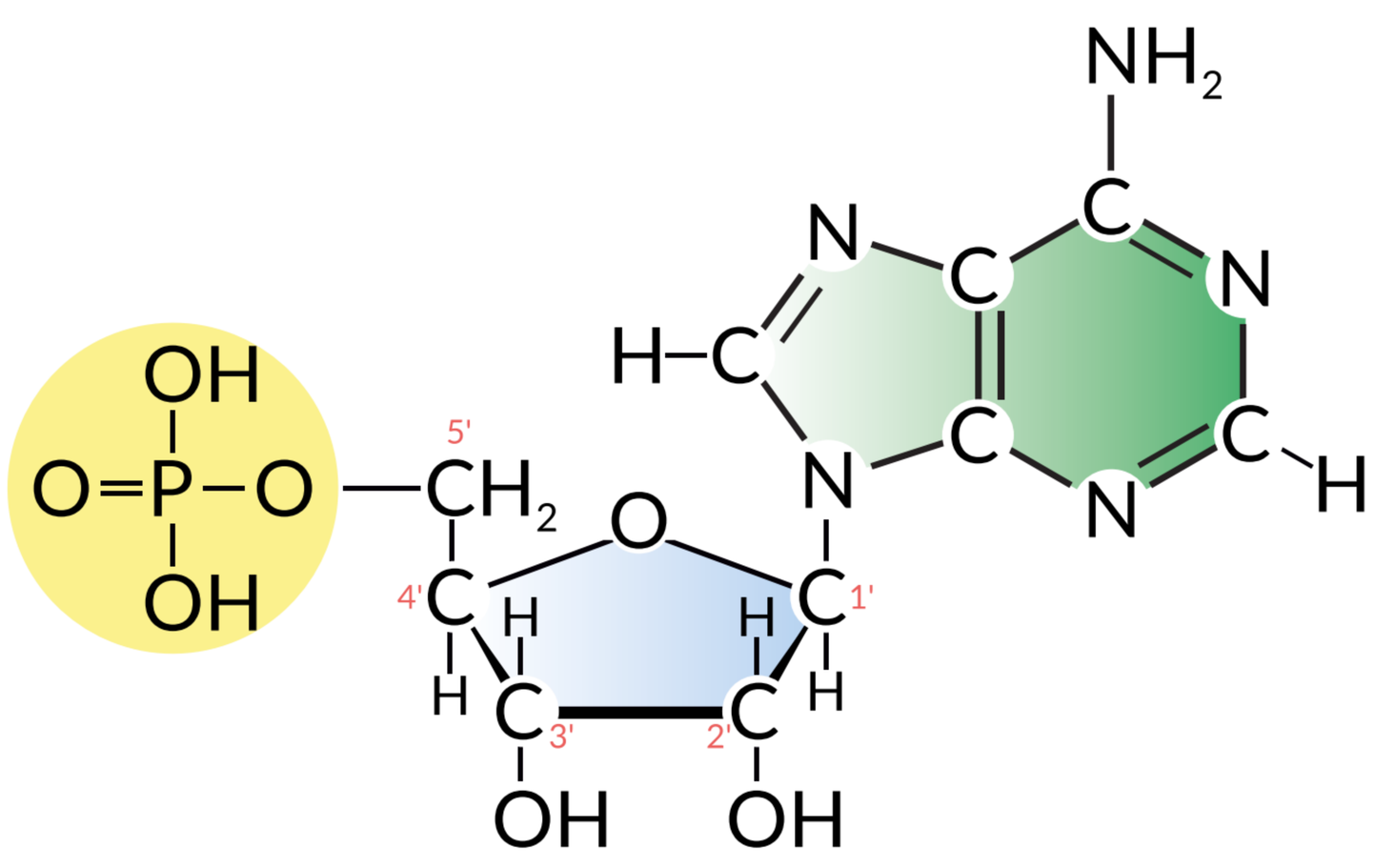
Що таке біополімер?
Яка органічна молекула забезпечує збереження спадкової інформації?

Ріст і розвиток усіх організмів визначаються і контролюються генетичною програмою. Ви вже знаєте, що спадкова інформація зберігається в структурі молекул ДНК (дезоксирибонуклеїнової кислоти). Інші молекули — РНК (рибонуклеїнові кислоти) — беруть участь у реалізації цієї інформації, а саме в біосинтезі білка. Обидва зазначені типи молекул належать до нуклеїнових кислот.

Нуклеїнові кислоти — біополімери, мономерами яких є нуклеотиди. Нуклеотиди — це органічні речовини, що складаються з трьох хімічних компонентів, сполучених ковалентними зв'язками: моносахариду (пентози), ортофосфатної кислоти й нітрогеновмісної основи — речовини з циклічною будовою молекули (іл. 32).

Різноманітність нуклеотидів. Усі нуклеотиди містять однакові залишки ортофосфатної кислоти. А різняться вони вуглеводними компонентами та нітрогеновмісними основами. Моносахаридами, які є складниками нуклеотидів, можуть бути **рибоза** або **дезоксирибоза**. Нуклеотиди з рибозою утворюють молекули РНК, з дезоксирибозою — ДНК. Нітрогеновмісні основи, які можуть бути складниками нуклеотидів, називають **аденіном**, **тиміном**, **урацилом**, **цитозином** та **гуаніном**. Скорочено їх позначають першими буквами назв речовин: А, Т, У, Ц, Г (іл. 30).

Іл. 30. Будова молекули нуклеотиду (залишок моносахариду позначено синім кольором, залишок ортофосфатної кислоти — жовтим, залишок нітрогеновмісної основи — зеленим)



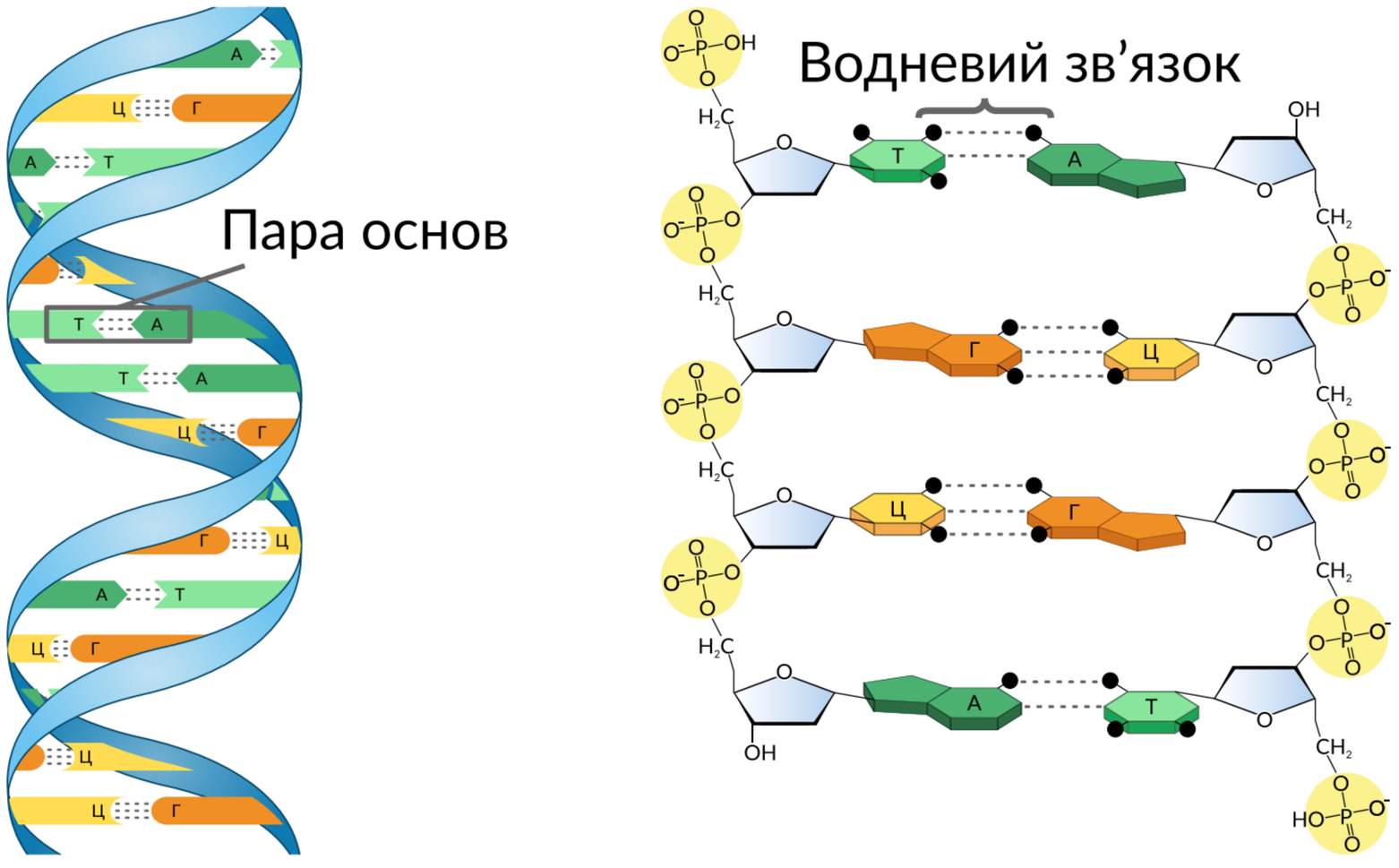
Нуклеотиди здатні взаємодіяти один із одним, формуючи довгі ланцюги. Міцний ковалентний зв'язок утворюється між гідроксильною групою вуглеводу одного нуклеотиду та гідроксильною групою ортофосфатної кислоти іншого нуклеотиду. Унаслідок цього утворена сполука буде містити з одного боку залишок ортофосфатної кислоти, а з іншого — моносахариду, а тому може взаємодіяти з іншим нуклеотидом. Найбільша молекула ДНК клітин людини містить послідовно майже 250 млн нуклеотидів. Якщо цю молекулу розгорнути, її довжина становитиме 85 мм (пригадайте розміри клітини).

Послідовність «букв» нітрогеновмісних основ і є основою коду, яким записано інформацію в молекулах ДНК й РНК. Як він «працює», ми розглянемо згодом, а тепер розглянемо особливості будови цих речовин.

Молекула ДНК. Молекулу ДНК можна уявити як подвійну спіраль: вона складається з двох ланцюгів, що закручені один навколо одного. Нуклеотиди обох ланцюгів розташовані так, що нітрогеновмісні основи одного ланцюга містяться напроти нітрогеновмісних основ іншого, утворюючи пари. Між основами виникають слабкі водневі зв'язки. Незважаючи на слабкість, велика їх кількість (сотні тисяч та мільйони) зумовлює те, що обидва ланцюги міцно тримаються разом. Основи взаємодіють між собою так, що напроти А першого ланцюга завжди розташовується Т другого, а напроти Г — завжди Ц. Таку відповідність у розташуванні нуклеотидів називають **комплементарністю** (іл. 31).

Ця закономірність має важливе значення для забезпечення процесів копіювання молекул ДНК (§ 24) та переписування з них інформації на молекули РНК (§ 25). Водночас така особливість будови молекули ДНК зумовлює те, що структура першого ланцюга комплементарно

Іл. 31. Модель молекули ДНК — подвійна спіраль. Ділянка молекули



Полічіть кількість водневих зв'язків, що утворюються між комплементарними нуклеотидами зображеної ділянки молекули ДНК.

повторює структуру другого, тобто за послідовністю одного з них може відновлюватися послідовність іншого в разі його руйнування. Це важливо для захисту молекули ДНК від пошкоджень унаслідок негативних хімічних або фізичних впливів. Отже, така будова молекули ДНК забезпечує виконання своєї основної функції — збереження спадкової інформації. У клітинах, які мають ядра, молекули ДНК зв'язані з білками, що називають гістонами.

Молекула РНК. Молекули РНК клітин прокаріотів та евкаріотів складаються з одного ланцюга. Існують три основні типи РНК, які різняться місцем розташування в клітині, структурою та функціями в біосинтезі білка. ***Інформаційна, або матрична, РНК*** (іРНК, або мРНК) переносить спадкову інформацію від ДНК до місця синтезу поліпептидного ланцюга. ***Транспортна РНК*** (тРНК), що з-поміж усіх молекул РНК має найменші розміри (складається з 70–90 нуклеотидів), транспортує амінокислоти до місця синтезу білкових молекул. ***Рибосомна РНК*** (рРНК) є компонентом особливих органел клітини — рибосом, які забезпечують синтез білкової молекули. Бувають й інші типи РНК.

Ядерна ДНК зберігається в ядрі, там же синтезуються молекули РНК. Далі РНК транспортуються з ядра в цитоплазму, де синтезуються білки. Наводимо порівняльну таблицю двох типів нуклеїнових кислот (іл. 32).

Інші функції нуклеотидів. АТФ. Деякі нуклеотиди функціонують у клітинах не лише як мономери нуклеїнових кислот, а мають додаткові, самостійні функції.

Найголовнішим із таких нуклеотидів є АТФ (аденозинтрифосфат). Цей нуклеотид складається з аденіну, рибози та трьох залишків ортофосфатної кислоти. Особливістю будови цієї молекули є те, що для приєднання

Іл. 32. Особливості будови та локалізація молекул ДНК й РНК

Особливості будови та локалізації в клітині	ДНК	РНК
Кількість ланцюгів	2	1
Нуклеотидний склад полімеру (назва нуклеотиду надається за назвою нітрогеновмісної основи)	(А) Аденіловий (Г) Гуаніловий (Т) Тимідиловий (Ц) Цитидиловий	(А) Аденіловий (Г) Гуаніловий (У) Урациловий (Ц) Цитидиловий
Речовини, що утворюють нуклеотид	Нітрогеновмісна основа Ортофосфатна кислота Вуглевод-дезоксирибоза	Нітрогеновмісна основа Ортофосфатна кислота Вуглевод – рибоза
Локалізація в евкаріотичній клітині	Ядро Хлоропласти Мітохондрії	Ядро Цитоплазма Рибосоми Хлоропласти Мітохондрії

наступних залишків ортофосфатної кислоти потрібно набагато більше енергії, ніж на приєднання першого — так у клітинах накопичується енергія (іл. 33). Від синтезованої молекули АТФ шляхом гідролізу відщеплюється третій залишок ортофосфатної кислоти, накопичена енергія вивільняється і використовується для перебігу різноманітних процесів (синтез чи розклад хімічних речовин, зміну їхньої структури, здійснення рухів тощо). Рівняння такої реакції:

$$АТФ + H_2O \rightarrow АДФ + H_3PO_4 + E\ (50\ кДж/моль),$$

де АДФ — аденозиндифосфатна кислота; *E* — енергія, що виділяється.

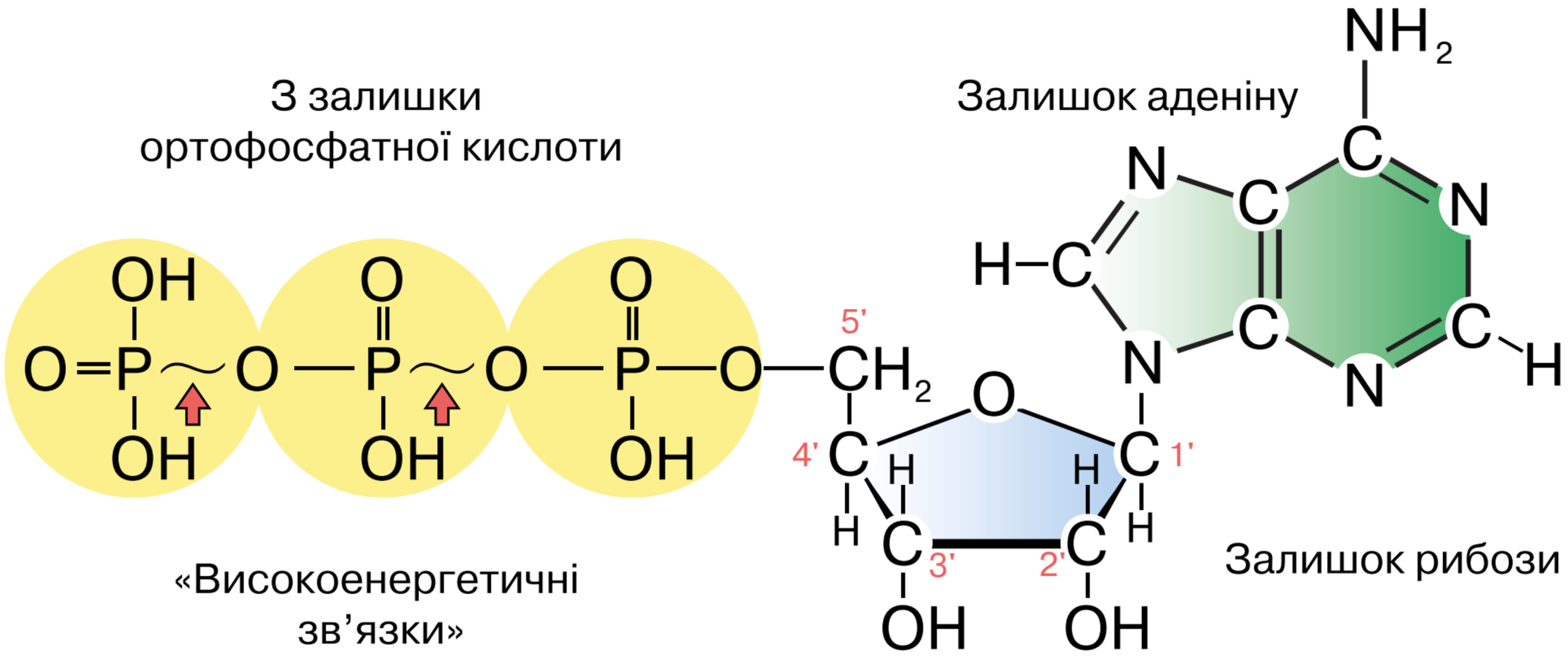
Утворена АДФ може далі розщеплюватися до аденозинмонофосфатної кислоти (АМФ), але під час цієї реакції вивільняється менше енергії (~33–42 кДж/моль). АМФ є звичайним РНК-нуклеотидом, що не зберігає великої кількості енергії.

АТФ — це молекула, що є універсальним внутрішньоклітинним переносником енергії.

Молекули АТФ можуть утворюватися за рахунок енергії, яка виділяється в реакціях безкисневого розщеплення глюкози або окиснення органічних речовин у мітохондріях, за рахунок енергії світла під час фотосинтезу тощо. Розщеплення АТФ відбувається завжди, коли клітині потрібна енергія для здійснення певної реакції.

Крім АТФ в клітинах «працюють» й інші нуклеотиди. До них належать нікотинамідаденіндинуклеотид (НАД) та нікотинамідаденіндинуклеотид-фосфат (НАДФ) (назви наведено не для запам'ятовування). Ці нуклеотиди транспортують хімічні речовини і є важливими для роботи мітохондрій та хлоропластів.

Іл. 33. Структурна формула молекули АТФ



1. Дайте означення поняття *нуклеїнові кислоти*. **2.** Опишіть будову нуклеотиду. **3.** Що таке принцип комплементарності? **4.** Порівняйте будову молекул ДНК й РНК. **5.** Поясніть, чому АТФ називають акумулятором енергії в клітині?

§ 8. Віруси та їхня біологічна роль



Дайте означення поняття життя.
За якими ознаками можна відрізнити живе від неживого?

Вам уже відомо, що основними формами життя є організми, які мають клітинну будову. Однак на нашій планеті виявлено й інші форми життя.

Особливості будови та функціонування вірусів. Уперше існування вірусів довів видатний ботанік Дмитро Івановський 1892 року. Досліджуючи захворювання тютюну — листкову мозаїку (іл. 34а), він за допомогою керамічних фільтрів намагався виділити збудника цієї хвороби. Але навіть фільтри з найдрібнішим діаметром пор не змогли його затримати, і відфільтрований сік хворої рослини спричинював захворювання здорових. На підставі цього вчений висловив припущення про існування невідомого на той час науці об'єкта. Пізніше було доведено існування аналогічних збудників різних захворювань тварин. Усі ці непомітні у світловий мікроскоп живі об'єкти дістали назву ***віруси***. Але систематичне вивчення вірусів почалося лише в 30-ті роки XX століття після винаходу електронного мікроскопа.

Дослідження показали, що складниками вірусів є органічні молекули — нуклеїнові кислоти та білки. У простих вірусів молекула нуклеїнової кислоти оточена капсидом, що складається з білкових молекул (іл. 34б, в). Складні віруси під час формування віріонів захоплюють частину клітинної плазматичної мембрани, доповнюють її власними білками — утворюється суперкапсид. Геном вірусу може бути утворений

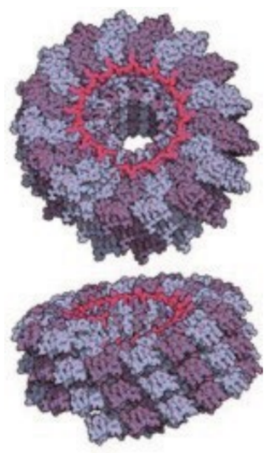
Іл. 34. Вірус тютюнової мозаїки (ВТМ): а — рослина, уражена вірусом; б — електронна мікрофотографія вірусу; в — модель будови



а



б



в

Існування неклітинних форм життя є предметом наукової суперечки у зв'язку з тим, що однозначного означення поняття «життя» досі немає. Багато вчених уважає, що лише клітинні форми (організми) можна вважати живими. Наприклад, вірусолог Марк ван Редженмортел стверджує: *«Найпростішою системою, яку можна назвати живою, є клітина. Віруси… неживі інфекційні об'єкти, про які в крайньому разі можна сказати, що вони ведуть щось на зразок позиченого життя»*.



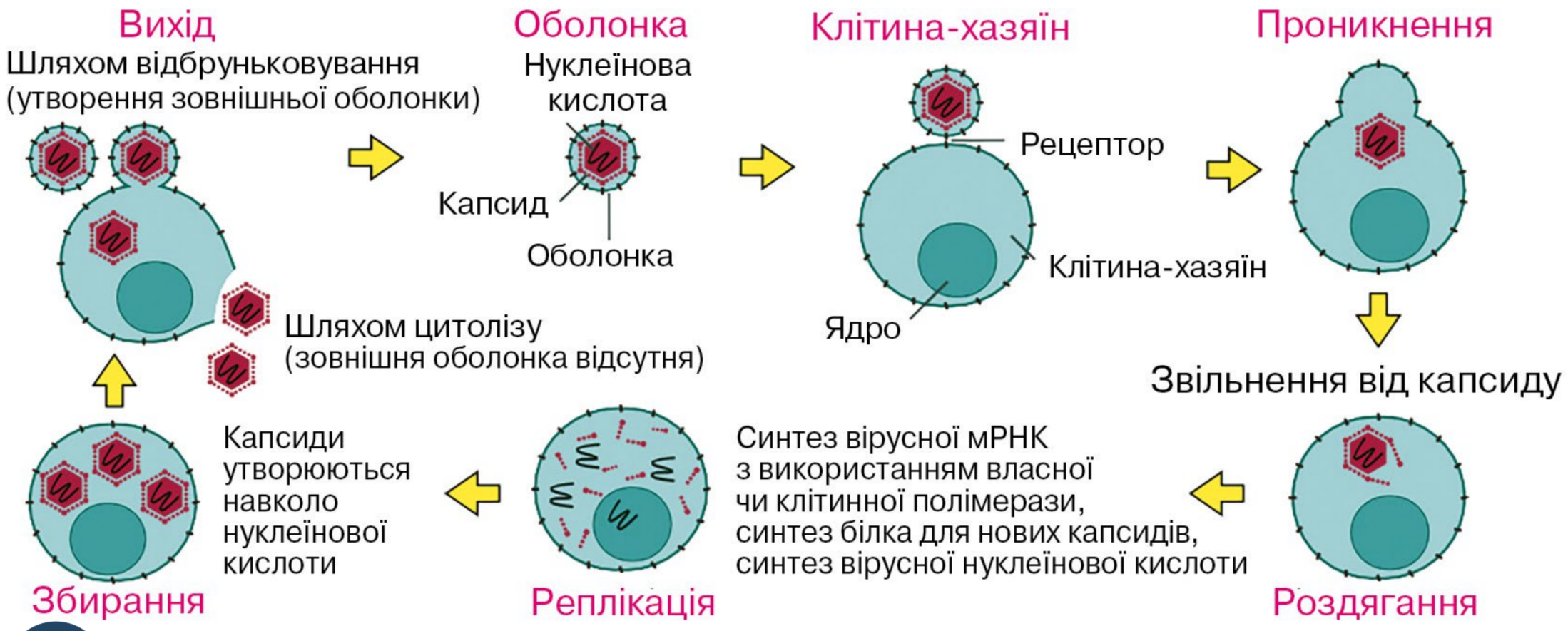
Чи згодні ви з таким твердженням? Чи достатньо у вас знань для обґрунтування власної позиції? Якщо так — наведіть власні аргументи, якщо ні — уважно опрацюйте зміст параграфа та додаткові джерела інформації.

як дво-, так і одноланцюговою молекулою ДНК або РНК. Віруси використовують органели клітин-хазяїнів для синтезу нових вірусних частинок — ***віріонів***. Поза клітиною-хазяїном віруси не виявляють ознак життя.

Життєві цикли різних вірусів відбуваються за загальною схемою, у якій можна виокремити такі стадії: адсорбція вірусу на клітинній мембрані й проникнення вірусу в клітину; експресія і реплікація вірусного геному; збирання вірусів та їх вихід із клітини (іл. 35). Проникнення вірусу в клітину може спричинювати інфекційне захворювання. Розрізняють гострі та хронічні вірусні інфекції. Унаслідок гострої інфекції після утворення нового покоління вірусів клітина зазвичай гине. За хронічної інфекції нові покоління вірусних частинок утворюються в клітині протягом тривалого часу. Інколи материнська клітина може передавати вірусну інфекцію дочірнім. Також вірус може призвести до структурних і функціональних змін у клітині внаслідок механічного пошкодження клітинних структур. У деяких випадках віруси (наприклад, вірус папіломи людини та інші онкогенні віруси) можуть спричинити неконтрольований поділ клітин і перетворення їх на ракові.

Порівнюючи віруси з організмами, можна виявити як ознаки подібності, так і ознаки відмінності. Віруси мають у своєму складі органічні речовини — нуклеїнові кислоти та білки, здатні до розмноження, успадковування ознак, мінливості та адаптації до умов навколишнього середовища. Ознаки, за якими віруси відрізняються від організмів: відсутність клітинної будови, власної білоксинтезувальної системи; різні віруси можуть містити як дво-, так й одноланцюгову молекулу ДНК або РНК; віріон утворюється внаслідок збирання; деякі віруси можуть формувати всередині клітини кристали. Зважаючи на це, можна дати означення поняття вірусу.

Іл. 35. Схема життєвого циклу вірусу



Проаналізуйте схему. Поясніть, чому вірус може відтворюватися лише в клітині.

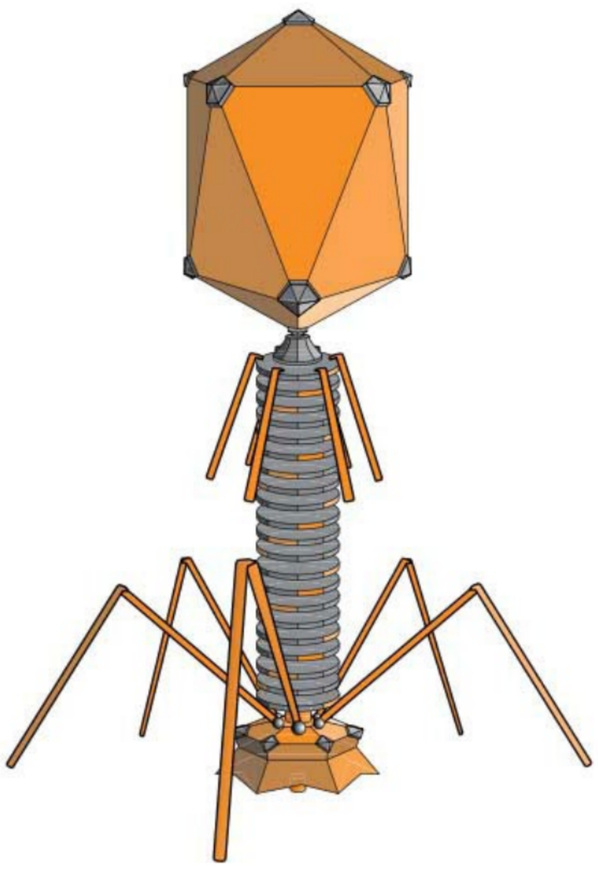
Підготуйте повідомлення на одну з тем: «Особливості життєвого циклу ВІЛ», «Застосування вірусів у генетичній інженерії».

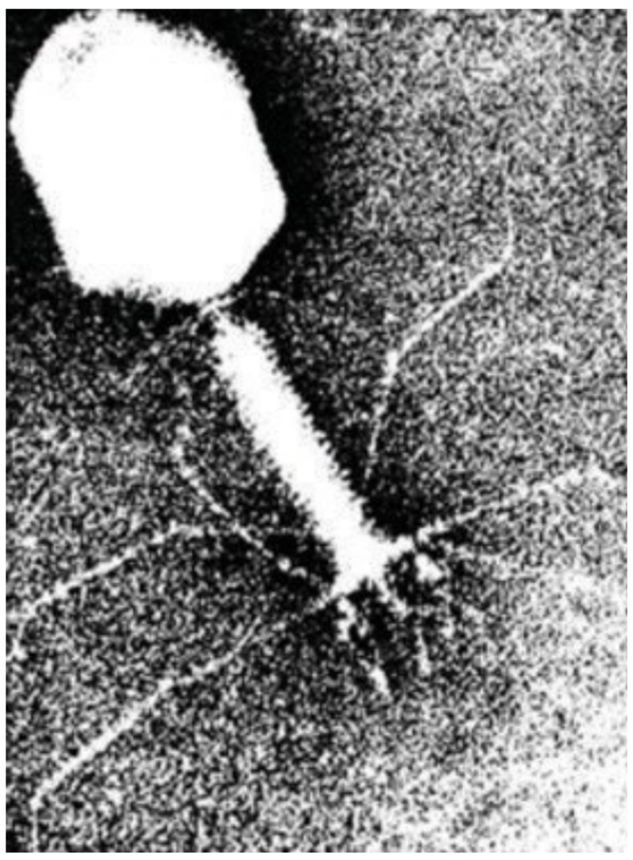
Віруси — неклітинні форми життя, що є автономними генетичними системами, нездатними до самостійного існування поза клітиною хазяїна, тобто внутрішньоклітинними паразитами.

Шляхи проникнення вірусу. Більшість вірусів специфічні: вони вражають лише певні типи клітин хазяїна — багатоклітинних організмів чи окремі види одноклітинних організмів. Існує декілька шляхів проникнення вірусів у клітини бактерій, рослин і тварин. Проникнення в клітину-хазяїна починається із взаємодії вірусної частинки з мембраною клітини, на якій розташовані особливі рецепторні ділянки. Віруси бактерій — бактеріофаги, проникають у клітину шляхом, зумовленим будовою капсиду (іл. 36). Віруси рослин проникають в організм унаслідок руйнування цілісності покривів, а в клітину — крізь пошкодження клітинних стінок. У багатьох складних вірусів (наприклад, вірус грипу) мембрани вірусної частинки й клітини зливаються. Часто вірусна частинка потрапляє всередину клітини в результаті піноцитозу (вірус поліомієліту). В організм тварин віруси проникають крізь різні системи органів. Наприклад, повітряно-крапельним шляхом крізь органи дихання проникають віруси грипу, віспи, кору. Статевим шляхом передаються віруси герпесу, папіломи, ВІЛ. Варто звернути увагу на те, що проникнення вірусу в організм хазяїна можливе й за участі переносників — комах, кліщів тощо.

Походження вірусів та їхня роль в екосистемах. Існує декілька гіпотез походження вірусів. Згідно з однією із них, віруси утворилися шляхом спрощення бактерій, що перейшли до внутрішньоклітинного паразитизму. На користь цієї гіпотези свідчать особливості будови багатьох ДНК-вмісних вірусів. Згідно з іншою гіпотезою, віруси утворилися з мобільних генетичних елементів клітини-хазяїна та набули здатності переміщатися не лише

Іл. 36. Бактеріофаг — вірус, що уражає бактерії





Бактеріофаг складається з розширеної головки, що містить ДНК, чохлоподібного відростка з порожнім стрижнем усередині та хвостових ниток. За допомогою цих ниток вірус сполучається з рецепторними ділянками клітини-хазяїна й прикріплюється до її поверхні. Потім чохлоподібний відросток скорочується, унаслідок чого стрижень проходить крізь оболонку бактерії та впорскує вірусну ДНК всередину клітини, а порожня оболонка бактеріофага залишається назовні.

в межах одного геному, а й поза батьківською клітиною. На користь цієї гіпотези свідчать особливості будови вірусів-сателітів.

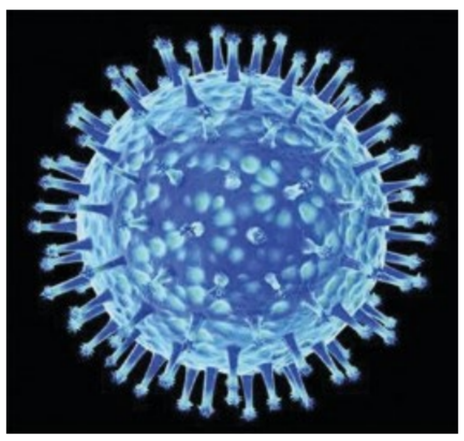
Віруси мають еволюційне значення. По-перше, вони можуть викликати захворювання, а отже впливати на чисельність видів. По-друге, вони здатні переносити генетичний матеріал між особинами навіть різних видів, що має значення насамперед у прокаріотів. Проте, і в хордових тварин геном містить істотну кількість залишків вірусної ДНК, що також мало еволюційне значення.

Значення вірусів у житті людини. Деякі віруси спричинюють різноманітні, часто масові (епідемічні) та дуже небезпечні хвороби людини, уражаючи органи дихання (грип, аденоінфекції), травну (гастроентерити, гепатити) та нервову (поліомієліт, енцефаліти) системи, шкіру та слизові оболонки (кір, герпес, папіломи, вітряна віспа), пригнічують імунні реакції організму (СНІД), призводять до ракових захворювань (іл. 37). Негативний вплив вірусів на життя людини зумовлений і тим, що вони викликають захворювання свійських тварин та сільськогосподарських рослин.

Проте існує і позитивний ефект від існування вірусів. Так, людина використовує їх у біологічних методах боротьби зі шкідливими видами (личинками кровосисних комарів, шовкопряда-недопарки тощо). Зокрема, за допомогою вірусу вдалося розв'язати проблему масового розмноження кролів в Австралії, що загрожувало виснаженням пасовищ.

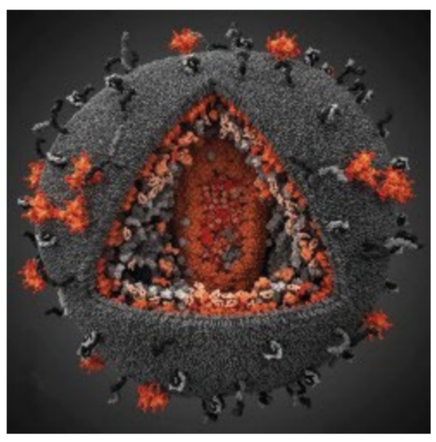
Віруси використовують і в генетичній інженерії: за їх допомогою певний ген, виділений з іншого організму або синтезований штучно, можна переносити в клітини бактерій. Так забезпечується синтез речовин, необхідних людині (наприклад, гормону інсуліну для лікування цукрового діабету, захисних білків-інтерферонів).

Іл. 37. Моделі будови: а — вірусу грипу; б — вірусу імунодефіциту людини



а

Вірус грипу вражає слизові оболонки дихальних шляхів. Геном утворений вісьма одноланцюговими молекулами РНК.



б

ВІЛ належить до ретровірусів і вражає здебільшого Т-лімфоцити, загибель яких призводить до зниження імунітету. Геном утворений двома однаковими молекулами одноланцюгової РНК.

Проаналізуйте інформацію з інтернет-джерел щодо шляхів зараження, симптомів і впливу на організм зображених вірусів.
Складіть можливий план заходів попередження вірусних захворювань.

1. Дайте означення поняття *вірус*. **2.** Схарактеризуйте особливості будови та функціонування вірусів. **3.** Які існують гіпотези походження вірусів? **4.** Поясніть роль вірусів в еволюції організмів. **5.** Наведіть аргументи щодо користі чи небезпеки вірусів.

§ 9. Пріони та віроїди



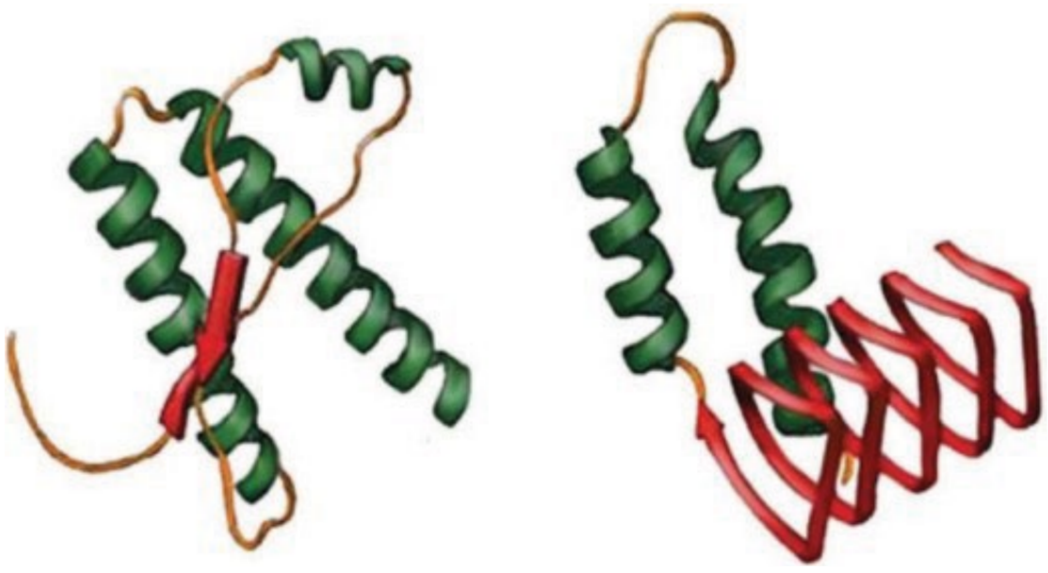
Дайте означення понять білок, нуклеїнова кислота.
Що таке розмноження?

Протягом багатьох років американський вірусолог Деніел Карлтон Гайдушек вивчав загадкову хворобу куру й встановив її інфекційну природу. За це відкриття в 1976 році вчений отримав Нобелівську премію в галузі фізіології або медицини. Але протягом довгого часу не було встановлено конкретну причину смертельних захворювань нервової системи людини й тварин, які нині об'єднують у групу трансмісивних енцефалопатій.

Пріони. У 1982 році американський біохімік Стенлі Прузінер довів, що так званий «невстановлений трансмісивний агент» є патологічною формою клітинного білка, який запропонував назвати «prion» (від англ. *proteinaceous infectious particles* — «протеїнові інфекційні частки»). За відкриття пріонів у 1997 році вчений отримав Нобелівську премію.

Пріоновий білок (позначається PrP) у людини кодується геном PRNP, локус якого розташований у короткому плечі хромосоми 20, та в результаті дозрівання містить 208 амінокислотних залишків. У нормальній формі, яка називається клітинною (PrP^C), цей білок є компонентом клітинних мембран. Остаточно його роль не з'ясована, але важливо, що найвищу концентрацію він має в нервових клітинах. Патологічна форма пріонового білка (PrP^{SC}) утворюється внаслідок перетворень після синтезу і, як правило, характеризується переходом α-спіралей білка в β-складчастість (іл. 38). Уражена патологічною формою цього білка ділянка мозку має характерну губчасту структуру внаслідок руйнування (іл. 39).

Іл. 38. Схеми просторової організації: а — нормального білка; б — пріонної форми



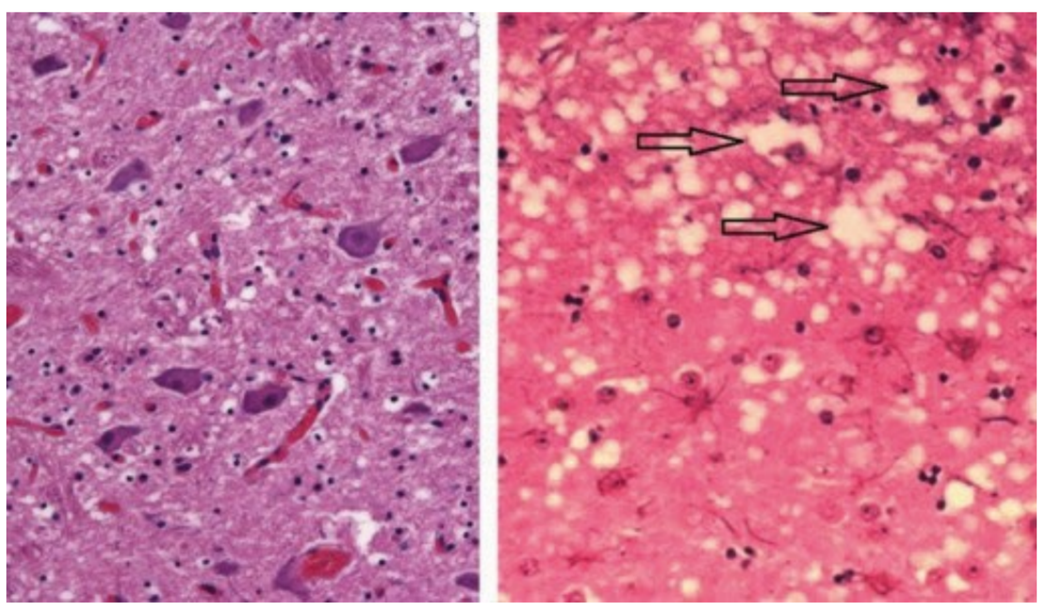
а б



Розпізнайте на ілюстрації α-спіралі білка та β-складчастість.

Змоделюйте перетворення білка в пріонну форму (можна використовувати кольорові ручки, аплікацію тощо).

Іл. 39. Гістологічний препарат нервової тканини здорової тварини (а) та ураженої пріонами (б)



а б

Стрілками позначено структури, що формують типову для хвороби губчасту структуру.



Створіть презентацію «Пріонові хвороби людини».

Пріони характеризуються високою стійкістю: не руйнуються під час кип'ятіння, можуть витримувати холод до –40°С, не виявляють чутливість до ультрафіолетового випромінювання тощо. Патологічні форми мають ту саму амінокислотну послідовність, що й нормальні білки, а тому організм не продукує проти нього антитіла та не атакує їх лімфоцитами. Наразі дослідниками й дослідницями вивчено кілька шляхів поширення пріонових хвороб. Пріони можуть передаватися від інфікованої тварини або людини. Проникаючи в організм, вони провокують перетворення нормальних пріонів у патологічні, тим самим збільшуючи свою кількість. Виникнення пріонових захворювань у такий спосіб зумовлене вживанням у їжу м'яса або молока зараженої тварини, використанням інфікованого біологічного матеріалу (препаратів крові, гормональних препаратів, трансплантатів). Захворювання може також розвиватися внаслідок зміни структури генів або спонтанного виникнення патологічного білка. Отже, пріонові хвороби можуть мати як спадковий, так і інфекційний характер. У людини описані такі пріонові захворювання, як губчаста енцефалопатія, хвороба Кройтцфельдта-Якоба, куру, синдром Альперса тощо.

Віроїди. Назва «віроїд» була запропонована в 1971 р. Теодором Дінером. Віроїди — найменші здатні до розмноження частинки, які відомі в природі. Від вірусів віроїди відрізняються певними ознаками: відсутня білкова оболонка, складаються лише з короткої (246–467 нуклеотидів) одноланцюгової кільцевої молекули РНК. Молекули РНК віроїдів не кодують власних білків. Наразі виявлено близько 10 різновидів віроїдів, які відрізняються за структурою, хазяїнами, яких вони вражають, симптомами хвороб. Поміж них відомі лише віроїди, які вражають рослинні організми (іл. 40). Функціонування цих неклітинних форм життя остаточно не з'ясоване, тому, можливо, нові відкриття чекають саме на вас.

Іл. 40. Захворювання, спричинене віроїдом



Симптоми захворювання, спричинені віроїдом веретеноподібності бульб картоплі.

Підготуйте повідомлення про захворювання, спричинені віроїдами.

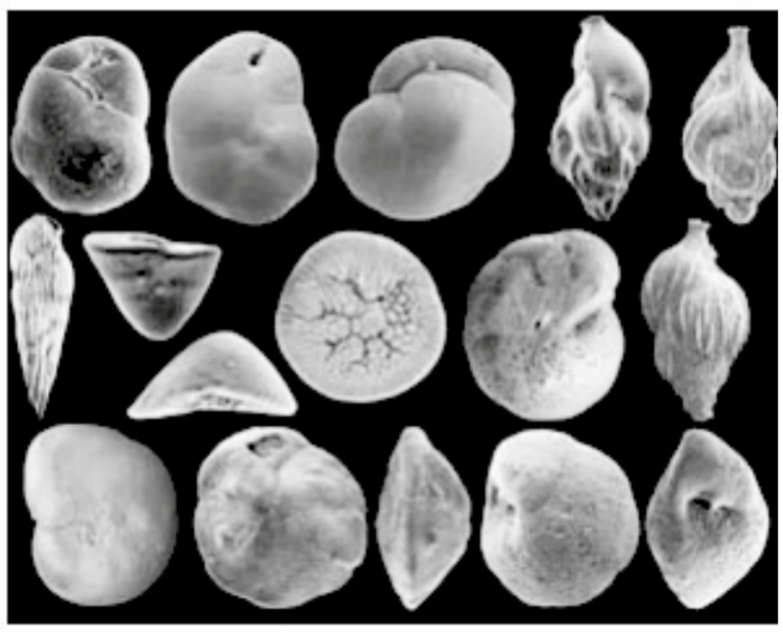
1. Дайте означення понять *пріони, віроїди*. **2.** Опишіть особливості будови та функціонування пріонів. **3.** Поясніть значення пріонів у житті людини. **4.** Опишіть особливості будови віроїдів. **5.** Чи можна віднести пріони та віроїди до живого? **6.** Обґрунтуйте необхідність подальших досліджень неклітинних форм життя.

Цікавинки

В організмі людини вода становить ~65% за масою, а в деяких тварин, зокрема медузи, може сягати 98%.

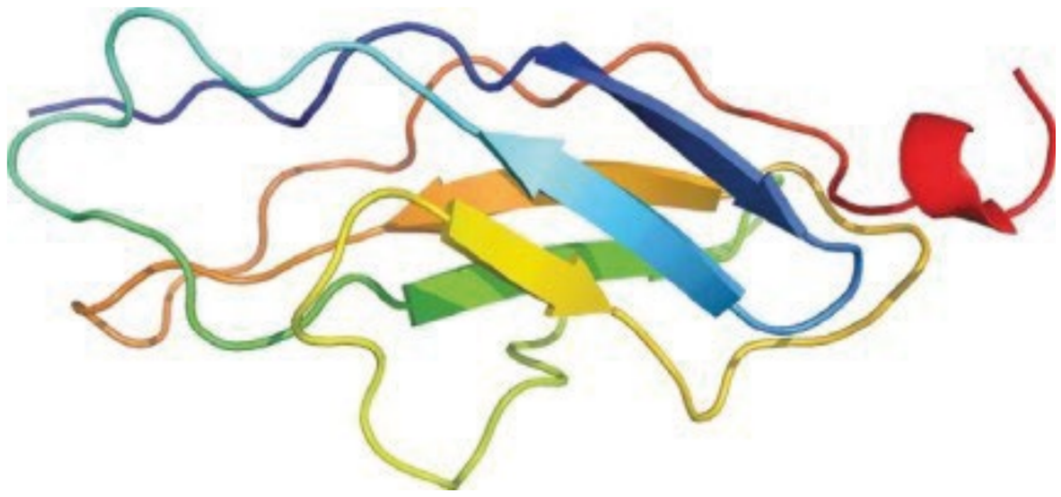


Пригадайте, до якої групи тварин належить зображений на світлині організм.

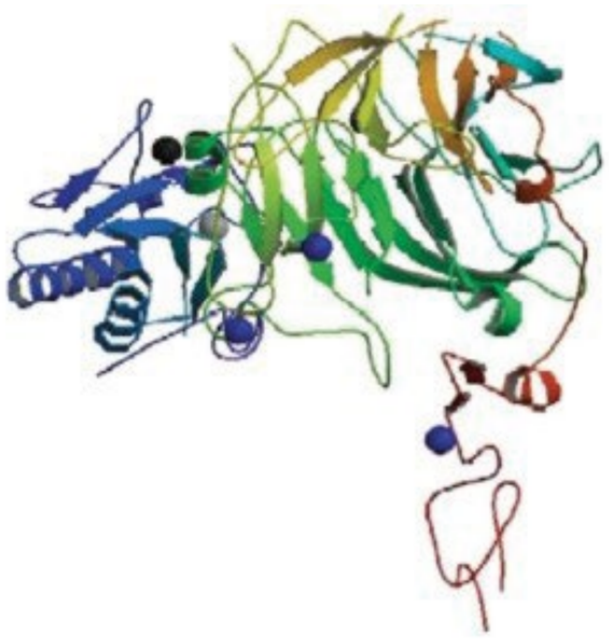


Найбільший з відомих нам білків — тітин складається із 38 138 залишків амінокислот, а його молекулярна маса становить майже 3 млн а. о. м. Тітин є компонентом скелетних м'язів людини й виконує функцію «біологічної пружини», запобігаючи їх надмірному розтягненню.

Форамініфери — це переважно морські одноклітинні організми, що формують черепашку, основою якої є кальцій карбонат. Відмерлі форамініфери стають основою крейди, якою пишуть на шкільних дошках.

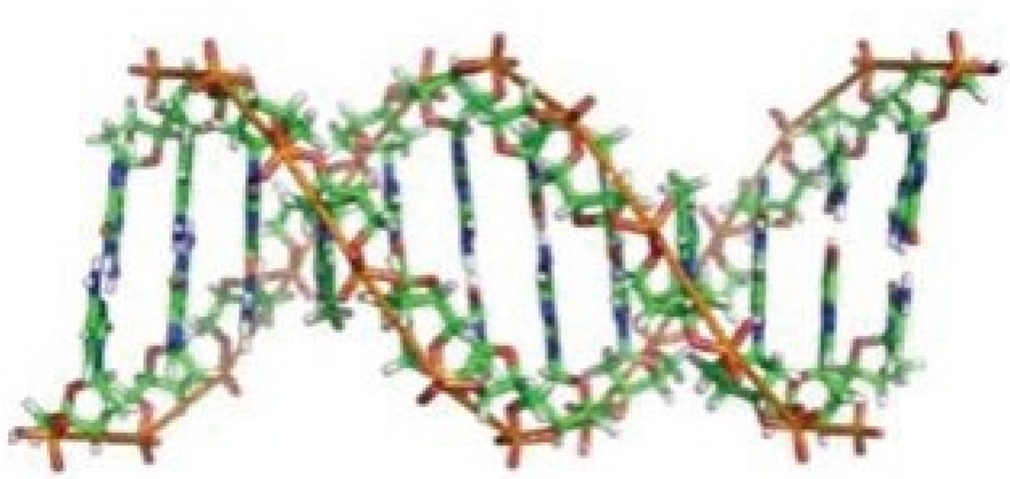






Дослідниці й дослідники іноді дають відкритим ними хімічним речовинам кумедні назви, які часто застосовують поряд із традиційними. Наприклад, білок **shh**, що бере участь у регуляції ембріонального розвитку людини, названо на честь героя коміксів Їжачка Соніка (**Sonic Hedgehog**).

Ядро соматичної клітини організму людини містить 46 молекул ДНК. Вони утворені більш ніж трьома мільйонами пар нуклеотидів. Довжина ниток ДНК однієї клітини становить близько 2 м, а ДНК всього організму — 10^{11} м, що є більше, ніж відстань від Землі до Сонця.



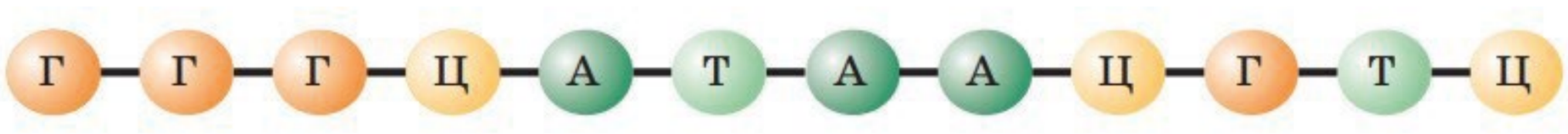
ПРАКТИЧНА РОБОТА

Розв’язування елементарних вправ зі структури нуклеїнових кислот

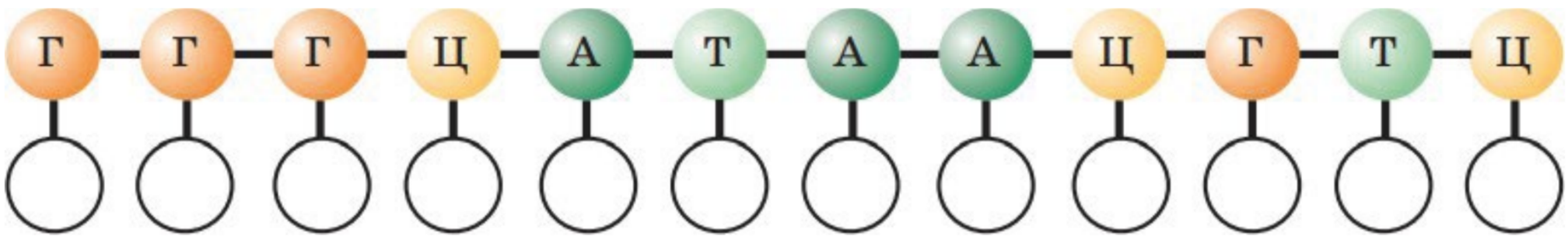
Мета: навчитися розв’язувати елементарні вправи зі структури нуклеїнових кислот.

Вправа 1

Ділянка одного з ланцюгів молекули ДНК має такий нуклеотидний склад:



1. Визначте й запишіть послідовність нуклеотидів ділянки другого ланцюга молекули ДНК, використавши принцип комплементарності. (*Записи робіть на сторінці зошита!*)



2. Визначте довжину наведеної ділянки молекули ДНК. Відстань між двома нуклеотидами одного ланцюга — 0,34 нм.
3. Визначте (%) вміст кожного нуклеотиду в наведеній ділянці молекули ДНК.

Вправа 2

Ділянка молекули ДНК містить 30 % гуанілових нуклеотидів. Визначте (%) вміст усіх інших нуклеотидів у цій ділянці молекули ДНК.

Вправа 3

Ділянка молекули ДНК містить 20 % аденілових нуклеотидів. Визначте (%) вміст усіх інших нуклеотидів у цій ділянці молекули ДНК.

Вправа 4

Ділянка молекули ДНК містить 440 цитидилових нуклеотидів, що становить 22 % від загальної кількості. Визначте кількість усіх інших нуклеотидів у цій ділянці.

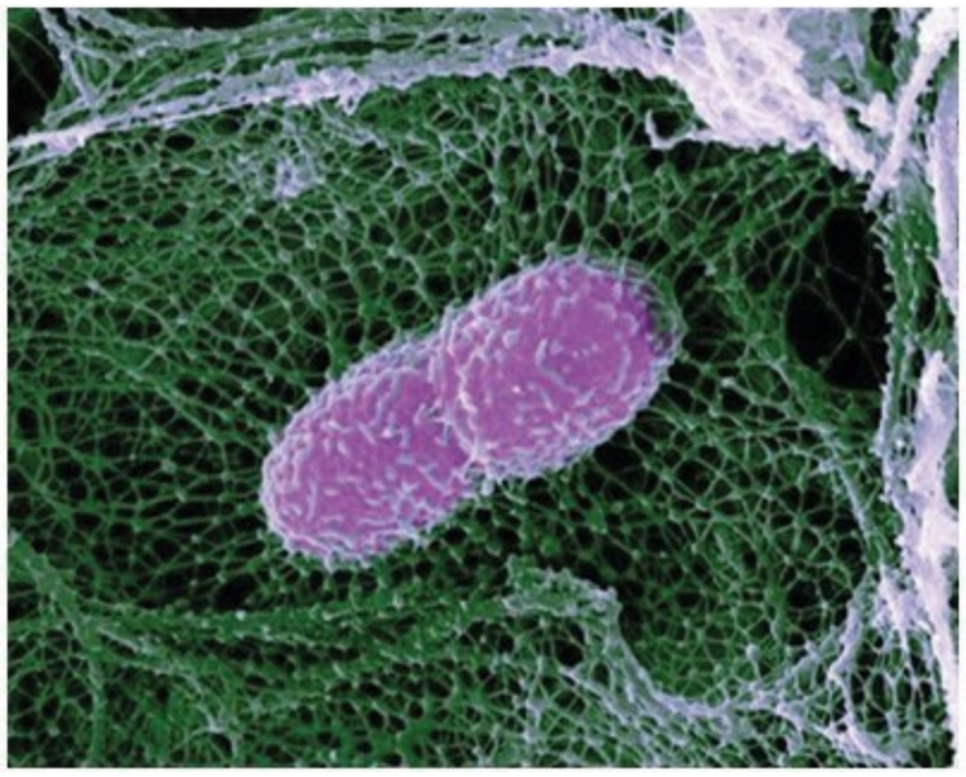
Аналізуємо інформацію, робимо висновки

Ознайомтеся з інформацією та виконайте завдання

Загадки ДНК

Ядро соматичної клітини організму людини містить 46 молекул ДНК. Вони утворені більш ніж трьома мільйонами пар нуклеотидів. Довжина ниток ДНК однієї клітини становить близько 2 м, а ДНК всього організму — 10^{11} м, що більше, ніж відстань від Землі до Сонця.

Деякі клітини використовують ці молекули в дещо незвичний спосіб. Так, нейтрофіли, які є імунними клітинами крові, виштовхують ядерну ДНК за межі клітини. З її довгих молекул утворюється ловильна сітка, яка на мікрофотографії виріз-няється зеленим кольором. У цій сітці заплутуються хвороботворні мікроорганізми (позначено бузковим кольором).



Завдання 1. На уроці учень та учениця обговорювали наведену інформацію. Учень зазначив, що молекули ДНК у ядрі клітин організму людини є складниками хромосом. Учениця висловила судження, що їхня функція — збереження спадкової інформації.

Чи має хтось із них рацію?

А лише учень
Б лише учениця
В обоє мають рацію
Г обоє помиляються

Завдання 2. Наведений спосіб використання нейтрофілами молекули ДНК забезпечує одну із форм імунітету. Йдеться про імунітет

А специфічний клітинний
Б специфічний гуморальний
В неспецифічний клітинний
Г неспецифічний гуморальний

Завдання 3. Молекули ДНК однієї соматичної клітини організму людини, які мають наведені в науковій інформації параметри, можуть розміщуватися всередині мікроскопічних за розмірами ядер клітин. Також відомо, що в ядрі молекули ДНК зв’язані з білками, які називають гістонами. За допомогою інтернет-джерел поясніть взаємозв’язок цих фактів.

Самоконтроль рівня навчальних досягнень

Тестові завдання з однією відповіддю (0,5 бала)

1. На сторінці наукової книги зображено рослину, яку вивчили, й замалювали її особливості. Позначте метод, який застосували під час дослідження.



   А порівняльно-описовий
   Б експериментальний
   В моделювання
   Г моніторинг

2. Позначте резервний вуглевод рослинної клітини.
   А глюкоза
   Б крохмаль
   В глікоген
   Г дезоксирибоза

3. Позначте функцію, яку в організмі людини виконує міозин.
   А рухова
   Б захисна
   В резервна
   Г транспортна

4. Мономерами яких макромолекул є моносахариди?
   А білків
   Б ліпідів
   В полісахаридів
   Г нуклеїнових кислот

5. Вторинна структура білкової молекули підтримується за рахунок
   А йонних зв'язків
   Б водневих зв'язків
   В ковалентних зв'язків
   Г гідрофобних взаємодій

6. Позначте функцію ДНК.
   А сигнальна
   Б енергетична
   В універсальний розчинник
   Г збереження спадкової інформації

Тестові завдання з однією відповіддю (1 бал)

7. Проаналізуйте твердження щодо рівнів організації біологічних об'єктів, зображених на ілюстрації. Чи є поміж них правильні?
   I. Об'єкти 1 і 2 перебувають на різних рівнях організації живого.
   II. Об'єкт 2 порівняно з об'єктом 1 перебуває на вищому рівні організації.
   А правильне лише I
   Б правильне лише II
   В обидва правильні
   Г немає правильних

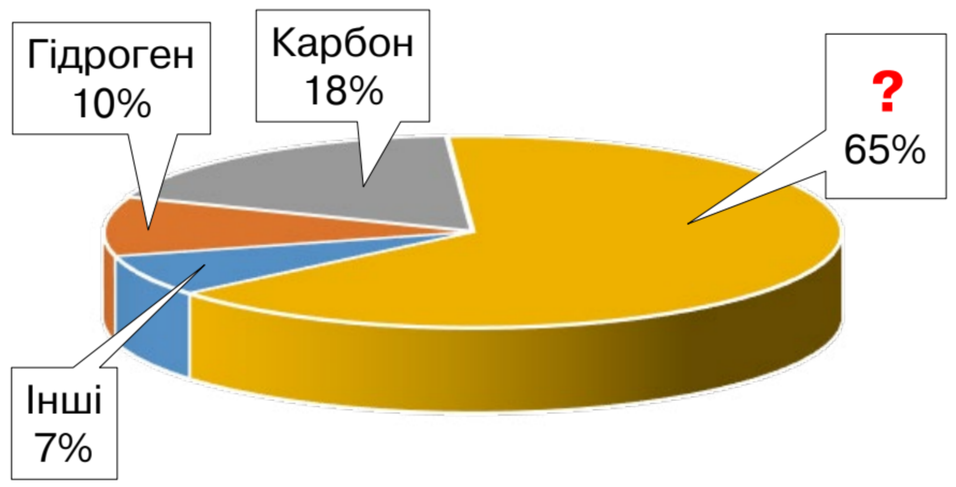


1



2

8. Проаналізуйте діаграму, на якій відображено масові частки (%) хімічних елементів в організмі людини. Позначте назву хімічного елемента, пропущену в підписі до діаграми.



А Йод В Кальцій
Б Магній Г Оксиген

9. Ділянка одного з ланцюгів молекули ДНК має такий нуклеотидний склад: ГГЦАТ. Послідовність нуклеотидів відповідної ділянки другого ланцюга наведено в рядку

А ГГЦАТ В ЦЦГТА
Б ТАЦГГ Г ЦГТАГ

Тестові завдання з однією відповіддю (1,5 бала)

10. На уроці біології для обговорення значення вуглеводів у життєдіяльності організмів учнів і учениць об'єднали у дві групи. Перша група зазначила, що вуглеводи можуть накопичуватися в клітинах як джерело енергії. Друга група висловила судження про те, що резервною речовиною тваринних клітин є глікоген.
Чи має хтось із них рацію?

А лише перша група В обидві групи мають рацію
Б лише друга група Г обидві групи помиляються

11. Прочитайте опис: «*Мономерами ДНК є* (1). *Вони сполучаються між собою, утворюючи за допомогою ковалентних зв'язків між залишками дезоксирибози та* (2) ланцюги». Замість цифр необхідно вставити слова. Виберіть правильний варіант.

А 1 — амінокислоти, 2 — нітрогеновмісної основи
Б 1 — нуклеотиди, 2 — нітрогеновмісної основи
В 1 — амінокислоти, 2 — ортофосфатної кислоти
Г 1 — нуклеотиди, 2 — ортофосфатної кислоти

Тестове завдання з однією відповіддю в кожному стовпчику (3 бали)

12. Розпізнайте зображений формений елемент крові.
Доберіть правильне продовження кожного наведеного речення.

На рисунку зображено
1 тромбоцит
2 еритроцит
3 лейкоцит



Зображений складник крові містить білок
1 амілазу
2 інсулін
3 гемоглобін

Функція цього білка —
1 захисна
2 рухова
3 транспортна

ТЕМА 2

КЛІТИНА — СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА ОДИНИЦЯ ОРГАНІЗМІВ

З історії відкриттів

Науку, що вивчає будову та різноманітність клітин, називають цитологією. Її становлення та розвиток пов'язані з винайденням мікроскопа. Одним із перших був *Захаріус Янсен*, який створив його в 1595 р.





Надалі мікроскоп удосконалив видатний англійський фізик Роберт Гук, що сприяло відкриттю ним клітинної будови організмів. Розглядаючи кіркову пробку, якою була закоркована пляшка, учений у 1665 р. вперше в історії людства спостерігав у полі зору мікроскопа клітини рослин. На ілюстрації ви бачите мікроскоп дослідника й малюнок мікроскопічноїструктури корка з його праці «Мікрографії».

Голландський натураліст *Антоні ван Левенгук* (1632–1723) суттєво вдосконалив конструкцію мікроскопа, уперше спостерігав бактерії та найпростіші, описав пластиди, еритроцити, сперматозоїди. У 1827 р. Карл Бер описує яйцеклітини ссавців. Ядро відкрили в 1825 р. чеський дослідник *Ян Пуркіньє* (1787–1869) (у клітинах тварин) та в 1831 р. англієць *Роберт Броун* (1773–1858) (у клітинах рослин). Праці німецьких учених *Матіаса Шлейдена* (1804–1881), *Теодора Шванна* (1810–1882) та *Рудольфа Вірхова* (1821–1902) лягли в основу клітинної теорії — фундаментального узагальнення біології, яка визначала взаємозв'язок усіх проявів життя на Землі з клітиною.

Людство поступово розкриває таємниці життєдіяльності клітини, процесів перетворення в ній речовин.



Ханс Адольф Кребс (1900–1981)

Перебіг гліколізу в клітинах дріжджів описали *Отто Варбург*, *Ганс фон Ейлер-Хельпін* та *Артур Гарден* (два останні вчені отримали Нобелівську премію з хімії 1929 р.). Гліколіз у м'язах дослідили *Густав Ембден* та *Отто Меєргоф* (Нобелівська премія в галузі фізіології або медицини 1922 р.). За свої дослідження в галузі біохімії отримали Нобелівську премію з фізіології або медицини 1953 року два біохіміки німецького походження — англійський *Ханс Адольф Кребс* та американський *Фріц Альберт Ліпман,* відкривши цикл біохімічних реакцій під час кисневого етапу енергетичного обміну (названий циклом Кребса).

Наукові праці *К. А. Тімірязєва* присвячено вивченню фотосинтезу. Американський хімік *Мелвін Кальвін* вивчав процеси темнової фази фотосинтезу (цикл Кальвіна). За ці дослідження 1961 року він отримав Нобелівську премію.

§ 10. Методи дослідження клітин



Який прилад на уроках біології ви використовували для вивчення клітин, тканин?
Що є складниками цього приладу та які їх функції?

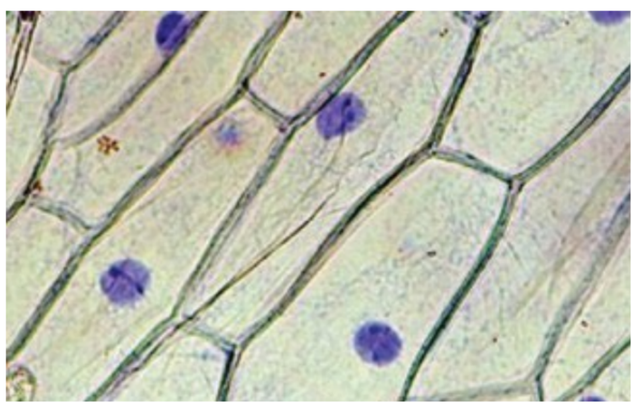
Ви знаєте, що всі процеси життєдіяльності організмів відбуваються на клітинному рівні. Так, у клітині зберігається спадкова інформація, забезпечуються її відтворення та передавання наступним поколінням. На основі цієї інформації синтезуються білкові молекули, які виконують в організмах більшість функцій. У клітинах відбуваються процеси синтезу органічних речовин з неорганічних (§ 17, 18). Організми розмножуються спорами, частинами організму або внаслідок злиття статевих клітин, тобто відтворюють подібних до себе за рахунок клітин. Із цими та іншими процесами функціонування клітин ви ознайомитеся детальніше в наступних параграфах.

Клітина є одиницею будови, життєдіяльності та розмноження організмів.

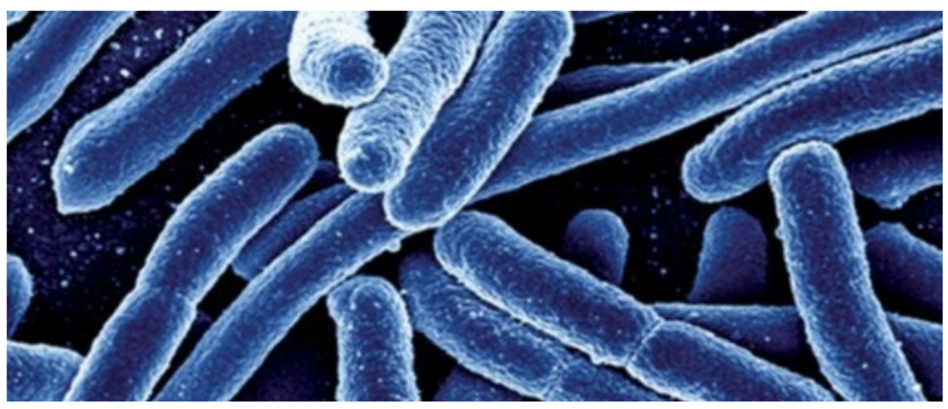
Типи й методи мікроскопії. Більшість клітин дуже дрібні, тому їх не можна побачити простим оком. На оптимальній для зору відстані (25–30 см) людина здатна розрізняти об'єкти розміром не менше ніж 70–80 мкм. Для того щоб бачити дрібніші об'єкти, оку потрібна допомога — прилади для збільшення. Біологічні об'єкти, вивчення яких стало можливим завдяки винайденню таких приладів, представлено на ілюстрації 41.

Світлова мікроскопія. Згадаємо будову оптичного мікроскопа. Сукупність лінз, що містяться в об'єктивах та окулярах, називають оптичною системою мікроскопа.

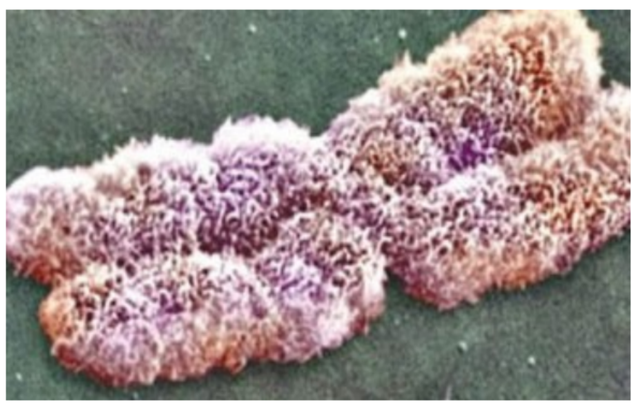
Іл. 41. Розміри біологічних об'єктів клітинного й молекулярного рівнів



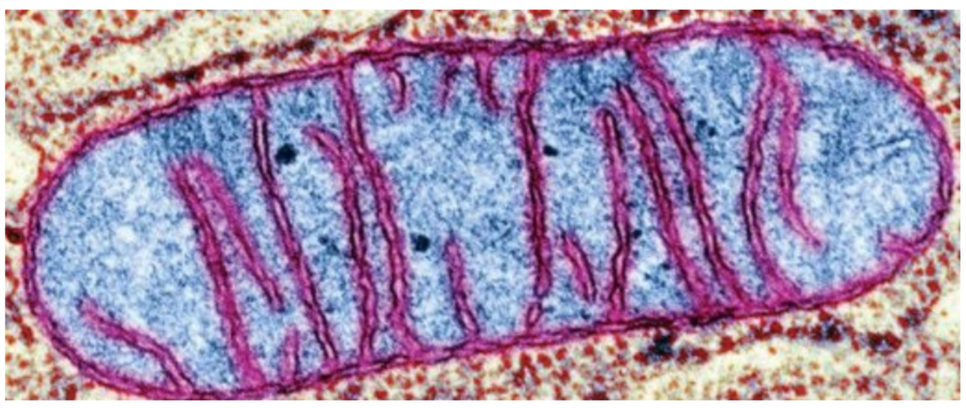
1



2



3



4

1 Клітини епідермісу цибулі, довжина ~130 мкм (10^{-6} м)

2 Бактерія кишкова паличка, ~2 мкм (10^{-6} м)

3 Хромосома людини, 7–8 мкм (10^{-6} м)

4 Мітохондрія, 1–3 мкм (10^{-6} м)



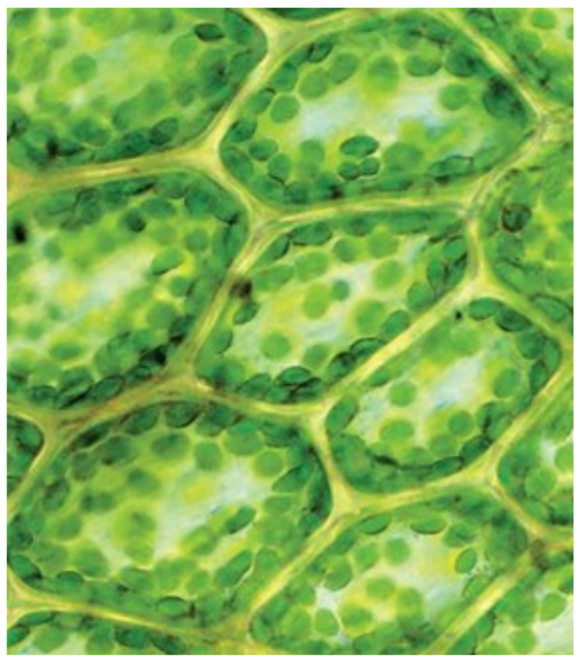
Проаналізуйте розміри зображених біологічних об'єктів. Який об'єкт має найбільші розміри, а який — найменші?

Під предметним столиком розміщено частину мікроскопа, яка забезпечує проходження світла від досліджуваного об'єкта до оптичної системи. У найпростішому випадку — це дзеркало: світло проходить крізь препарат та лінзи, унаслідок чого можна бачити досліджуваний об'єкт. Під час виготовлення мікропрепарату часто використовують барвники — речовини, що вибірково забарвлюють різні компоненти клітини (іл. 42). Описаний спосіб мікроскопії називається методом ***світлого поля***. Саме його ви використовуєте під час виконання лабораторних робіт із біології. У такий спосіб можна побачити об'єкти розміром від 200 нм (внутрішні компоненти клітин мають значно менші розміри). Для збільшення потужності світлових мікроскопів існує кілька методів.

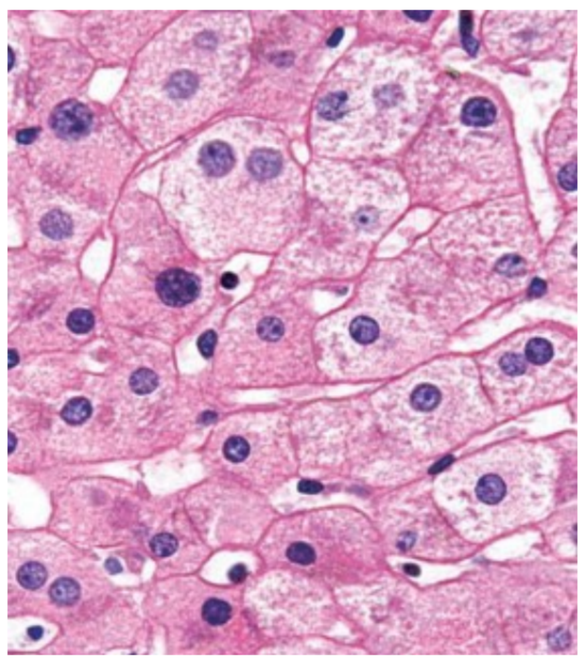
Якщо всі структури досліджуваного об'єкта невидимі при освітленні за методом світлого поля (це часто стосується живих біологічних об'єктів), використовують освітлення за методом ***темного поля***. При цьому конденсор спеціальної конструкції так спрямовує світло крізь об'єкт, що його основна частина не потрапляє до об'єктива. За відсутності препарату в мікроскоп буде видно темне поле (тому метод й отримав таку назву). Якщо ж на шляху світла (в мікропрепараті) є структури, які заломлюють світло по-іншому (відхиляють його в бік від лінії, якою воно пройшло від конденсора), то заломлені промені потрапляють в об'єктив, і такі структури стають видимими (іл. 43).

Інші методи світлової мікроскопії (***фазово-контрастна***, ***поляризаційна***) ґрунтуються на складних властивостях світла та розширюють можливості дослідників і дослідниць. Останнім словом світлової мікроскопічної техніки є прилади з суперроздільною здатністю, що дають змогу бачити об'єкти розміром до 10 нм (***конфокальна***, ***STED-мікроскопія*** тощо). А в поєднанні з методиками вибіркового забарвлення хімічних речовин

Іл. 42. Мікропрепарати із забарвленими об'єктами

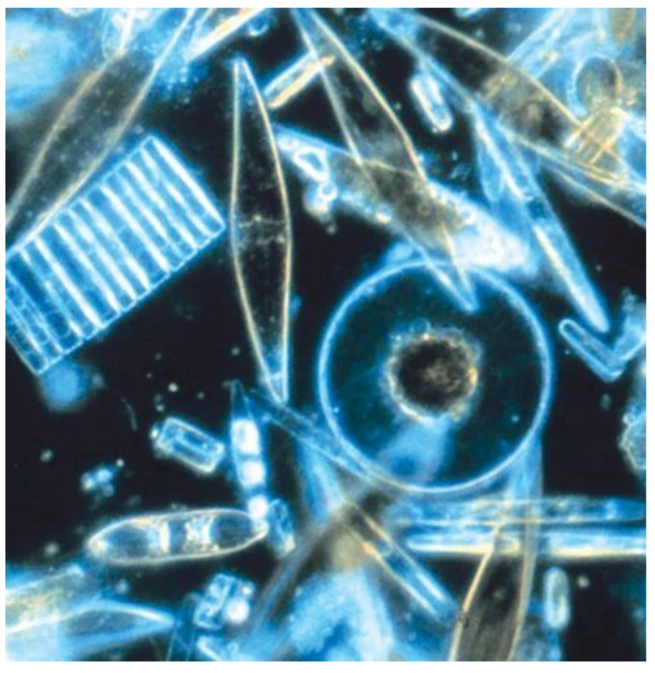


Незафарбований мікропрепарат листка рослини. Добре видно клітинні стінки та складники, що мають природне забарвлення (які?).



Варіант фарбування тваринних тканин. Ядра забарвлені синім кольором, цитоплазма — червоним.

Іл. 43. Зображення методом темного поля



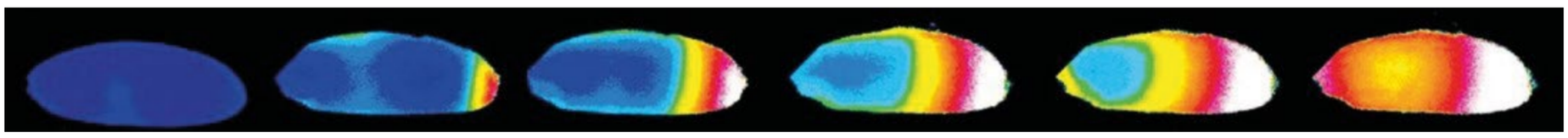
Дослідження живих біологічних об'єктів. Зображення діатомових водоростей.

(використання явища флуоресценції) можна побачити в клітинах розподіл певних молекул і навіть зміни їх концентрації внаслідок життєдіяльності клітини (іл. 44).

Електронна мікроскопія. Однак використання світла не дає змоги вивчати будову об'єктів молекулярного рівня. Допомагає в цьому електронна мікроскопія. Крізь препарат пропускають не промінь світла, а пучок електронів, які реєструються спеціальним сенсором. Різні речовини взаємодіють з електронами неоднаково — вільно пропускають їх або ж відхиляють. Завдяки такій особливості можна бачити різні структури. Наприклад, нітрогеновмісні основи нуклеотидів активно взаємодіють з електронами, тому ядра клітин, що зберігають ДНК, виглядають темнішими. Роздільна здатність електронних мікроскопів сягає 0,5 нм і менше. Описаний різновид електронної мікроскопії називають ***просвічувальним***, або ***трансмісивним*** (іл. 45). Існують також ***сканувальні*** електронні мікроскопи. У них пучок електронів пропускають на об'єкт зверху, а сенсори вловлюють зображення, що відбилося (а не те, що пройшло наскрізь). Це дає змогу отримувати тривимірні зображення досліджуваних об'єктів (іл. 46).

Основні методи дослідження живих клітин. Постійно проводити дослідження клітин різних типів дає змогу ***метод культури клітин***. При цьому живі клітини утримують та розмножують на штучних поживних середовищах. ***Метод мічених атомів***, або ***авторадіографія,*** допомагає з'ясувати місце й перебіг певних фізико-хімічних явищ у клітині. Для цього в клітину вводять речовину, у якій один з атомів елемента (наприклад, Карбону, Фосфору) заміщено на його радіоактивний ізотоп. За допомогою приладів, що фіксують йонізувальне випромінювання, відстежують міграцію цих речовин у клітині, їхні перетворення, виявляють місце й перебіг різних біохімічних процесів.

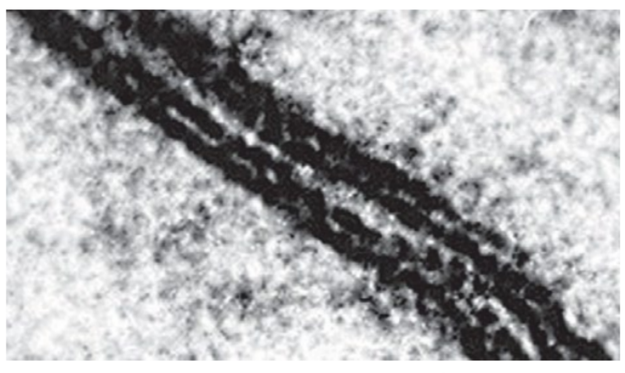
Іл. 44. Вимірювання змін концентрації йонів Ca^{2+} за допомогою конфокальної мікроскопії під час запліднення яйцеклітини плодової мушки дрозофіли



Високі концентрації показано червоним кольором, низькі — синім. Інтервал часу між зображеннями — 1 хв.

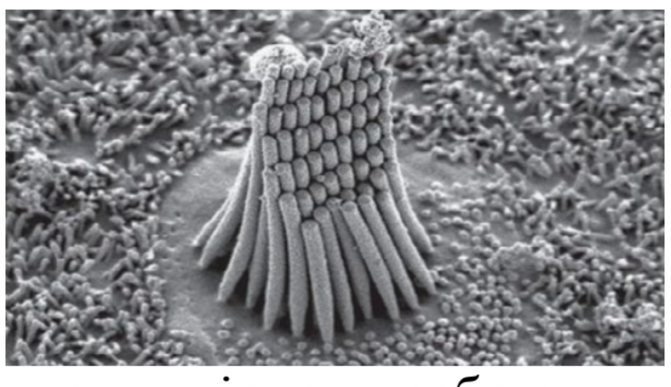
Як змінюється концентрація йонів Кальцію під час запліднення?

Іл. 45. Зображення ділянок плазматичних мембран двох клітин



У місці контакту мембран можна бачити двошарову структуру кожної

Іл. 46. Зображення чутливих клітин внутрішнього вуха



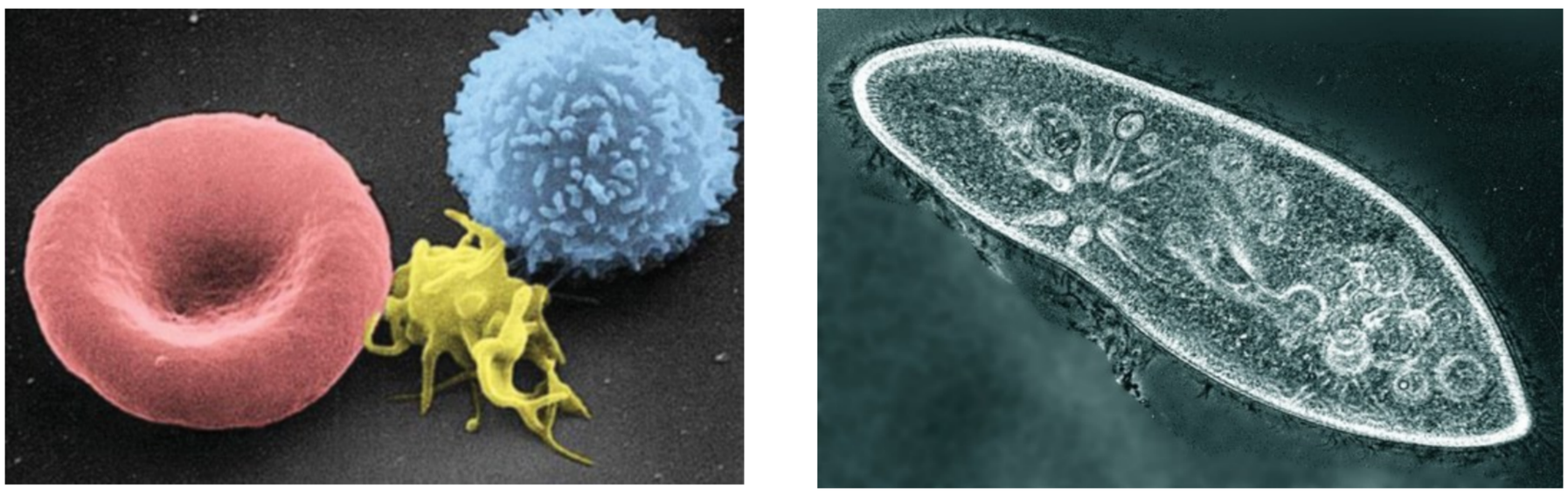
На тривимірному зображенні добре видно вирости чутливих клітин

Різноманітність клітин. Клітина — жива відкрита система, яка є основою будови й розвитку організмів. Клітинам властиві обмін речовин та енергії із навколишнім середовищем, розмноження, ріст та розвиток, синтез специфічних молекул (нуклеїнові кислоти, білки, ферменти тощо). Вони реагують на подразники адаптивними змінами. Характерна особливість клітин — це єдність хімічних процесів: дихання, використання та перетворення енергії.

Клітини різняться між собою за розміром, формою, походженням, особливостями організації й функціями. Ви вже ознайомилися з будовою деяких клітин (іл. 47). Сучасній науці відомо більше ніж 200 тис. видів одноклітинних організмів, кожен із яких характеризується властивими лише йому особливостями. Тіла багатоклітинних організмів складаються з клітин різних типів (кілька десятків типів у рослин, 100–200 — у тварин), причому клітини одного типу в різних видів мають певні відмінності. Незважаючи на таку різноманітність, усі клітини мають загальні риси будови: поверхня кожної клітини обмежена плазматичною мембраною, а внутрішній вміст називається цитоплазмою. За будовою всі клітини поділяють на дві великі категорії:

- клітини, що мають ядра та складну внутрішню будову, називають **евкаріотичними** (від грец. *ев-* — повністю, добре та *каріо* — ядро), вони властиві грибам, рослинам і тваринам (більш детально ознайомитися з різноманіттям клітин ви зможете в § 14);
- без'ядерні клітини, що мають простішу внутрішню будову, називають **прокаріотичними** (від грец. *про* — до й *каріо* — ядро). Такі клітини властиві бактеріям і археям. Ми почнемо ознайомлення з будовою клітин зі складних, евкаріотичних. До них належать і клітини організму людини.

Іл. 47. Різноманітність клітин: а — формені елементи крові людини; б — інфузорія-туфелька



а б

Які функції виконують зображені формені елементи? Які з них не містять ядра й чому? Інфузорія — це клітина чи організм?

1. Перелічіть методи вивчення клітини. **2.** Які типи мікроскопії ви знаєте? **3.** Поясніть значення кожного типу мікроскопії для вивчення клітини. **4.** Який метод дає змогу з'ясовувати перебіг хімічних процесів? **5.** Які організми належать до евкаріотів, а які — до прокаріотів?

§ 11. Клітинна мембрана

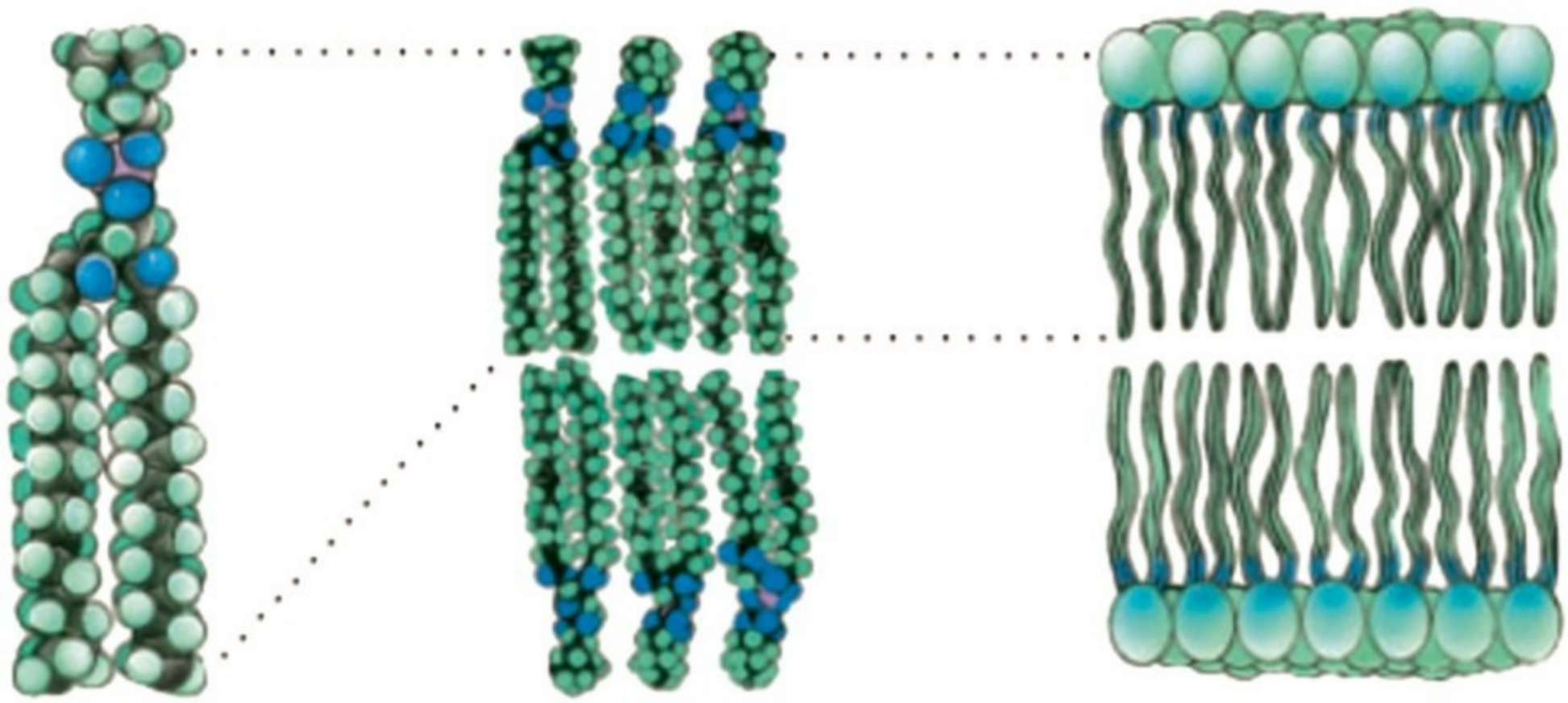


Які складники утворюють клітину?
Який складник забезпечує обмін речовин клітини з навколишнім середовищем, водночас відмежовуючи її від нього?

Кожна клітина оточена **плазматичною мембраною**, або **плазмолемою**. Із нею можуть бути з'єднані внутрішньо- й позаклітинні структури. Разом із мембраною їх називають **поверхневим апаратом**. Вміст евкаріотичних клітин поділяється внутрішніми мембранами на функціональні ділянки. Так, у клітинах вирізняють ядро й цитоплазму. Цитоплазма, зокрема, містить напіврідку основу й більш компактні утворення — органели та включення.

Хімічний склад і будова плазматичної мембрани. Плазматична мембрана, оточуючи кожну клітину, відділяє її вміст від позаклітинного простору. До складу мембрани входять ліпіди, білки та вуглеводи. Основою плазмолеми є подвійний шар із фосфоліпідів. Молекула фосфоліпіду має невелику гідрофільну «голівку» (залишки гліцеролу, ортофосфатної кислоти й додаткової сполуки) і два або один довгі гідрофобні «хвости» (залишки жирних кислот). Гідрофобні частини молекул об'єднуються з іншими гідрофобними сполуками, а гідрофільні — з гідрофільними, формуючи подвійні шари (іл. 48). У кожному шарі гідрофільні «голівки» молекул обернені до водного середовища (позаклітинний простір або цитоплазма), а їхні «хвости» орієнтовані всередину товщі мембрани. Таку структуру мають усі біологічні мембрани, зокрема і внутрішньоклітинних органел.

Іл. 48. Схема розташування фосфоліпідів у мембрані





Знайдіть на ілюстрації гідрофобні та гідрофільні частини молекули фосфоліпіду. Поясніть, як фосфоліпіди утворюють подвійний шар.

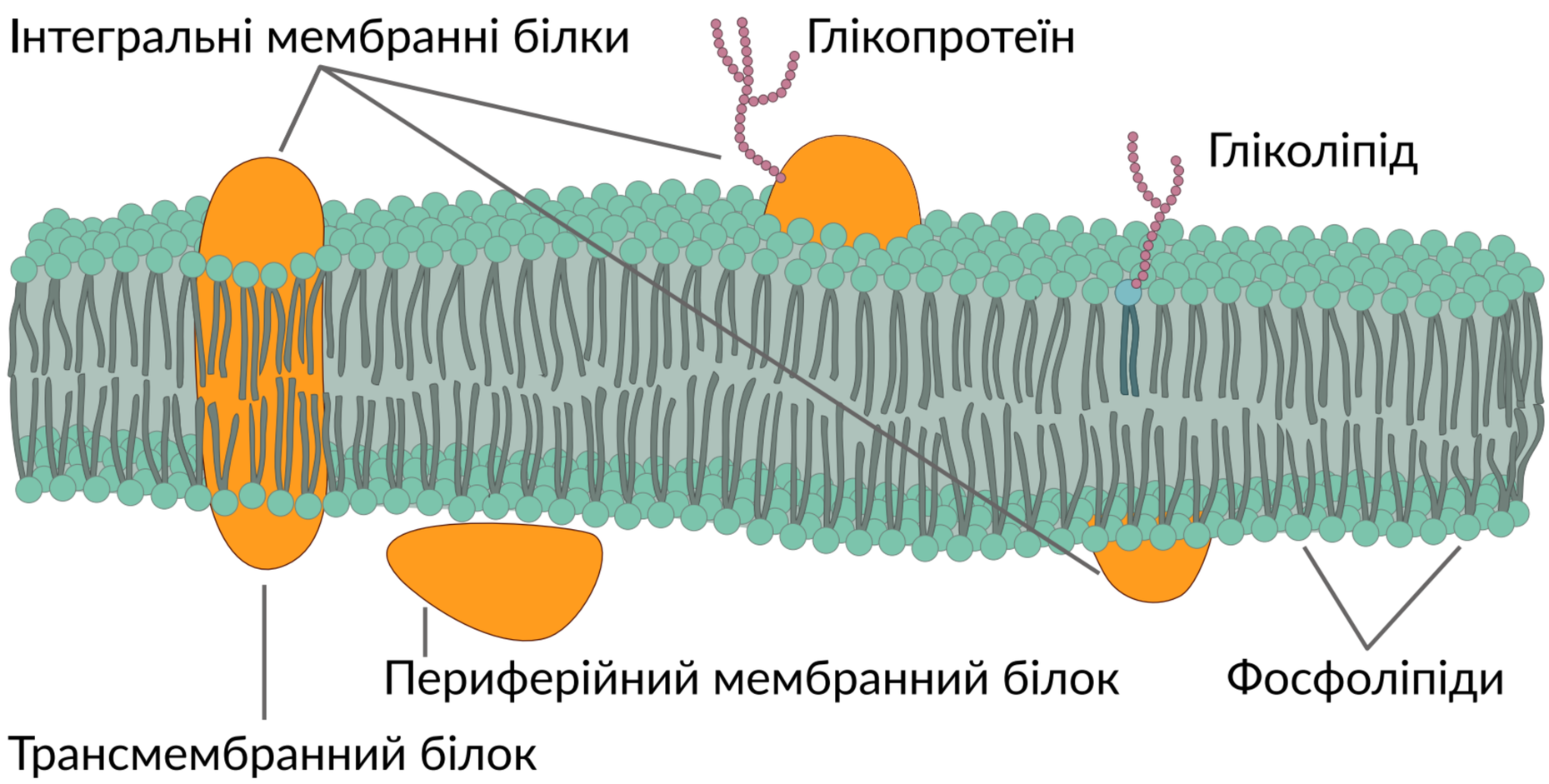
Окрім фосфоліпідів плазматичні мембрани містять інші ліпіди (зокрема, холестерол) та значну кількість білків (до 50 % від маси мембрани). Оскільки білкові молекули за розміром більші, ніж фосфоліпідні, на один білок у складі мембрани припадає близько 50 фосфоліпідів. Залежно від функцій клітини кількість і склад мембранних білків суттєво різняться. За розміщенням вирізняють білки, що пронизують товщу мембрани (внутрішні, або інтегральні), та такі, що розміщені з внутрішнього чи зовнішнього боку мембрани (зовнішні, або периферійні). Мембранні білки можуть з'єднуватися з вуглеводами (пригадайте, як вони називаються) (іл. 49).

Така модель будови біологічних мембран дістала назву **рідинно-мозаїчної**: більшість ліпідів мембрани перебувають у рідкому стані й лише близько 30 % ліпідів міцно з'єднані з внутрішніми білками в комплексні сполуки.

Із плазматичними мембранами пов'язаний **надмембранний комплекс** — комплекс структур, розташованих ззовні клітин. Надмембранний комплекс тваринних клітин являє собою вуглеводні частини глікопротеїнів та гліколіпідів мембран, що утворюють зовнішній шар клітини — глікокалікс. У бактерій, рослин і грибів надмембранний комплекс представлений клітинною стінкою — жорстким каркасом, що оточує клітини. Клітинні стінки різних організмів мають різну хімічну природу. Ви вже знаєте, що основною речовиною стінок рослинних клітин є целюлоза. У грибів ця структура сформована іншим полісахаридом — хітином. Бактеріальні клітини оточені стінками з муреїну — речовини складної хімічної природи (містить короткі пептиди й залишки вуглеводів).

Функції плазматичної мембрани. Білки плазматичної мембрани виконують різноманітні функції, а це зумовлює відповідні функції плазмолеми: бар'єрну, транспортну, контактну, рецепторну та ферментативну.

Іл. 49. Схема будови плазматичної мембрани



Підготуйте повідомлення про будову плазматичної мембрани архей.

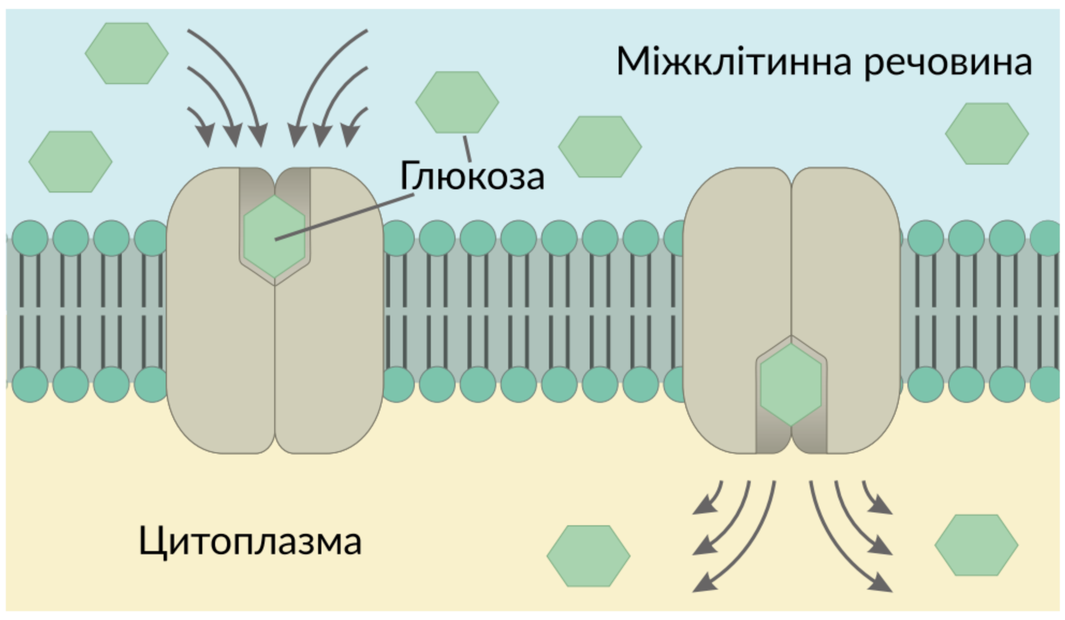
Будова мембрани практично унеможливлює дифузію крізь неї полярних молекул, зокрема йонів. Тож плазматична мембрана виконує **бар'єрну функцію**. Проте крізь мембрану має здійснюватися **транспортування** речовин як усередину клітини, так і назовні. Це необхідно для постачання клітині поживних речовин та виведення продуктів обміну.

Розрізняють два типи транспортування речовин: рух речовин, за якого не витрачається енергія АТФ, називають пасивним, а рух, пов'язаний з витратами енергії — активним. Найпростішим варіантом пасивного транспортування є ***проста дифузія*** (з місця з більшою концентрацією речовини до місця з меншою її концентрацією). У такий спосіб крізь мембрану проникають насамперед неполярні молекули. Так, із неорганічних речовин крізь мембрани добре дифундують кисень і вуглекислий газ, що має важливе значення для клітинного дихання. Поміж органічних речовин у такий спосіб транспортуються стероїдні речовини.

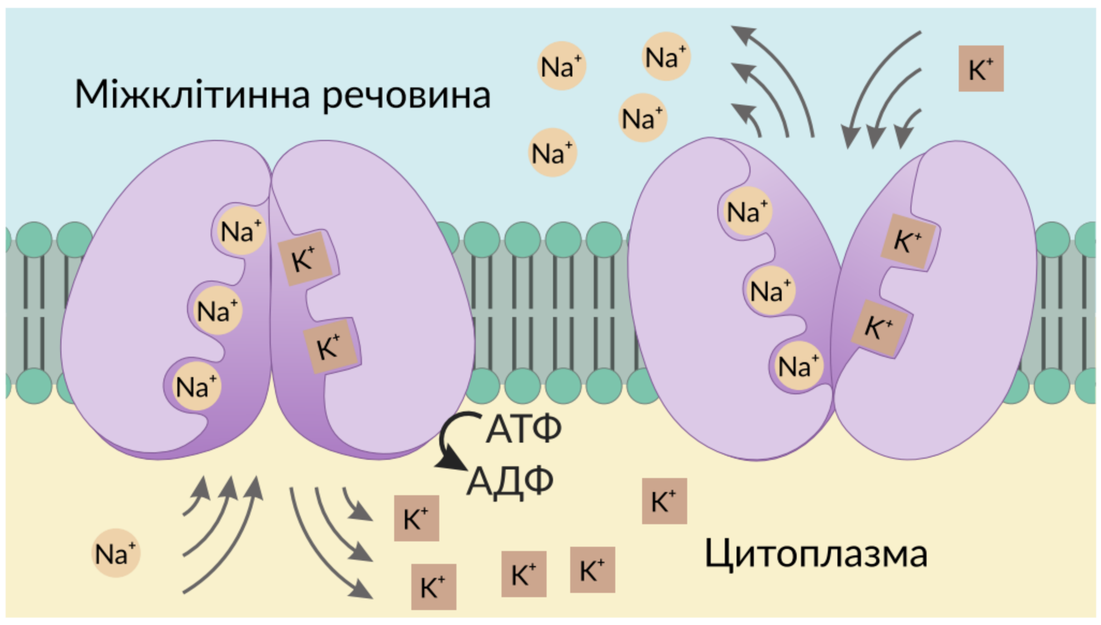
Транспортування крізь мембрану полярних речовин забезпечують білкові молекули-переносники. Цей тип транспортування відіграє важливу роль у процесі збудливості нервових і м'язових клітин тощо. Молекули-переносники необхідні також для потрапляння в клітину глюкози. Пасивний рух речовин за допомогою молекул-переносників називають ***полегшеною дифузією*** (іл. 50).

Інколи необхідно транспортувати речовину з місця з меншою її концентрацією до місця, де її концентрація більша. Цей процес потребує витрат енергії, а тому є активним. Прикладом може бути ***калій-натрієвий насос*** (Na^+-K^+-насос) (іл. 51). Він забезпечує вихід з клітини йонів Натрію і надходження в неї із позаклітинного простору йонів Калію. Робота цього насоса забезпечує нормальне функціонування клітин, підтримуючи на певному рівні концентрації цих йонів усередині та зовні них.

Іл. 50. Принцип роботи внутрішнього білка, який транспортує глюкозу



Іл. 51. Принцип роботи Na^+-K^+-насоса — прикладу активного транспортування речовин





Проаналізуйте схему. Доведіть, що зображена схема є прикладом пасивного транспортування речовин.



Проаналізуйте схему. Чи є поміж наведених тверджень правильні?

1. На роботу Na+-K+-насоса витрачається енергія молекули АТФ.
2. Йони Натрію «закачуються» в клітину, а йони Калію «викачуються» з клітини.

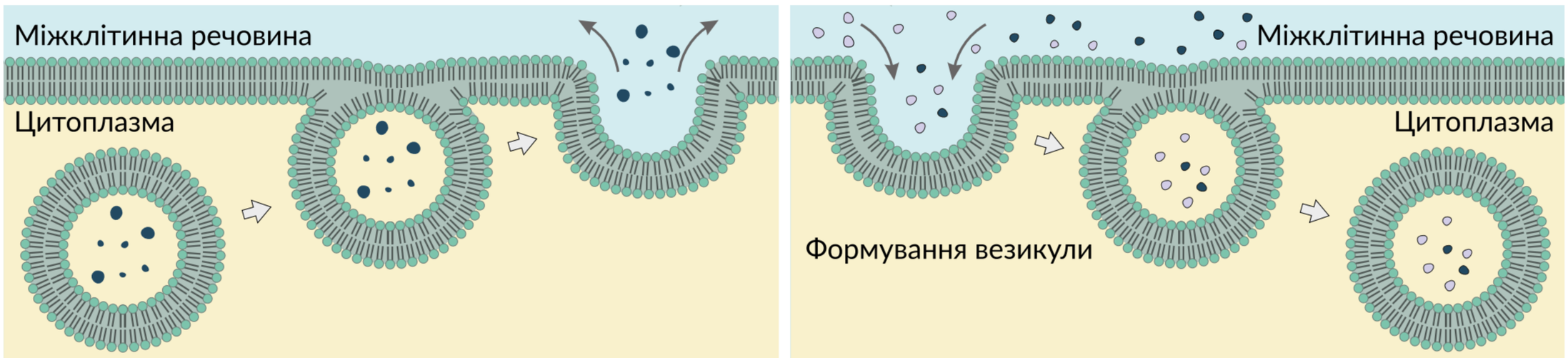
Особливим типом активного транспортування є ***цитоз*** — переміщення речовин у складі мембранних пухирців — везикул. Процес виведення речовин із клітини внаслідок злиття везикул із плазматичною мембраною називають ***екзоцитозом***. У такий спосіб із клітин вивільняються синтезовані нею ферменти, гормони, нейромедіатори тощо. Процес активного надходження твердих і рідких речовин із зовнішнього середовища всередину клітини називають ***ендоцитозом*** (іл. 52). Розрізняють піноцитоз — поглинання рідких речовин та фагоцитоз — поглинання разом із рідкими речовинами твердих часточок. Фагоцитоз відіграє важливу роль у поглинанні клітинами імунної системи чужорідних клітин і бактерій, а також у живленні одноклітинних організмів.

У багатоклітинних організмів клітини зв'язані між собою. Такий зв'язок забезпечують білки, які ніби «зшивають» дві мембрани, формуючи **міжклітинні контакти**.

Рецепторна функція полягає у здатності реагувати на хімічні речовини, змінюючи при цьому функціонування клітин. Джерелами таких біологічно активних речовин можуть бути як інші клітини (гормони, нейромедіатори, тощо), так і навколишнє середовище (поживні речовини, отрути тощо). Першою ланкою реагування на наявність хімічних речовин є рецепторні білки, вбудовані в плазмолему та здатні вибірково зв'язуватися з іншими речовинами.

Деякі білки, вбудовані в клітинну мембрану, забезпечують **ферментативну** функцію. Зокрема, вони забезпечують мембранне (пристінкове) травлення в кишківнику людини. У прокаріотичних клітинах мембранні білки беруть участь у процесах фотосинтезу, запасанні енергії шляхом синтезу АТФ тощо.

Іл. 52. Схеми екзоцитозу (а) й ендоцитозу (б)



а б



Доведіть, що підпис до ілюстрації є правильним.



1. Які речовини входять до складу плазматичної мембрани? **2.** Опишіть будову плазматичної мембрани. **3.** Перелічіть функції плазмолеми. **4.** Поясніть відмінності між пасивним та активним транспортуванням речовин. **5.** Які речовини можуть транспортуватися крізь мембрану шляхом дифузії, а які — ні? Чому? **6.** Поясніть значення цитозу для обміну речовин клітини.

§ 12. Цитоплазма й основні клітинні органели



Які органели клітини ви знаєте?
Наявність яких органел вирізняє рослинну клітину?

Цитоплазма є внутрішнім середовищем клітини. У цитоплазмі розрізняють рідку частину — **цитозоль** і компактні структури (органели та включення).

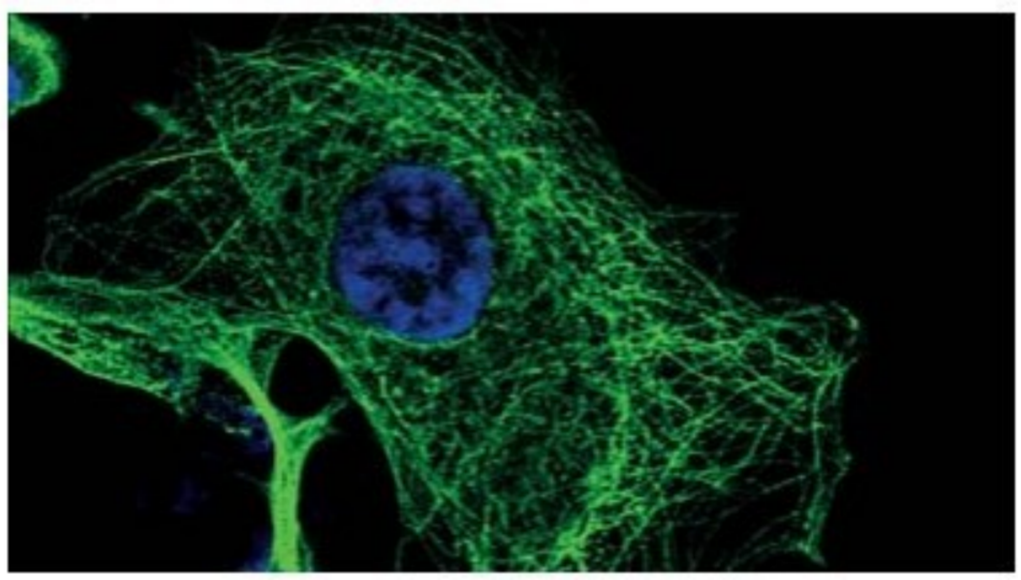
Включення — це змінні складники клітин. Ними можуть бути резервні сполуки (зерна крохмалю, гранули глікогену, краплини жирів), продукти обміну речовин (кристали кальцій оксалату в рослин). Вони можуть з'являтися або зникати залежно від характеру функціонування клітини.

Органели — це постійні цитоплазматичні складники, що мають певну будову та виконують визначені функції.

Важливим складником цитозолю є цитоскелет — система білкових мікротрубочок та мікроніток, що пронизують усю цитоплазму, контактують з плазмолемою та ядерною оболонкою (іл. 53). Цитоскелет підтримує форму клітини, бере участь в організації рухів клітини, її змінах, забезпечує переміщення органел усередині клітини, процеси екзоцитозу та ендоцитозу. У клітинах, здатних до амебоїдного руху, цитоскелет бере участь у формуванні псевдоподій.

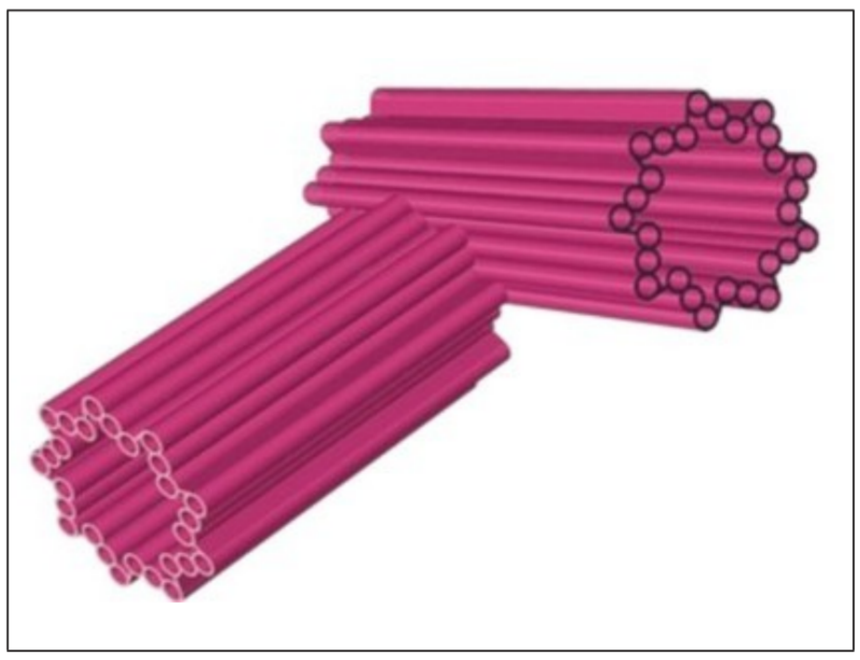
Немембранні органели. Із цитоскелетом пов'язаний клітинний центр (центросома) (іл. 54). Основними складниками його є дві центріолі (короткі циліндри з мікротрубочок), розташовані під прямим кутом одна до одної. Центросома розміщується поблизу ядра, є центром організації мікротрубочок цитоскелета й виконує важливу роль у поділі клітин.

Іл. 53. Цитоскелет



Зображення отримано за допомогою конфокальної мікроскопії (зелений колір — розподіл мікротрубочок, синій колір — ядро)

Іл. 54. Клітинний центр



Тривимірна модель будови

Підготуйте повідомлення про функції клітинного центру.

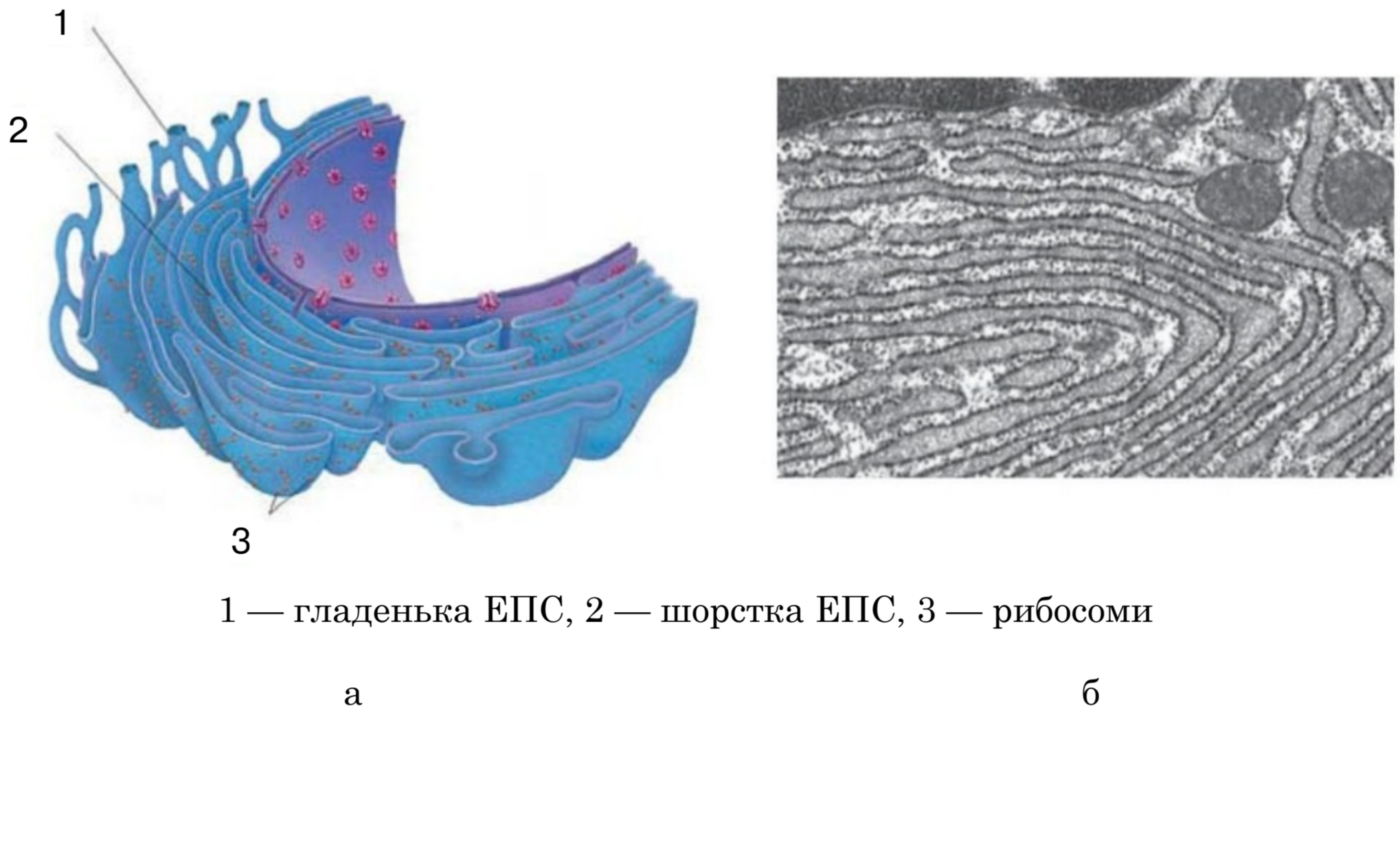
До немембранних органел належать складники, які забезпечують рух клітин. Окрім згадуваного вище амебоїдного типу рухи забезпечуються спеціалізованими органелами — джгутиками та війками, вбудованими в плазмолему та клітинну стінку (якщо вона є). Ці органели побудовані з мікротрубочок, які, змінюючи свою структуру, здійснюють колові рухи. Вони подібні за будовою, але порівняно з війками джгутики довші, а кількість їх — менша. Органели руху властиві багатьом одноклітинним організмам, а також бувають у деяких клітинах багатоклітинного організму (пригадайте, які організми або клітини організму людини мають джгутики чи війки). До немембранних органел також належать **рибосоми**. Це невеликі тільця, що складаються з двох субодиниць. Ці органели містять спеціальні рибосомні білки й рибосомальну РНК (рРНК). Рибосоми беруть участь у синтезі білків (буде розглянуто в § 26).

Одномембранні органели. До одномембранних органел належать ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, пероксисоми та вакуолі.

Ендоплазматична сітка (ЕПС), або ендоплазматичний ретикулум, — це сукупність мембранних трубочок і канальців, що пронизують цитоплазму. Розрізняють гладеньку (агранулярну) і шорстку (гранулярну) ЕПС. До мембран шорсткої ЕПС з цитоплазматичного боку можуть прикріплюватися рибосоми, які синтезують у порожнину трубочок білкові молекули (іл. 55). Основною функцією цього типу ЕПС є участь у синтезі білків і транспортування синтезованих речовин у мембранних пухирцях до комплексу Гольджі.

Гладенька ЕПС забезпечує синтез ліпідів, зокрема стероїдних речовин, знешкодження деяких токсичних речовин та депонування йонів Кальцію. Останнє є важливим для функціонування м'язових клітин.

Іл. 55. Гладенька й шорстка ендоплазматична сітка: а — модель будови, б — електронограма



1 — гладенька ЕПС, 2 — шорстка ЕПС, 3 — рибосоми

а б

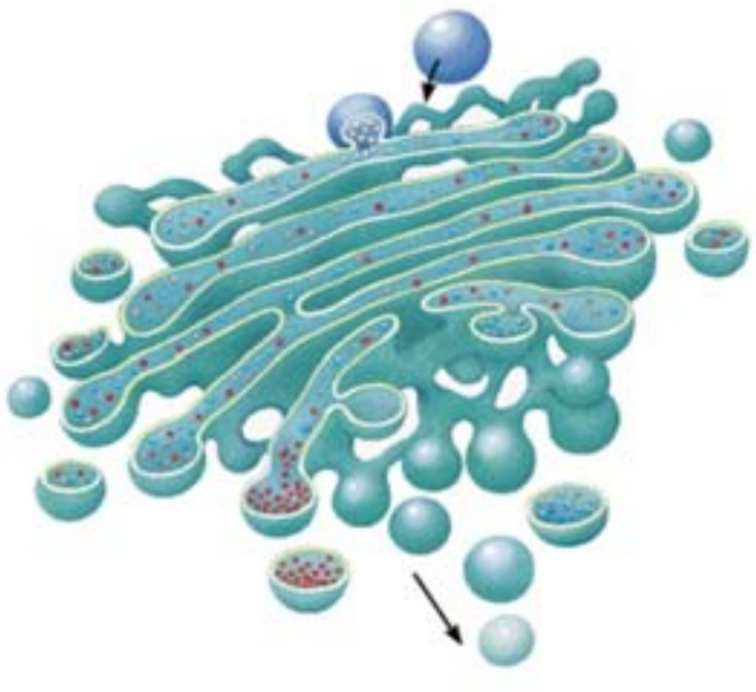
Комплекс Гольджі (або апарат Гольджі) — це сітчасте утворення, що є сукупністю плоских мембранних цистерн (мішечків), розташованих поблизу клітинного ядра (іл. 56). Комплекс Гольджі функціонально поєднаний з ЕПС: мембранні пухирці, від'єднуючись від цистерн ЕПС, транспортують синтезовані білки до комплексу Гольджі. Останній здійснює перетворення білкових молекул (утворення глікопротеїнів, ліпопротеїнів тощо) і пакує їх у мембранні пухирці відповідно до функціонального призначення. Білки, що експортуються з клітини (наприклад, ферменти, гормони) або ж мають вбудуватися до плазматичної мембрани, розміщуються в секреторних пухирцях. Ферменти, що здійснюють внутрішньоклітинне травлення, пакуються в лізосоми, які тут утворюються. У цій органелі також синтезуються полісахариди.

Лізосоми — мембранні органели у вигляді пухирців, усередині яких містяться ферменти, що розщеплюють полімерні органічні сполуки до мономерних. Лізосоми руйнують компоненти чужорідних клітин, поглинутих у процесі фагоцитозу, а також відпрацьовані «старі» клітинні компоненти. Останній процес має назву **автофагія** («самопоїдання»), і порушення його спричиняє розвиток низки захворювань. Формуються лізосоми комплексом Гольджі.

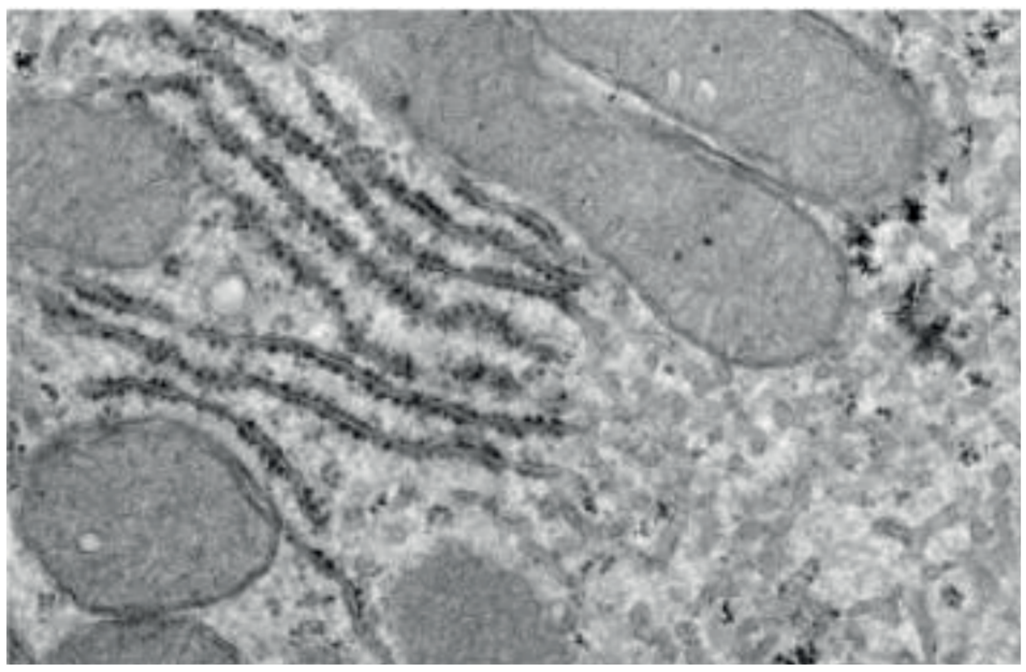
Пероксисоми — мембранні органели у вигляді пухирців, що містять ферменти, зокрема ті, що забезпечують перетворення жирів або розщеплення токсичного для клітини гідроген пероксиду до кисню і води.

Вакуолі — це великі мембранні порожнини, заповнені рідким вмістом. Залежно від їх будови та функцій вирізняють кілька типів таких органел. Рослинні клітини містять великі клітинні вакуолі, внутрішній вміст яких називається клітинним соком. Вони беруть участь у регуляції тургору, можуть містити пігменти, надаючи частинам рослин забарвлення, зберігати продукти обміну речовин. Прісноводні одноклітинні організми

Іл. 56. Комплекс Гольджі: а — модель будови; б — електронограма



Стрілками позначено напрямок транспортування речовин





Складіть оповідання про подорож білка, який був синтезований на мембранах шорсткої ендоплазматичної сітки.

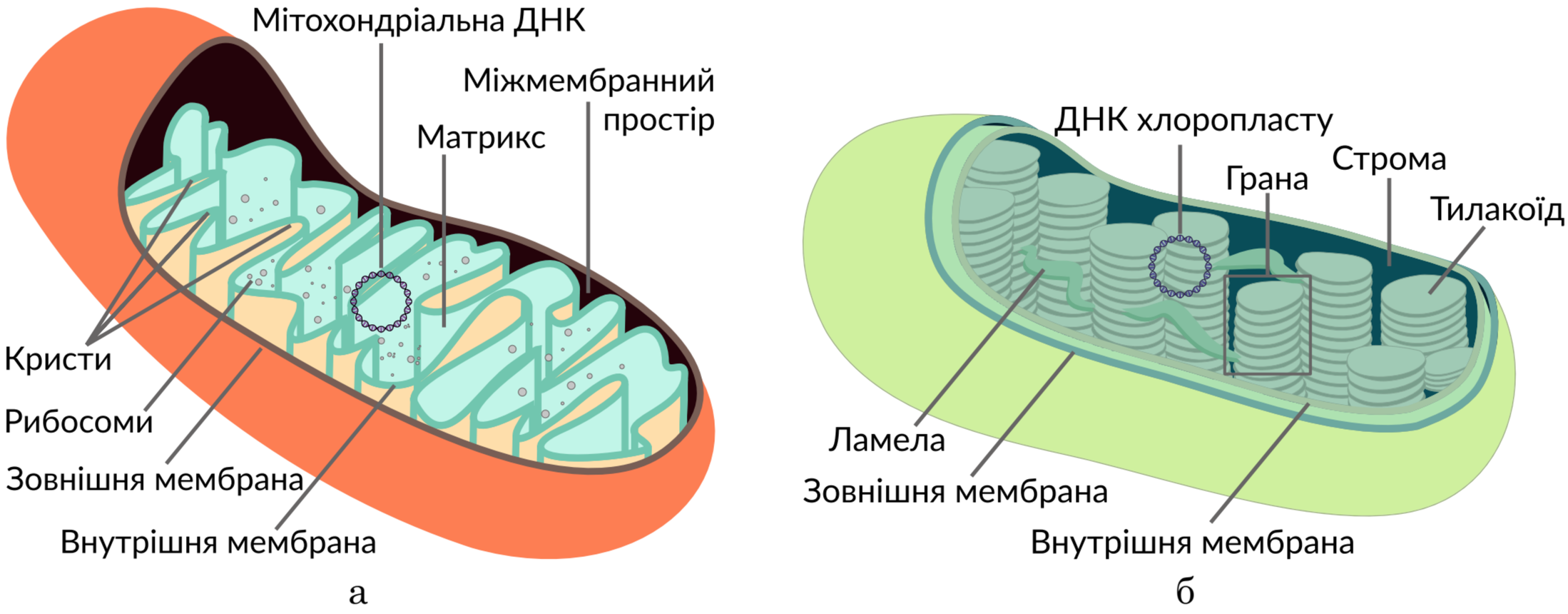
містять скоротливі вакуолі, функція яких — виведення з клітин надлишкової води. Розщеплення поживних речовин усередині деяких клітин відбувається в травних вакуолях, що формуються за участю лізосом.

Двомембранні органели. **Мітохондрії** — це органели овальної форми, які містять дві мембрани — зовнішню і внутрішню (іл. 57а). Внутрішня мембрана має численні складки — кристи. Вони необхідні для збільшення її поверхні. Простір, обмежений внутрішньою мембраною, називається мітохондріальним матриксом. У мітохондріях відбуваються основні процеси, які забезпечують клітину енергією, синтезуючи молекули АТФ (§ 17). Клітини, у яких процеси життєдіяльності відбуваються інтенсивно (наприклад, у скелетних м'язах), мають більшу кількість мітохондрій.

Пластиди — це двомембранні органели, властиві лише рослинам і деяким одноклітинним організмам. Розрізняють кілька типів пластид, що мають свої особливості будови й функцій. Найпоширенішими є **хлоропласти** — органели зеленого кольору, що здійснюють фотосинтез. Усередині хлоропластів розташовані плоскі мембранні мішечки — тилакоїди (іл. 57б). Саме з ними пов'язані основні реакції фотосинтезу (детально розглянемо їх у § 17). Безбарвні пластиди — **лейкопласти** забезпечують запасання поживних речовин — крохмалю, жирів та білків. А пластиди, забарвлені в кольори жовто-червоної частини спектра, — **хромопласти** — надають забарвлення пелюсткам, плодам, листкам та іншим частинам рослин.

Мітохондрії і пластиди мають спільні особливості. Ці органели крім двомембранної стінки містять власну спадкову інформацію — кільцеву молекулу ДНК, а також апарат синтезу білків (рибосоми, РНК). Проте для роботи мітохондрій і пластид необхідні деякі білки, інформація про які міститься в ядерній ДНК. Мітохондрії і пластиди не виникають з інших мембранних структур клітини, а розмножуються поділом.

Іл. 57. Двомембранні органели: а — мітохондрія; б — хлоропласт



1. Назвіть складники цитоплазми. **2.** Яке значення має цитоскелет для функціонування клітини? **3.** Опишіть будову та функції немембранних і одномембранних органел. **4.** Порівняйте будову мітохондрій та хлоропластів.

§ 13. Ядро: будова та функції



Який складник клітини містить спадкову інформацію?

Ви вже знаєте, що ядро є складником клітини рослин, грибів і тварин, а його наявність є ознакою, що відрізняє евкаріоти від прокаріотів.

Ядро — органела евкаріотичної клітини, яка обмежена подвійною мембраною і забезпечує збереження спадкової інформації.

Більшість клітин містить лише одне ядро. Наприклад, в амеби протей — одноклітинного організму — одне ядро. Деякі організми мають кілька ядер, зокрема представники водоростей, грибів, форамініфери, інфузорії (іл. 58). Однак існують клітини (зокрема, еритроцити ссавців), у яких немає ядра. У ядрі зберігається спадкова інформація та започатковуються процеси її реалізації, про які ви дізнаєтеся в наступних параграфах. Процеси, які відбуваються в ядрі (§ 25), впливають на перебіг клітинного поділу. Статеве розмноження організмів пов'язане із заплідненням — злиттям ядер статевих клітин. Саме в ядрі відбувається регуляція активності генів, отже, ядро є центром контролю за функціонуванням клітини.

Усі ядра мають подібну будову, а саме — поверхневий апарат (оболонку) і внутрішнє середовище (матрикс), що можна побачити за допомогою електронного мікроскопа.

Поверхневий апарат ядра утворюють дві мембрани — зовнішня і внутрішня, між якими є заповнена рідиною щілина (20–60 нм завширшки). Зовнішня мембрана ядерної оболонки контактує з ендоплазматичною сіткою, переходячи в неї. Внутрішній вміст ядра контактує

Іл. 58. Ядро — складник евкаріотичної клітини: а — одне ядро в клітині амеби протей; б — два ядра в клітині інфузорії-туфельки; в — електронна мікрофотографія ядра



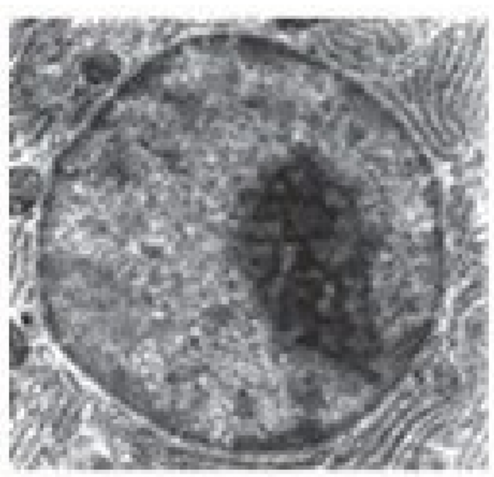
Велике ядро в нижній частині зображення

а



По центру зображення темний макронуклеус

б



в



Згадайте функції, які виконує кожне з двох ядер інфузорії-туфельки. Розпізнайте на електронній мікрофотографії оболонку й матрикс ядра.

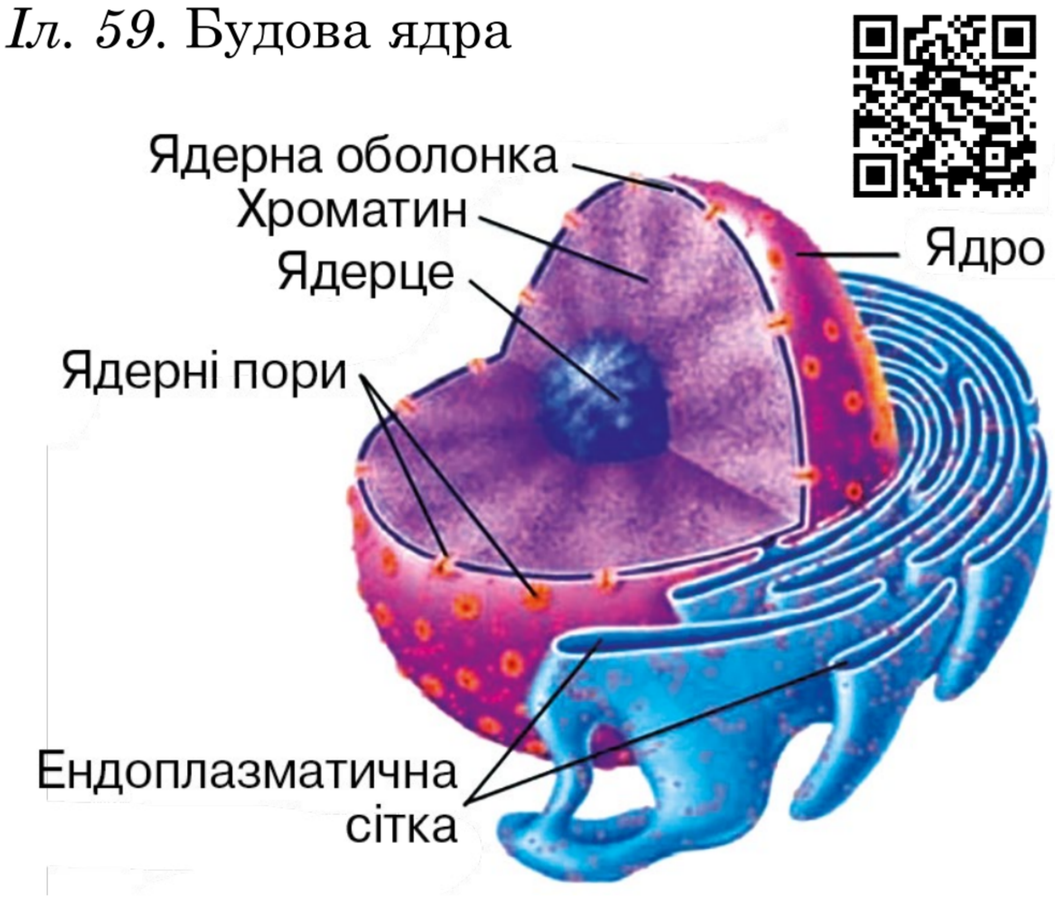
із цитоплазмою крізь отвори великого розміру — ядерні пори. Вони сформовані білками, що контролюють транспортування великих молекул усередину ядра та з нього. Речовини, які проникають усередину ядра, можуть змінювати рівень активності генів, а тому контроль такого транспортування важливий для регуляції роботи клітини.

У ядерному матриксі вирізняють рідку частину — ядерний сік, ущільнення — ядерце та головну за функціями частину — хроматин (іл. 59). Ядерний сік за складом та функціями нагадує цитоплазму.

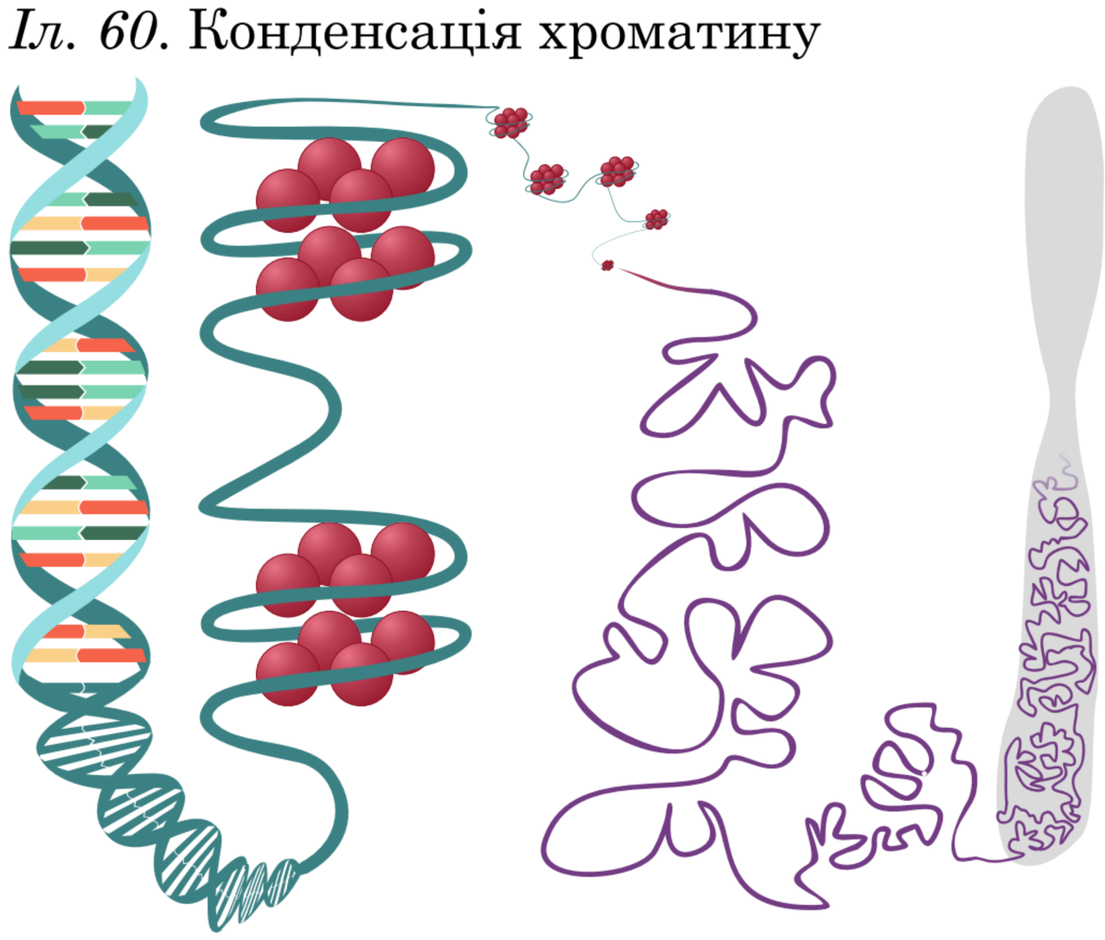
Хроматин складається з молекул ДНК, сполучених із білками — гістонами. Ці білки, зокрема, захищають молекулу ДНК від впливу хімічних сполук, про негативні наслідки якого ви дізнаєтесь зі змісту § 33. Нитки ДНК, ніби частково намотані на гістонові молекули, формують структури, подібні до намиста. Вони, зокрема, закручуються в спіралі, які вкладаються в петлі, а петлі вкладаються в петлі другого порядку. Цей процес називають ущільненням, або конденсацією хроматину. Максимально ущільнений хроматин формує Х-подібні структури — хромосоми. У такому стані молекули ДНК недоступні для зчитування з них спадкової інформації. Тому під час активного функціонування клітини хроматин має хоча б частково перебувати в деконденсованому стані (іл. 60).

Ядерця — це щільні структури, що містять комплекси РНК з білками й хроматин. Тут зосереджені ділянки молекул ДНК, які зберігають інформацію про структуру молекул рРНК, тому ядерце є місцем утворення компонентів рибосом. Зібрані частини рибосом транспортуються крізь ядерні пори в цитоплазму, де беруть участь у біосинтезі білка (§ 26). У ядрі також синтезуються інші типи РНК, необхідні для біосинтезу білка. Отже, ми дізналися про взаємозв'язок будови та функцій ядра.

Іл. 59. Будова ядра



Іл. 60. Конденсація хроматину



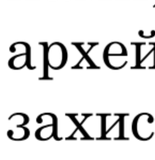


Знайдіть на ілюстрації молекулу ДНК, гістонові білки та конденсовану хромосому.Поясніть, чому хроматин має перебувати в конденсованому стані.



1. Назвіть складники ядра. **2.** Схарактеризуйте функції ядра. **3.** Що таке хроматин? **4.** Поясніть взаємозв'язок будови та функцій ядра.

§ 14. Типи клітин. Рослинна, тваринна та грибна клітини



Яка основна відмінність між прокаріотичною та евкаріотичною клітинами?

У прокаріотичній клітині немає ядра, проте це не єдина ознака, що відрізняє її від евкаріотичної клітини.

Прокаріотична клітина. Організми, клітини яких не містять ядра, — це бактерії та археї. Вони мають мінімальний набір складників, які забезпечують існування клітини як цілісної системи. Це плазматична мембрана, цитоплазма, рибосоми та молекула ДНК — носій спадкової інформації. У них немає ядра та всіх мембранних органел. Зовні клітини більшості прокаріотів оточені клітинною стінкою. У бактерій вона сформована складними сполуками вуглеводів та коротких амінокислотних ланцюжків — пептидогліканами, а також може містити додаткові компоненти. Клітинні стінки більшості архей мають білкову природу. Зовні клітинної стінки може бути додатковий захисний шар — капсула. Переміщення клітин архей у просторі забезпечується джгутиками (їхня кількість варіюється від 1 до 1000). Деякі бактерії формують волоскоподібні вирости — пілі, що виконують функції комунікації між клітинами та прикріплення до поверхонь. Місце зберігання молекули ДНК у клітинах прокаріотів дещо відрізняється від решти цитоплазми й називається **нуклеоїдом** (іл. 61). Більша частина нуклеоїду містить одну молекулу ДНК, замкнену в кільце (а не лінійна, як у ядрах), а також РНК та білки. Ця молекула ДНК не зв'язана із гістонами. Синтез білків прокаріотів також забезпечується рибосомами, які складені двома субодиницями.

Іл. 61. Бактеріальна клітина: а — схема будови; б — електронна мікрофотографія клітини кишкової палички



а б



Знайдіть на електронній мікрофотографії нуклеоїд, цитоплазму та клітинну стінку.

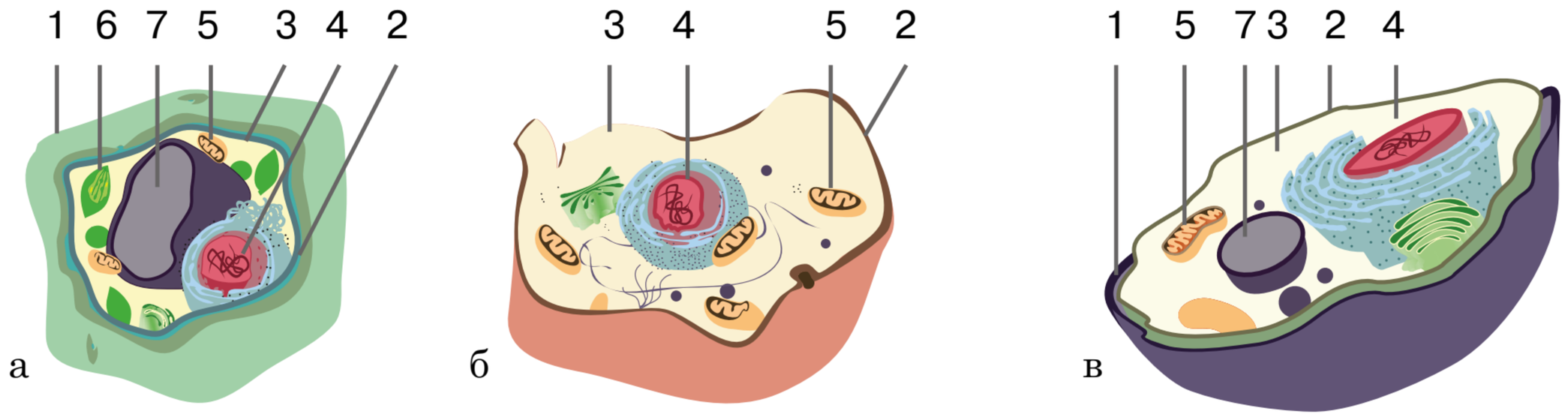
Різноманітність евкаріотичних клітин. До евкаріотів належать одноклітинні евкаріоти, гриби, водорості, рослини й тварини.

Під час вивчення рослинних, грибних і тваринних організмів ви ознайомилися з особливостями будови їхніх клітин. Окрім обов'язкових складників (плазматична мембрана, цитоплазма, рибосоми, ДНК) клітини таких організмів містять ядра та мембранні органели (іл. 62). Так, рослинам і грибам властива наявність клітинних стінок, основою яких є полісахариди целюлоза (рослини) та хітин (гриби). Рослинні клітини відрізняються від інших наявністю пластид. Хлоропласти, зокрема, забезпечують фотосинтез, що зумовлює унікальну роль рослин у біосфері. Також у цих організмів можуть бути наповнені клітинним соком вакуолі великого розміру — до 30% від об'єму цитоплазми. У грибів також можуть бути вакуолі, але меншого розміру. Тваринні клітини не мають клітинних стінок, їхня поверхня утворена вуглеводними залишками, з'єднаними з молекулами плазматичних мембран. Завдяки цьому деякі з них, на відміну від організмів із клітинними стінками, можуть змінювати свою форму, захоплювати тверді часточки їжі (фагоцитоз), формувати псевдоподії.

Ще однією принциповою відмінністю евкаріотичних клітин від прокаріотичних є здатність формувати багатоклітинні організми. Прокаріоти здатні формувати багатоклітинні структури, колонії. Проте взаємодія між клітинами не настільки досконала, щоб ці утворення називати багатоклітинним організмом. В евкаріотичних організмів ідеться не про утворення сукупності багатьох клітин, а про формування організмів, між клітинами яких існують численні регуляторні зв'язки. Це надає їм нових властивостей, які забезпечують перехід від клітинного рівня до організмового.

Евкаріотичні клітини можуть існувати самостійно (одноклітинні організми), формувати колонії або ж входити до складу багатоклітинних

Іл. 62. Будова рослинної (а), тваринної (б) та грибної (в) клітин



1 — клітинна стінка; 2 — плазматична мембрана; 3 — цитоплазма; 4 — ядро; 5 — мітохондрія; 6 — хлоропласт; 7 — вакуоля

Проаналізуйте твердження щодо особливостей зображених клітин. Чи є поміж них правильні?

1. Складником поверхневого апарату всіх зображених клітин є клітинна стінка. **2.** Транспортування речовин за допомогою фагоцитозу властиве тваринній клітині. **3.** Хлоропласт — органела, яка характерна для рослинної та грибної клітини. **4.** Синтез АТФ відбувається в мітохондріях — обов'язкових органелах усіх зображених клітин.

організмів. Складніші організми формують тканини та органи (пригадайте органи покритонасінних рослин, системи органів тварин).

За розмірами клітини прокаріотів значно менші за евкаріотичні клітини. Діаметр бактерії становить близько 1 мкм; в одній типовій клітині евкаріотів може вміститися понад 10 000 бактерій.

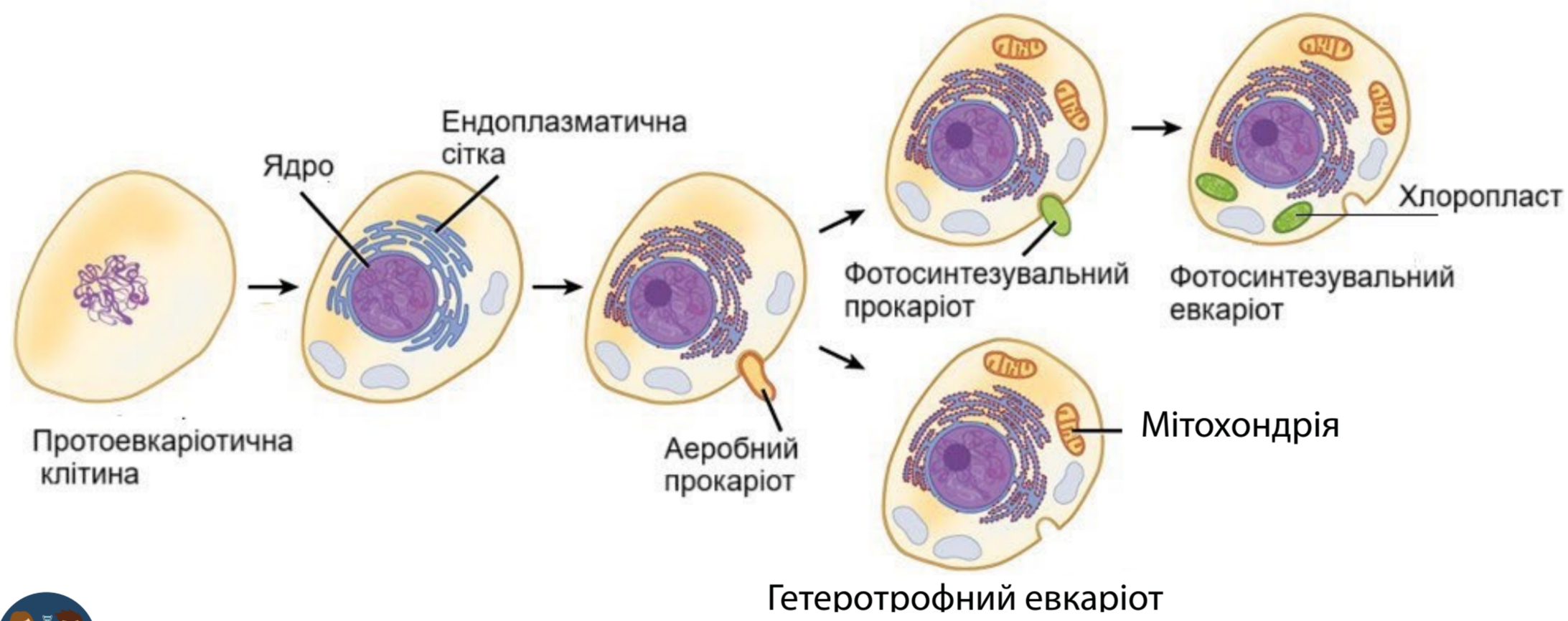
Походження евкаріотичної клітини. За палеонтологічними даними, прокаріоти на нашій планеті виникли близько 3,2 млрд років тому, тоді як евкаріоти є набагато молодшими — їх вік становить лише близько 1,6 млрд років. Наразі описано майже 40 тис. видів прокаріотичних організмів, а евкаріотичних — близько 1,7 млн.

У будові прокаріотів майже не відбувалось еволюційних змін: усі їхні викопні форми не відрізняються від сучасних. Це пояснюють передусім тим, що поміж них немає багатоклітинних організмів, тобто прокаріоти нездатні до диференціації клітин та ускладнення організації.

Є кілька гіпотез походження евкаріотів, із яких у наш час найпопулярніша — симбіотична. Її послідовники вважають, що двомембранні органели, які мають власну спадкову інформацію і здатні до розмноження поділом (пластиди та мітохондрії), — це нащадки симбіотичних прокаріотів, що втратили здатність до існування поза клітиною хазяїна. Спільне існування кількох видів прокаріотів привело до появи евкаріотичних клітин (іл. 63).

Для евкаріотів характерне ускладнення організації під час історичного розвитку. Навіть в одноклітинних організмів (водорості, інфузорії) будова клітини набуває певної складності. Поява багатоклітинних організмів — ще один прояв здатності евкаріотів до ускладнення. Багатоклітинні організми походять від колоніальних унаслідок диференціації клітин останніх.

Іл. 63. Схема походження евкаріотичної клітини (симбіотична гіпотеза)



Складіть оповідання про походження евкаріотичної клітини.

1. Дайте означення понять *прокаріоти*, *евкаріоти*. **2.** Схарактеризуйте будову прокаріотичної клітини. **3.** Виявіть риси схожості та відмінності рослинної, тваринної та грибної клітин. **4.** Поясніть симбіотичну гіпотезу походження евкаріотичної клітини.

Щоб закріпити знання щодо будови евкаріотичних клітин, проведіть самостійне дослідження, етапи якого наведено на цій сторінці.

Сформулюйте мету й проведіть лабораторне дослідження за планом, який подано.

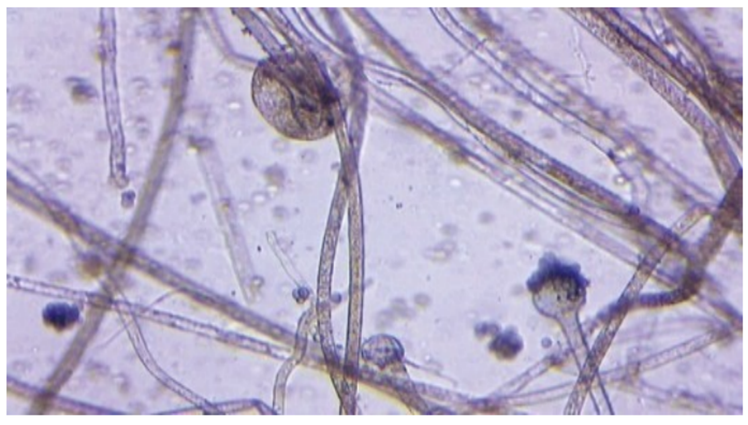
ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ РІЗНОМАНІТНОСТІ КЛІТИН ЕВКАРІОТІВ

Обладнання та об'єкти дослідження: *оптичний мікроскоп, препарувальна голка, склянка із водою, піпетка, предметне та накривне скельця, мікропрепарати мукора та війчастого епітелія, листок елодеї та інші об'єкти дослідження.*

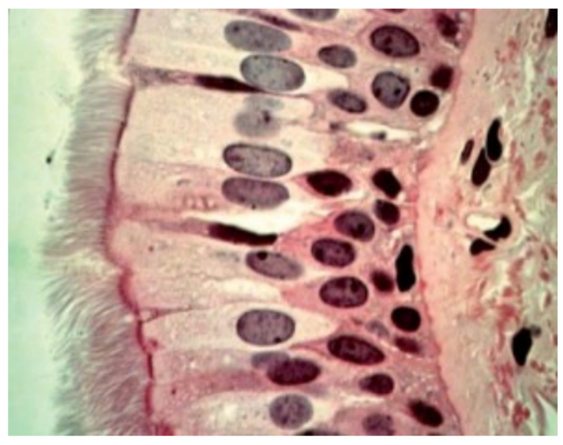
Перебіг роботи

1. Приготуйте мікропрепарат витриманого на світлі (8–10 год) листка елодеї.
2. Розгляньте його за допомогою оптичного мікроскопа.
3. Замалюйте клітини в зошиті. Підпишіть складники.
4. Розгляньте за допомогою оптичного мікроскопа готові мікропрепарати мукора та війчастого епітелію.
5. Замалюйте клітини в зошиті. Підпишіть складники.
6. Розгляньте світлини, на яких зображено клітини листка елодеї, клітини мукора та клітини війчастого епітелію. Якими буквами їх позначено?
7. Розгляньте інші об'єкти дослідження за допомогою оптичного мікроскопа.
8. Замалюйте клітини в зошиті. Підпишіть складники.
9. Ознайомтеся із будовою клітини за допомогою електронного додатку. Будову клітини якого типу наведено?
10. Сформулюйте висновок.

Виявіть ознаки схожості та відмінності в будові клітин. Чим обумовлені відмінності будови клітин?



а



б



в

§ 15. Обмін речовин і перетворення енергії у клітині



Які організми називають автотрофами, а які — гетеротрофами?

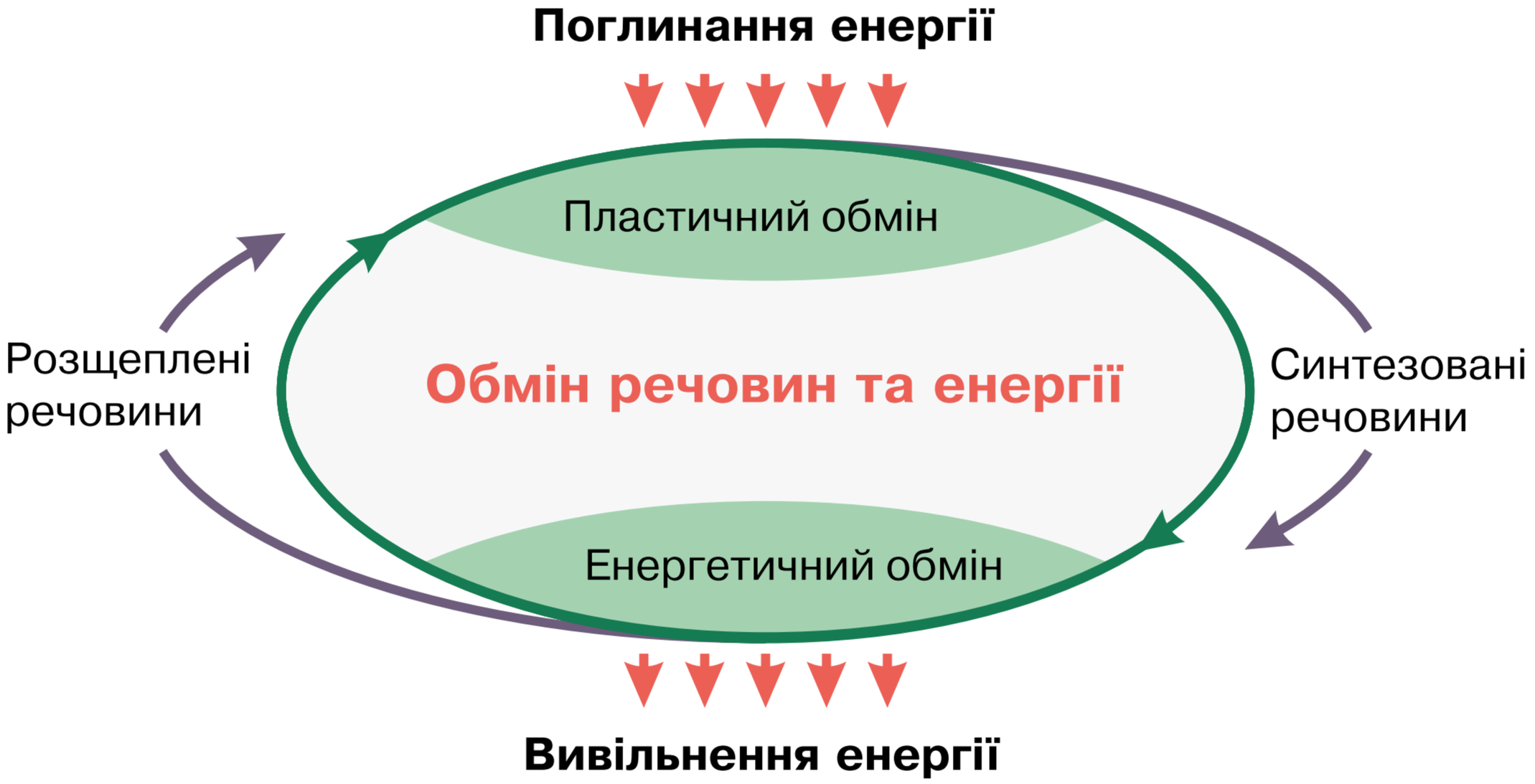
Обмін речовин. Клітина є відкритою біологічною системою, тобто такою, для якої необхідно надходження речовин та енергії із навколишнього середовища та їх перетворення.

Сукупність усіх хімічних перетворень речовин в організмі з моменту надходження їх із навколишнього середовища до моменту виведення продуктів розпаду називають **обміном речовин**, або **метаболізмом**.

В організмі одночасно відбувається перебіг процесів двох типів. Для синтезу сполук, необхідних для життєдіяльності організму, з навколишнього середовища надходять певні речовини. При цьому поглинається енергія, необхідна для утворення хімічних зв'язків, тощо. Сукупність реакцій синтезу складних речовин із простих, що забезпечують розвиток клітин й організмів, поновлення їхнього хімічного складу називають **пластичним обміном** (від грец. *пластос* — створений). Водночас у клітині відбувається протилежний процес — розщеплення речовин. Сукупність реакцій розщеплення складних речовин на простіші з вивільненням енергії називають **енергетичним обміном**.

Пластичний та енергетичний обмін є протилежними складниками єдиного процесу обміну речовин. Реакції біосинтезу потребують поглинання енергії, що вивільняється в результаті реакцій енергетичного обміну. Для перебігу реакцій енергетичного обміну необхідний постійний біосинтез органічних речовин, які надалі будуть розщеплюватися (іл. 64). Під час

Іл. 64. Взаємозв'язок пластичного й енергетичного обміну



енергетичного обміну молекули АТФ утворюються, а під час пластичного обміну — витрачаються, розщеплюються з виділенням енергії. Перебіг реакцій обміну відбувається впорядковано за участі специфічних білків — ферментів. Завдяки їм ці реакції йдуть швидко й ефективно за звичайних умов функціонування клітин.

Перетворення енергії. Для забезпечення власних енергетичних потреб організми використовують енергію, що надходить із навколишнього середовища. Вони акумулюють енергію у формі хімічних зв'язків органічних молекул. Отже, перетворення енергії взаємопов'язане з обміном речовин.

Згадайте, що організми, здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних, називають **автотрофами** (від грец. *аутос* — сам і *трофе* — їжа, живлення). Одні з них використовують для цих процесів енергію світла (згадайте відомі вам організми). Інші автотрофи — хемосинтезувальні, здатні утворювати органічні сполуки за рахунок енергії хімічних реакцій (наприклад, залізобактерії, більшість архей). Енергію у формі хімічних зв'язків синтезованих сполук ці організми використовують для власних потреб або запасають. Організми, які використовують енергію готових органічних речовин, називають **гетеротрофами** (від грец. *гетерос* — інший). До цієї групи належать гриби, більшість тварин і бактерій. Для них джерелом енергії є синтезовані іншими організмами органічні сполуки, які вони одержують із їжею (організми, їхні рештки або продукти життєдіяльності) (іл. 65).

Енергія, що надходить до організму з навколишнього середовища, може запасатися в хімічних зв'язках синтезованих сполук або ж витрачатися на різноманітні процеси функціонування. Витрачена енергія перетворюється на теплову. Отже, живим системам притаманний енергетичний баланс: скільки енергії організм отримує, стільки й витрачає або запасає.

Іл. 65. Приклади автотрофних і гетеротрофних організмів





Розпізнайте поміж наведених на ілюстрації організмів автотрофні й гетеротрофні. Поясніть, які знання ви для цього застосували.



1. Дайте означення понять *обмін речовин, пластичний обмін, енергетичний обмін*. **2.** Порівняйте пластичний та енергетичний обмін. **3.** Які організми належать до автотрофних, а які — до гетеротрофних? **4.** Обґрунтуйте взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну.

§ 16. Біохімічні механізми дихання



Яка система органів тварин забезпечує газообмін?
Як кисень потрапляє до клітин? Що таке енергетичний обмін?

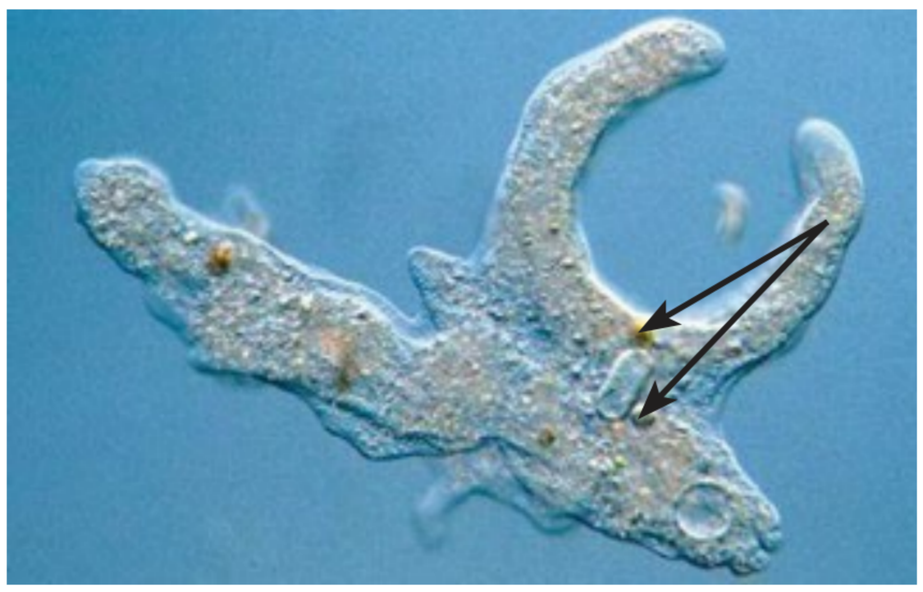
Основним джерелом енергії для більшості клітин є глюкоза. Максимальна кількість енергії вивільняється за умови повного окиснення цієї речовини, у результаті чого утворюються вуглекислий газ і вода. Через це такий процес називають **клітинним диханням**. Частина енергії, що вивільняється, забезпечує синтез АТФ, частина — розсіюється у формі теплової енергії. Повне окиснення глюкози в більшості евкаріотів відбувається за участі мітохондрій, тому їх називають енергетичними станціями клітини.

В енергетичному обміні виділяють три етапи: підготовчий, безкисневий та кисневий.

Підготовчий етап. Під час підготовчого етапу енергетичного обміну полісахариди розщеплюються до мономерів. У тварин із травною системою такі реакції є складниками травлення. В одноклітинних організмів розщеплення полісахаридів відбувається в травних вакуолях — цей процес називають клітинним травленням (іл. 66).

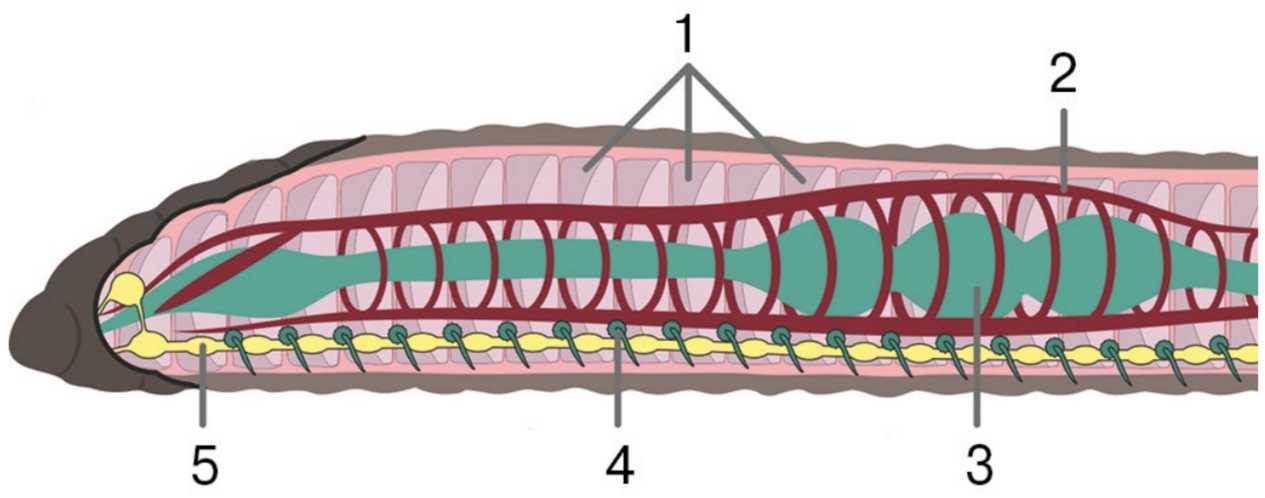
У результаті утворюється глюкоза, яка в одноклітинних організмах потрапляє в цитоплазму, а в багатоклітинних — транспортується до клітин рідинами внутрішнього середовища, зокрема кров'ю. Розщеплення полісахаридів на моносахариди також відбувається в клітинах, які запасають резервні полісахариди (крохмаль, глікоген). Унаслідок розщеплення

Іл. 66. Організми з різним типом травлення: а — зображення амеби протей, отримане за допомогою оптичного мікроскопа; б — рисунок внутрішньої будови дощового черв'яка



Стрілками позначено травні вакуолі

а



б

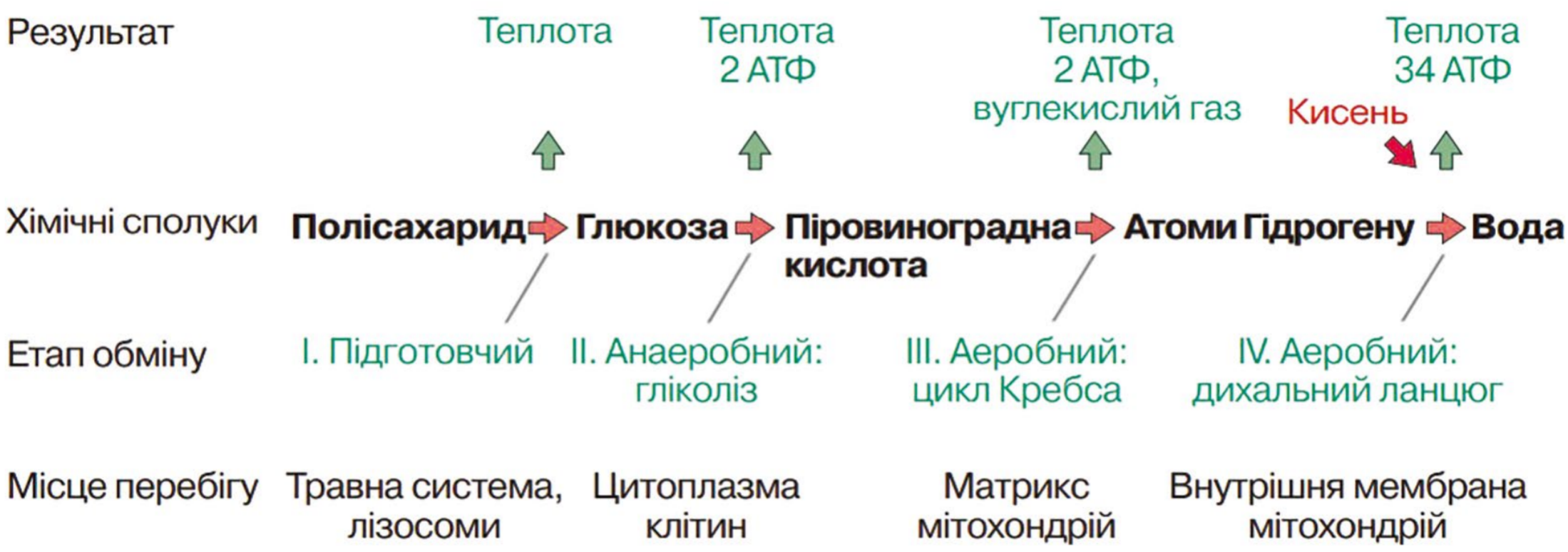
Якою цифрою на ілюстрації позначено травну систему дощового черв'яка? Поясніть особливості травлення у зображеної тварини.

полісахаридів до мономерів вивільняється незначна кількість енергії, яка не акумулюється в АТФ, а розсіюється у формі теплової енергії (іл. 67.I).

Безкисневий (анаеробний) етап. Першим етапом розщеплення глюкози є сукупність реакцій, яка називається **гліколізом**. Ці реакції не потребують кисню і називаються **анаеробними**. Гліколіз — це сукупність послідовних хімічних перетворень за участю ферментів (§ 6, іл. 29), унаслідок якого утворюються дві молекули трикарбонової органічної кислоти, яка називається піровиноградною ($C_3H_4O_4$). На початку реакції гліколізу витрачається енергія, акумульована у двох молекулах АТФ, однак у результаті повного процесу утворюються чотири молекули АТФ. Тож сумарний енергетичний вихід гліколізу становить 2 молекули АТФ на одну молекулу глюкози (іл. 67.II).

Кисневий (аеробний) етап. Піровиноградна кислота містить значну кількість зв'язаної енергії, яку клітини можуть використовувати для синтезу АТФ. Наступні реакції відбуваються в мітохондріальному матриксі з використанням кисню, що надходить у мітохондрії шляхом дифузії. Реакції, що потребують кисню, називаються аеробними. Аеробний етап енергетичного обміну складається з двох послідовних циклів реакцій (іл. 67.III, IV). У першому, який називається циклом Кребса, піровиноградна кислота перетворюється на інші органічні кислоти (іл. 68.I). Унаслідок цих реакцій (у розрахунку на одну вихідну молекулу глюкози) утворюються 4 молекули АТФ, 6 молекул вуглекислого газу та певна кількість атомів Гідрогену, зв'язаних зі спеціальними молекулами-переносниками, однією із яких є НАД (нікотинамідаденіндинуклеотид) (не запам'ятовуйте цю назву).

Іл. 67. Етапи енергетичного обміну



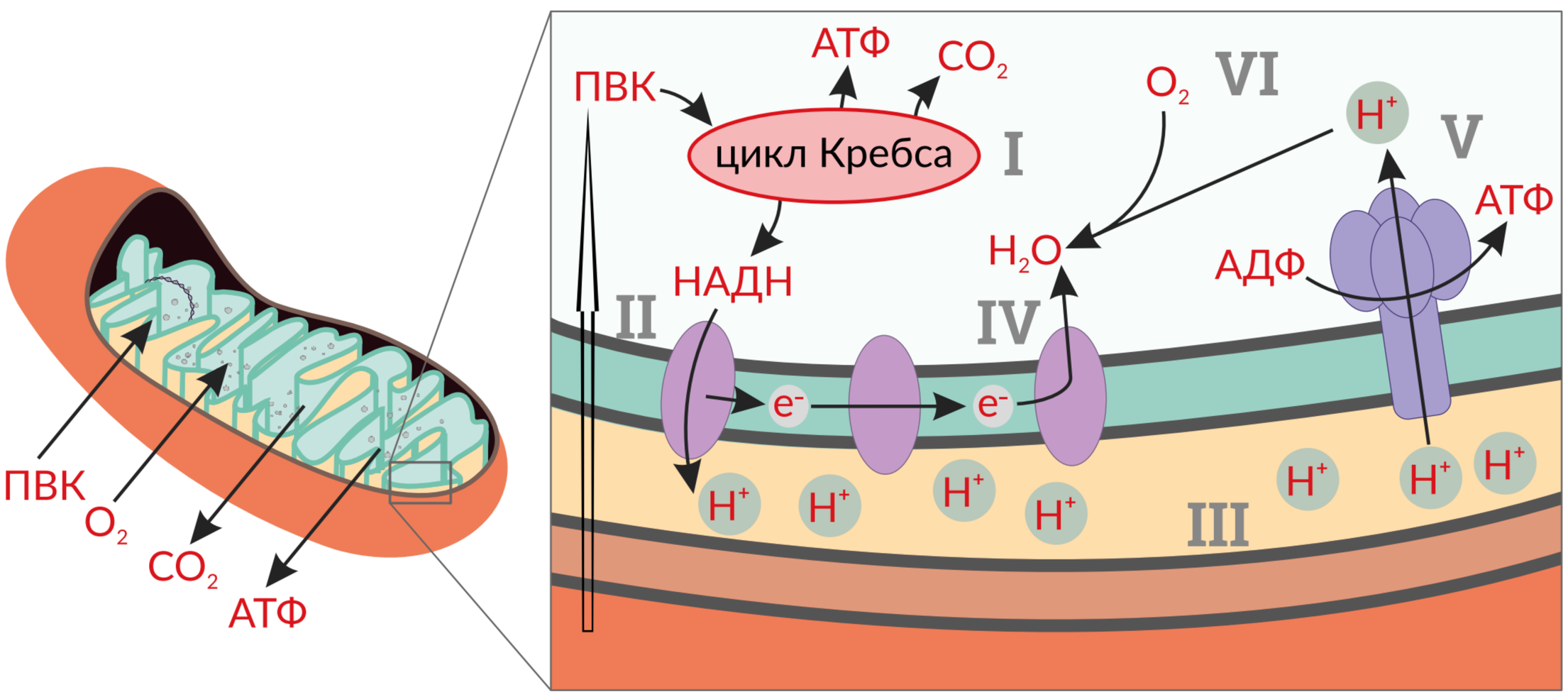
Скільки утвориться молекул АТФ, якщо одна із двох молекул глюкози розщепилася до піровиноградної кислоти, а друга молекула зазнала повного окиснення?

Утворену сполуку позначено НАД·Н. Подальші реакції відбуваються саме за її участі. НАД транспортує зв'язані атоми Гідрогену до внутрішньої мітохондріальної мембрани (іл. 68.II).

Спеціалізовані білки зв'язують атоми Гідрогену, утворюючи йони H^+ та вивільняючи електрони. Йони H^+ переходять у простір між двома мембранами мітохондрії (іл. 68.III), а електрони транспортуються в мембрані спеціалізованими білками (іл. 68.IV). Чим інтенсивніше розщеплюються органічні сполуки в матриксі, тим більше утворюється НАД • Н, і тим більше йонів H^+ накопичується в міжмембранному просторі. Спеціалізований білок АТФ-синтетаза (іл. 68.V) забезпечує пасивне транспортування цих йонів із міжмембранного простору в матрикс. За рахунок енергії цього потоку йонів синтезуються молекули АТФ. Принцип дії АТФ-синтетази можна пояснити за аналогією із роботою гідроелектростанції. На гідроелектростанції запасання енергії відбувається шляхом накопичення води в резервуарі, як йони H^+ накопичуються в міжмембранному просторі. Спуск води крізь турбіну супроводжується виробленням електричної енергії. У нашому випадку такою «турбіною» є білок АТФ-синтетаза, що забезпечує синтез АТФ. За рахунок накопичених йонів, які утворюються в результаті розщеплення однієї молекули глюкози, АТФ-синтетаза може забезпечити синтез 32 молекул АТФ. Тож ефективність роботи цього механізму набагато вища, ніж гліколізу або циклу Кребса.

Нам залишилося з'ясувати долю електронів атомів Гідрогену, про які йшлося раніше. Вони транспортуються ланцюжком функціонально поєднаних білків — від одного до іншого. Останній з-поміж них забезпечує взаємодію транспортованих електронів із молекулами кисню (О) та йонами H^+, які зрештою повертаються до матриксу. У результаті такої взаємодії утворюються молекули води (іл. 68.VI).

Іл. 68. Процеси аеробного етапу енергетичного обміну



Створіть просвітницький проєкт «Нобелівська премія 1978 року. Розкриття механізму синтезу мітохондріями молекули АТФ Пітером Деннісом Мітчеллом».

Оскільки в цих реакціях поглинається кисень, такий ланцюг білків ще називають дихальним.

Реакції енергетичного обміну подібні в усіх організмів. Як ви знаєте, мітохондрії властиві всім евкаріотичним клітинам (окрім тих організмів, що існують у безкисневому середовищі). Навіть в аеробних прокаріотів, які не мають таких органел, відбуваються схожі процеси. При цьому для накопичення йонів H^+ вони використовують позаклітинний простір, а їхня АТФ-синтетаза вбудована в плазматичну мембрану.

Біологічне значення енергетичного обміну. Унаслідок повного окиснення однієї молекули глюкози утворюються вода та вуглекислий газ і відбувається синтез 38 молекул АТФ. Сумарно цей процес можна представити рівнянням:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + E,$$

де E — енергія, що виділяється та акумулюється в АТФ.

Початкові стадії розщеплення глюкози відбуваються без участі кисню, але їх енергетичний вихід порівняно низький. У деяких організмів, нездатних до подальшого аеробного перетворення піровиноградної кислоти, вона може перетворюватися на інші речовини — молочну, етанову (оцтову) кислоти або ж етиловий спирт. Ці процеси використовує людина, зокрема, для виготовлення харчових продуктів (іл. 69). Аеробні процеси, пов'язані з використанням кисню, відбуваються всередині мітохондрій. Під час цих реакцій утворюється набагато більше молекул АТФ, ніж на безкисневому етапі. Тому більшість організмів використовують саме аеробний спосіб енергетичного обміну, а отже, потребують для життєдіяльності кисню.

Іл. 69. Харчові продукти: а — молочнокислі продукти; б — консервовані фрукти; в — хліб



а б в

1. Дайте означення поняття *енергетичний обмін*. **2.** Що таке підготовчий етап та де він відбувається? **3.** Схарактеризуйте процес гліколізу. **4.** Схарактеризуйте процес аеробного дихання. **5.** Чому більшість організмів використовують аеробний спосіб енергетичного обміну?

§ 17. Фотосинтез та його планетарна роль



Які організми належать до автотрофних?
Яка будова хлоропласта?

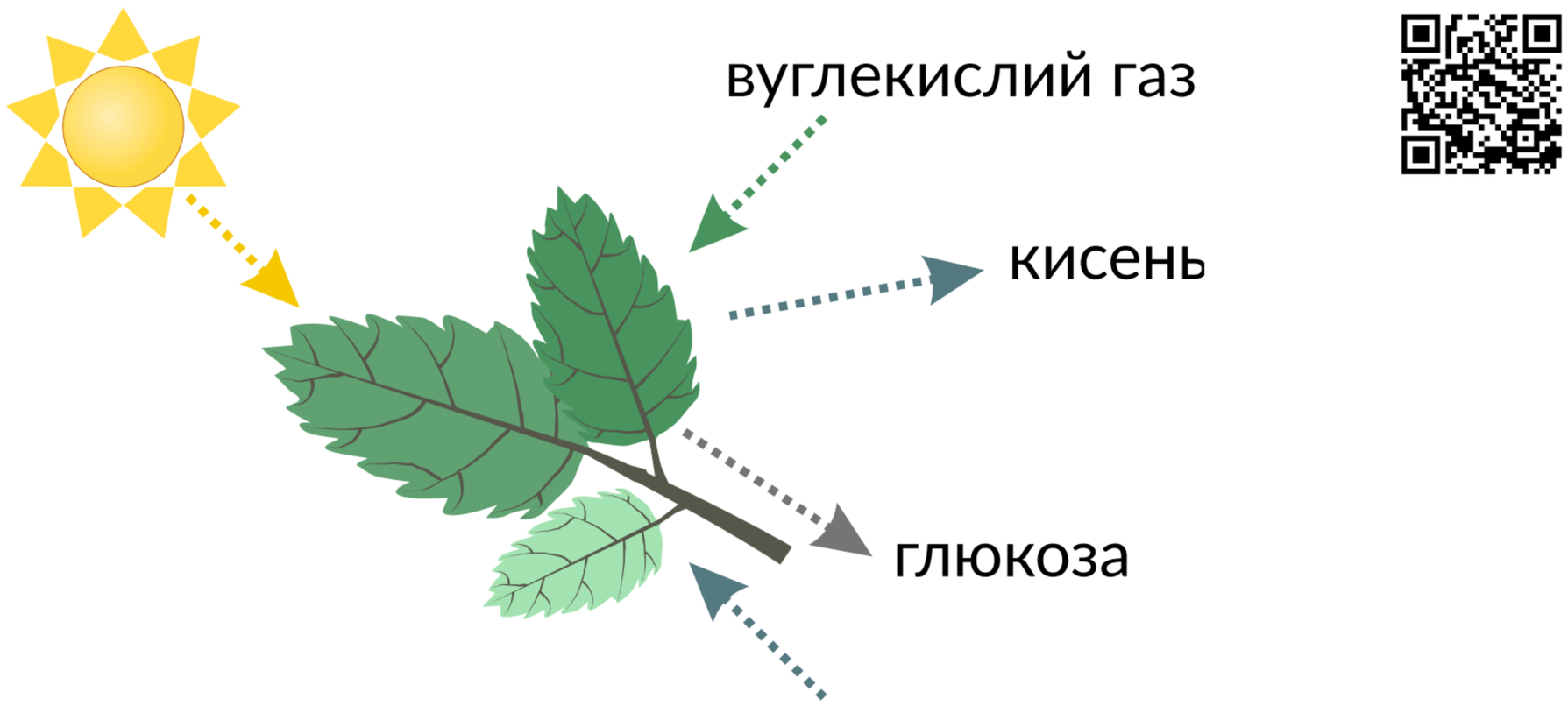
Оскільки автотрофні організми є джерелом органічних речовин, вони мають вирішальне значення для існування життя на Землі. Для синтезу таких сполук необхідна енергія. Існують два основні джерела енергії, доступні для організмів, — сонячне випромінювання і хімічні реакції. Зважаючи на доступність сонячного світла на більшій частині нашої планети, саме фототрофи стали найпоширенішими автотрофними організмами.

Процес утворення клітинами органічних речовин із неорганічних за участю світла називають **фотосинтезом** (іл. 70).

До фотосинтезу здатні рослини, водорості та деякі прокаріоти. Розглянемо його перебіг у зелених рослин. У рослинній клітині реакції фотосинтезу відбуваються в хлоропластах. Фотосинтез — складний, багатоетапний фізико-хімічний процес. У ньому виділяють дві фази: світлову й темнову.

Світлова фаза фотосинтезу. Реакції у цій фазі відбуваються лише за участю світлової енергії на мембранах тилакоїдів — пласких мішечків, розташованих усередині хлоропластів. Молекулами, необхідними для світлових реакцій, є фотосинтезувальні пігменти. Головний пігмент фотосинтезу — хлорофіл. Молекула хлорофілу складається з довгого «хвоста», який занурюється в мембрану тилакоїду, та складної за структурою

Іл. 70. Загальна схема фотосинтезу





Підготуйте повідомлення про штучний фотосинтез.



Проведіть дискусію щодо штучного фотосинтезу: в яких галузях сучасного чи майбутнього життя людства він стане в нагоді, чи зможе колись повністю замінити природний?

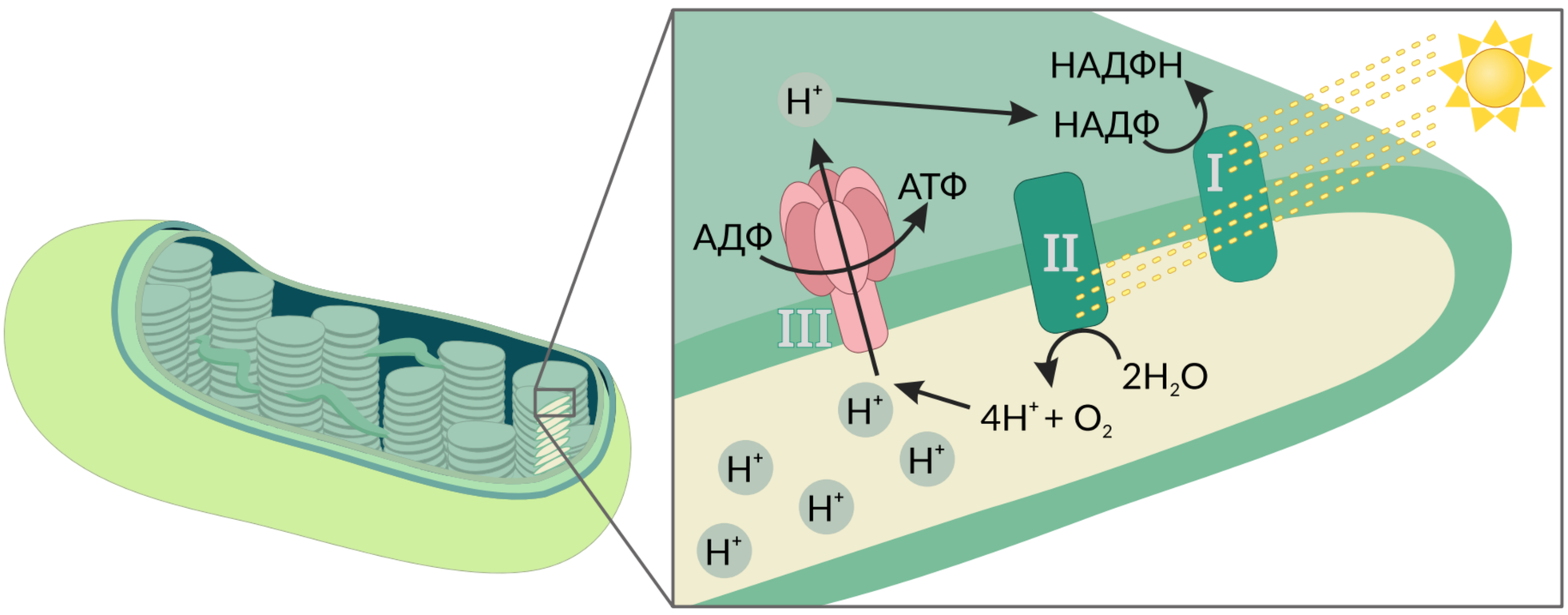
кільцевої частини, що містить усередині йон Магнію Mg^+. Хлорофіл має зелене забарвлення, інші фотосинтезувальні пігменти забарвлені в кольори жовто-червоної частини спектра. У більшості рослин хлорофіл переважає кількісно, тому різні їх частини зеленого кольору. Коли восени хлорофіл руйнується, то переважає забарвлення інших пігментів (згадайте забарвлення осіннього листя).

Хлорофіл функціонує у комплексі з іншими пігментами. Разом вони утворюють фотосинтетичну систему (фотосистему). Фотосистема вловлює кванти світла, поглинає їхню енергію та за її рахунок здійснює певні хімічні реакції. Існують два типи фотосистем, що позначаються як фотосистема-I (ФС-I) та фотосистема-II (ФС-II).

Процес поглинання світла розпочинається з уловлювання квантів світла пігментами ФС-II, унаслідок чого молекула хлорофілу отримує додаткову енергію, тобто збуджується. У результаті з хлорофілу «вибивається» електрон. Його підхоплюють спеціалізовані білки мембрани тилакоїду й транспортують до ФС-I (розглянемо цей процес пізніше).

Молекула хлорофілу не може тривалий час залишатися без електрона, тому вона «відбирає» його в молекули води. Такий процес називають фотолізом, оскільки він потребує енергії квантів світла (*фото*) та приводить до розщеплення молекули води (*лізис*). Атоми Оксигену О молекули води H_2O, утративши по два електрони, сполучаються із такими самими атомами, утворюючи молекулярний кисень O_2, який шляхом дифузії виділяється із рослинної клітини. Саме завдяки цьому рослини на світлі виділяють кисень (іл. 71.II). Йони Гідрогену H^+, що залишилися після розщеплення молекули води,накопичуються всередині тилакоїду. Під дією

Іл. 71. Процеси світлової фази фотосинтезу: I — ФС-I, II — ФС-II, III — АТФ-синтетаза



Узагальніть прочитане.

1. На мембранах якої структури відбувається світлова фаза?

2. Молекула якої речовини виділяється з клітини внаслідок світлової фази?

3. У хімічних зв’язках яких сполук накопичується світлова енергія?

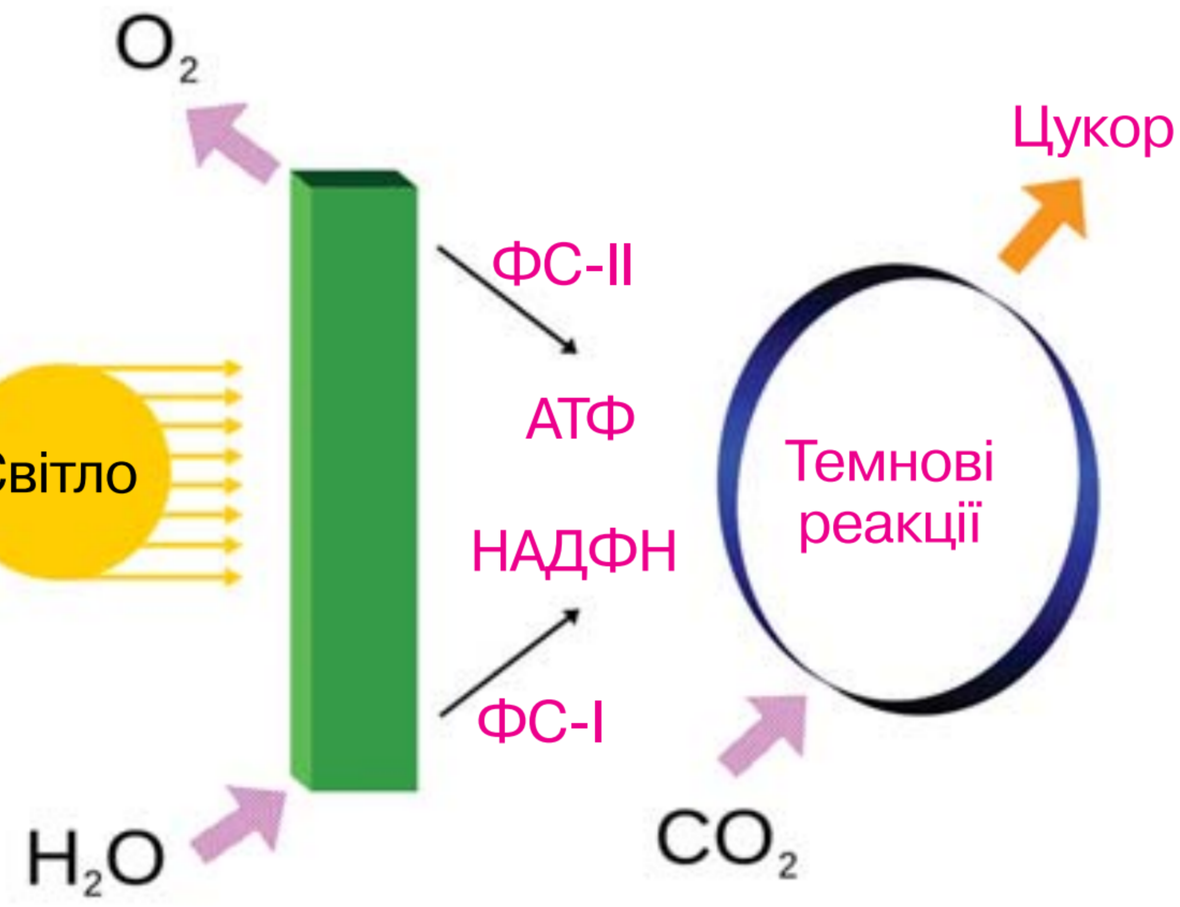
сонячного світла розщеплюється все більше молекул води, утворюється все більше кисню та накопичується все більше йонів H^+. Далі спеціалізований білок АТФ-синтетаза (іл. 71.III) забезпечує пасивне транспортування йонів H^+ з тилакоїду в строму хлоропласта. За рахунок енергії потоку цих йонів синтезуються молекули АТФ (подібно до того, як це відбувається в мітохондріях). Надалі синтезована АТФ використовується для перебігу реакцій темнової фази.

Наступний етап фотосинтезу пов'язаний із роботою фотосистеми-I (іл. 71.I). Вона, подібно до ФС-II, уловлює кванти світла, молекула хлорофілу отримує додаткову енергію, і з хлорофілу ФС-I також «вибивається» електрон. Спеціалізовані білки транспортують його до особливого нуклеотиду — НАДФ (функціонально він подібний до НАД, який працює в мітохондріях). Цей нуклеотид приймає транспортований електрон, який сполучається з йоном Н зі строми хлоропласта з утворенням атома Гідрогену, що буде брати участь у реакціях темнової фази. Вакантне ж місце електрона у ФС-I займає електрон, що надійшов від ФС-II.

Темнова фаза фотосинтезу. Кінцевим результатом реакцій світлової фази фотосинтезу є запасання енергії у формі молекул АТФ та накопичення атомів Гідрогену. Ці речовини беруть участь у реакціях темнової фази, які відбуваються в стромі хлоропласта постійно й не потребують світла (іл. 72).

Ви пам'ятаєте, що прості вуглеводи складаються з атомів Карбону, Гідрогену та Оксигену. Основною реакцією темнової фази є включення Карбону молекули вуглекислого газу (неорганічної сполуки) до складу молекули глюкози (органічної сполуки). Із вуглекислого газу до молекул вуглеводів також уключається Оксиген. Гідроген надходить зі світлової фази.

Іл. 72. Зв'язок між світловою та темновою фазами фотосинтезу



Яку енергію використовують рослини для реакцій темнової фази фотосинтезу?

Для перебігу реакцій темнової фази використовується енергія молекул АТФ, синтезованих у світловій фазі. Багаторазове повторення циклу таких реакцій приводить до утворення великої кількості молекул глюкози. Щоб запобігти надмірному накопиченню глюкози, клітини синтезують резервний вуглевод — крохмаль.

Біологічна роль фотосинтезу. Органічні речовини є основою функціонування організмів. Фотосинтез забезпечує утворення більшої частини органічної речовини на нашій планеті. Важливим наслідком цього процесу є утворення кисню, необхідного для дихання більшості організмів.

Сумарно цей процес можна представити рівнянням:

$$6CO_2 + 6H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

В атмосфері на висоті близько 25 км під дією сонячного випромінювання з нього утворюється озон, який затримує згубні для живого ультрафіолетові промені. Завдяки збагаченню атмосфери Землі киснем близько 2,5 млрд років тому фотосинтез сприяв суттєвим змінам тодішніх екосистем, надавши поштовх розвитку сучасних форм життя. Це уможливило опанування організмами суходолу.

В атмосфері Землі вуглекислий газ становить 0,04 % від об'єму повітря. Ця величина є сталою протягом тривалого часу, незважаючи, що безліч організмів у процесі дихання виділяють вуглекислий газ. Ще більше його виділяється при гнитті й руйнуванні решток організмів, під час виверження вулканів, пожеж, спалювання палива. Усю цю величезну кількість вуглекислого газу поглинають зелені рослини в процесі фотосинтезу.

Багато вчених присвятили своє життя вивченню фотосинтезу, проте нерозкриті таємниці чекають дослідників і дослідниць сучасності (іл. 73).

Іл. 73. Мелвін Елліс Кальвін — дослідник темнової фази фотосинтезу



Мелвін Елліс Кальвін (1911–1997)

Створіть просвітницький проєкт про відкриття вченого.

1. Дайте означення поняття *фотосинтез*. **2.** Які процеси відбуваються на етапі світлової фази фотосинтезу? **3.** Які результати темнової фази фотосинтезу? **4.** Поясніть значення фотосинтезу для життя на Землі. **5.** Як ви розумієте вислів «*Рослина — посередник між небом і землею*»?

§ 18. Хемосинтез та його біологічна роль



Що таке фотосинтез?

Фотосинтез є основним, але не єдиним джерелом синтезу органічних сполук на нашій планеті. Для утворення органічних сполук із неорганічних необхідні два складника: джерело речовин, із яких будуватимуться молекули, та джерело енергії для забезпечення цього процесу. Органічні речовини — вуглеводи, що складаються з Карбону, Оксигену й Гідрогену, можна утворити з вуглекислого газу й води. Більшою проблемою є джерело енергії. Фотосинтезувальні організми розв'язують її, засвоюючи енергію сонячного випромінювання. Іншим потенційним джерелом є енергія екзотермічних реакцій.

Процес утворення органічних сполук із неорганічних за рахунок енергії хімічних реакцій називають **хемосинтезом**. Відкрив це явище український учений Сергій Виноградський (іл. 74). Обидві групи — фототрофи й хемотрофи — об'єднують у групу автотрофних організмів.

Різноманітність хемотрофів (хемосинтетиків). Організми, здатні засвоювати енергію хімічних реакцій, належать до бактерій. Перелічимо кілька реакцій, що відбуваються за участі бактерій, у яких виділяється достатня для синтезу органічних сполук кількість енергії.

Залізобактерії окиснюють двовалентний Ферум до тривалентного. У результаті утворюється залізна руда. Сіркобактерії окиснюють Сульфур сірководню до молекулярної сірки. Тіонові бактерії також перетворюють сполуки Сульфуру, окиснюючи молекулярну сірку, сульфіти

Іл. 74. Сергій Миколайович Виноградський (1856–1953)



Явище хемосинтезу було відкрито в 1890 році. Учений народився та закінчив гімназію у Києві, навчався і працював, зокрема, в університетах Страсбурга (Франція), Цюріха (Швейцарія). До відкриття хемосинтезу вважали, що фотосинтез зелених рослин є єдиним джерелом утворення органічних речовин, що було спростовано науковцем



Проведіть дискусію щодо переваг та недоліків хемо- та фототрофів у забезпеченні людей їжею під час тривалих космічних польотів.

або сульфіди до сульфатів. Ці організми існують у дуже кислому середовищі. Водневі бактерії окиснюють молекулярний водень до води. Нітрифікувальні бактерії здатні окиснювати амоніак, який виділяється під час гниття органічних речовин, до нітритів та нітратів.

Отже, спектр перетворюваних хімічних речовин є досить широким. Проте функціонування цих організмів має ряд спільних ознак. Так, енергія, що виділяється в описаних вище реакціях, не використовується безпосередньо для синтезу органічних сполук. На першому етапі вона акумулюється у зв'язках молекул АТФ і лише потім використовується для синтезу органічних речовин із неорганічних. Ця особливість є спільною ознакою хемосинтезу й фотосинтезу.

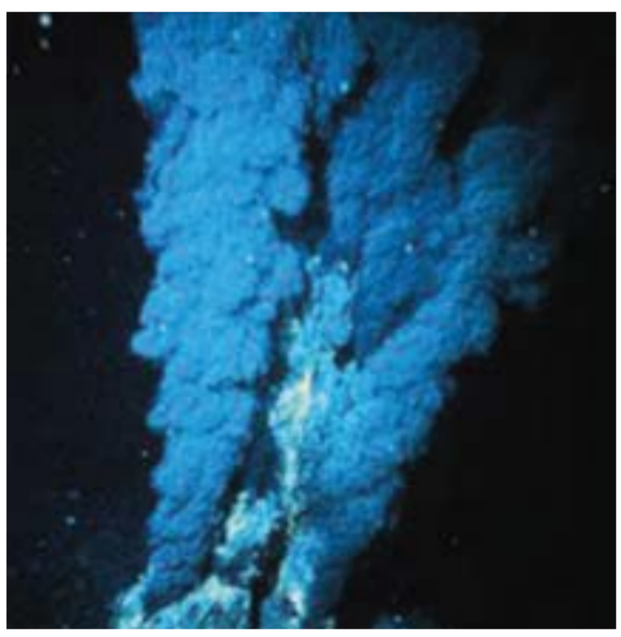
Біологічна роль хемосинтезу. Загальна кількість органічних сполук, продукованих хемосинтетиками, є меншою, ніж утворених у результаті фотосинтезу, однак ці організми дуже важливі для колообігу речовин в екосистемах. Важливе значення мають нітрифікувальні бактерії, які перетворюють Нітроген амоніаку на доступні для рослин нітрати та нітрити. Нітроген — обов'язковий компонент білків, нуклеїнових кислот і деяких фосфоліпідів, а отже є необхідним для функціонування клітин. Через те доступність Нітрогену для рослин має вирішальне значення для синтезу амінокислот, нуклеотидів, фосфоліпідів та інших нітрогеновмісних сполук.

Хемосинтезувальні організми забезпечують життєдіяльність екосистем у регіонах із недостатньою кількістю сонячного світла (іл. 75). Найбільш цікавими є екосистеми так званих «чорних курців». Вони розташовані в глибоководних регіонах Тихого океану, на дні яких відкриваються гідротермальні джерела з високою концентрацією сполук Сульфуру, що надають їм характерного забарвлення.

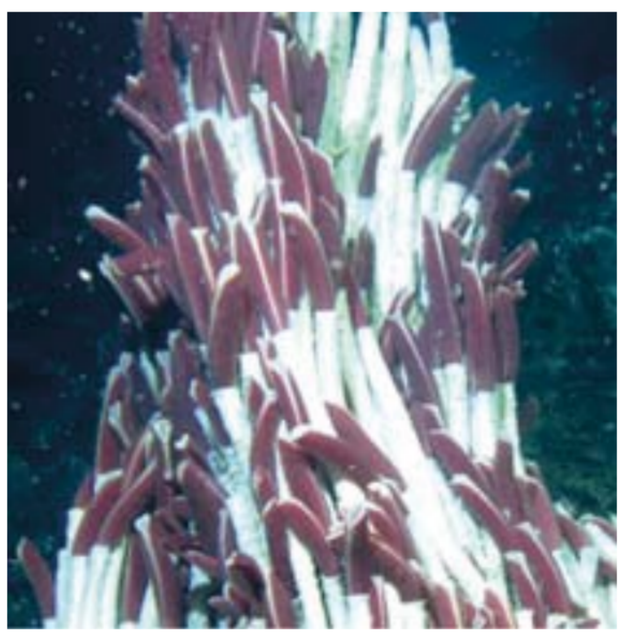
Іл. 75. Хемосинтезувальні прокаріоти в екосистемах: а — водойма із залізобактеріями; б — екосистема «чорних курців»; в — за рахунок сіркобактерій живиться кільчастий черв — рифтія



а



б



в

1. Дайте означення поняття *хемосинтез*. **2.** Які організми можуть використовувати енергію хімічних реакцій для живлення? **3.** Поясніть біологічну роль хемосинтезу.

§ 19. Загальні принципи перетворення речовин у клітинах



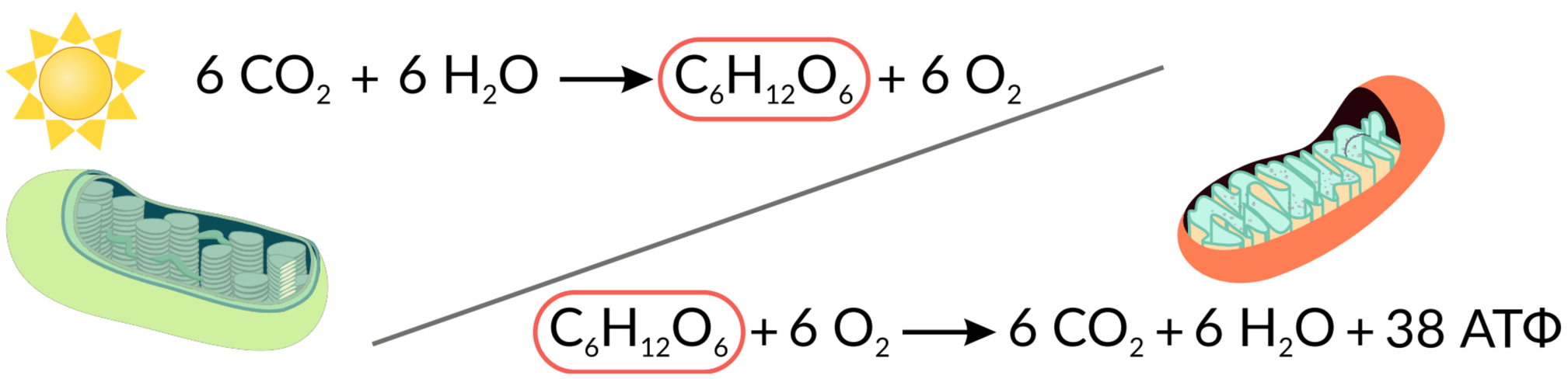
Що таке обмін речовин?
Яке значення мають вуглеводи, білки, ліпіди й нуклеїнові кислоти для життєдіяльності клітини?

Життєдіяльність клітин неможлива без органічних сполук. Основним процесом, що забезпечує організми нашої планети органічними речовинами, є фотосинтез, під час якого утворюються вуглеводи. Ви вже ознайомилися із реакціями фотосинтезу та розщеплення вуглеводів, тож взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну в клітині стає для вас більш зрозумілим (іл. 76).

Клітинам необхідні також білки, ліпіди та нуклеїнові кислоти. Для того щоб забезпечити організм усіма необхідними речовинами, відбуваються біохімічні перетворення одних сполук на інші: здійснюються численні хімічні реакції, у яких активну участь беруть ферменти. Для цих реакцій характерна черговість, коли продукт однієї реакції стає субстратом іншої. Ми розглянемо лише загальні принципи перетворень речовин у клітинах.

У клітинах постійно утворюються і розщеплюються полімерні сполуки. Процеси синтезу макромолекул є складниками пластичного обміну. Розщеплення полімерів до мономерів може бути підготовчим етапом енергетичного обміну. Наприклад, якщо глюкоза надходить у надлишку, синтезуються резервні полісахариди, які розщеплюються з утворенням глюкози, коли клітині потрібно більше енергії. Із амінокислот клітини синтезують білки (іл. 77). Час існування утвореної молекули білка становить

Іл. 76. Взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну (рослинна клітина)





Проаналізуйте схему. Дайте відповіді на запитання.
1. Унаслідок якого процесу з неорганічних сполук утворюються органічні? **2.** Яку енергію використовують рослини для утворення вуглеводів? **3.** Під час якого процесу розщеплюються органічні речовини до неорганічних? **4.** Унаслідок якого процесу енергія, що вивільняється, запасається в молекулах АТФ?



Складіть казку про подорож атома Карбону під час обміну речовин у рослинному організмі.

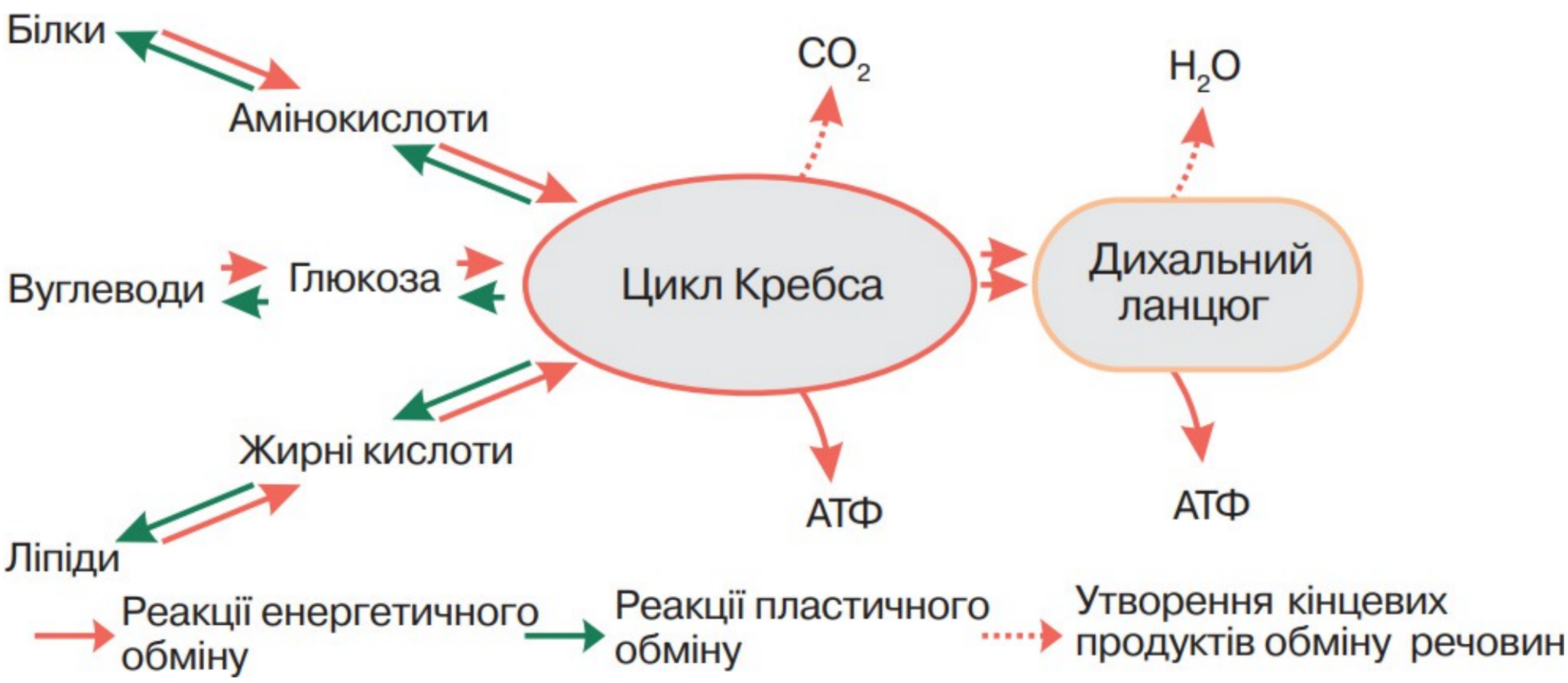
від кількох хвилин до кількох діб. Далі «старі» молекули розщеплюються до амінокислот, які використовуються для синтезу нових. У клітинах постійно відбувається оновлення складу білків. Порушення цього процесу призводить до накопичення «старих» білків та може стати причиною захворювання.

Більшість органічних сполук розщеплюються з вивільненням енергії. Основними джерелами енергії у клітині здебільшого є вуглеводи й жири. Процес енергетичного обміну, аналогічний розщепленню глюкози, відбувається і під час окиснення інших речовин, зокрема жирних кислот та амінокислот. Проте слід пам'ятати, що білки повністю розщеплюються для постачання організму енергії лише в разі нестачі інших енергетичних сполук (іл. 77).

Речовини однієї хімічної природи можуть перетворюватися на речовини іншої хімічної природи. Наприклад, під час розщеплення глюкози утворюється піровиноградна кислота, яка потім у циклі Кребса перетворюється на інші органічні кислоти. Якщо до них приєднується аміногрупа, синтезуються амінокислоти. У результаті хімічного перетворення амінокислот можуть утворюватися нітрогеновмісні основи, які є компонентами нуклеотидів. Із органічних кислот згаданого циклу також синтезуються жирні кислоти, необхідні для утворення молекул жирів та фосфоліпідів. Отже, процесом, що об'єднує обмін вуглеводів, білків і ліпідів, є цикл Кребса (іл. 77).

Для функціонування клітин важлива узгодженість реакцій обміну речовин. Так, якщо з їжею надходить надмірна кількість вуглеводів, то молекули, які не використані для виділення енергії, перетворюються на жири й відкладаються в жировій тканині. Це призводить до розвитку ожиріння, а також підвищує ризик розвитку цукрового діабету. І навпаки — тривала нестача в їжі вуглеводів та інших джерел енергії (голодування) призведе до розщеплення білків, унаслідок чого порушуватимуться функції організму.

Іл. 77. Схема перетворення речовин у клітині



1. Дайте означення поняття *обмін речовин*. **2.** Поясніть взаємозв'язок пластичного та енергетичного обміну на прикладі рослинної клітини. **3.** Схарактеризуйте загальні принципи перетворення речовин у клітині.

§ 20. Клітинний цикл. Мітоз



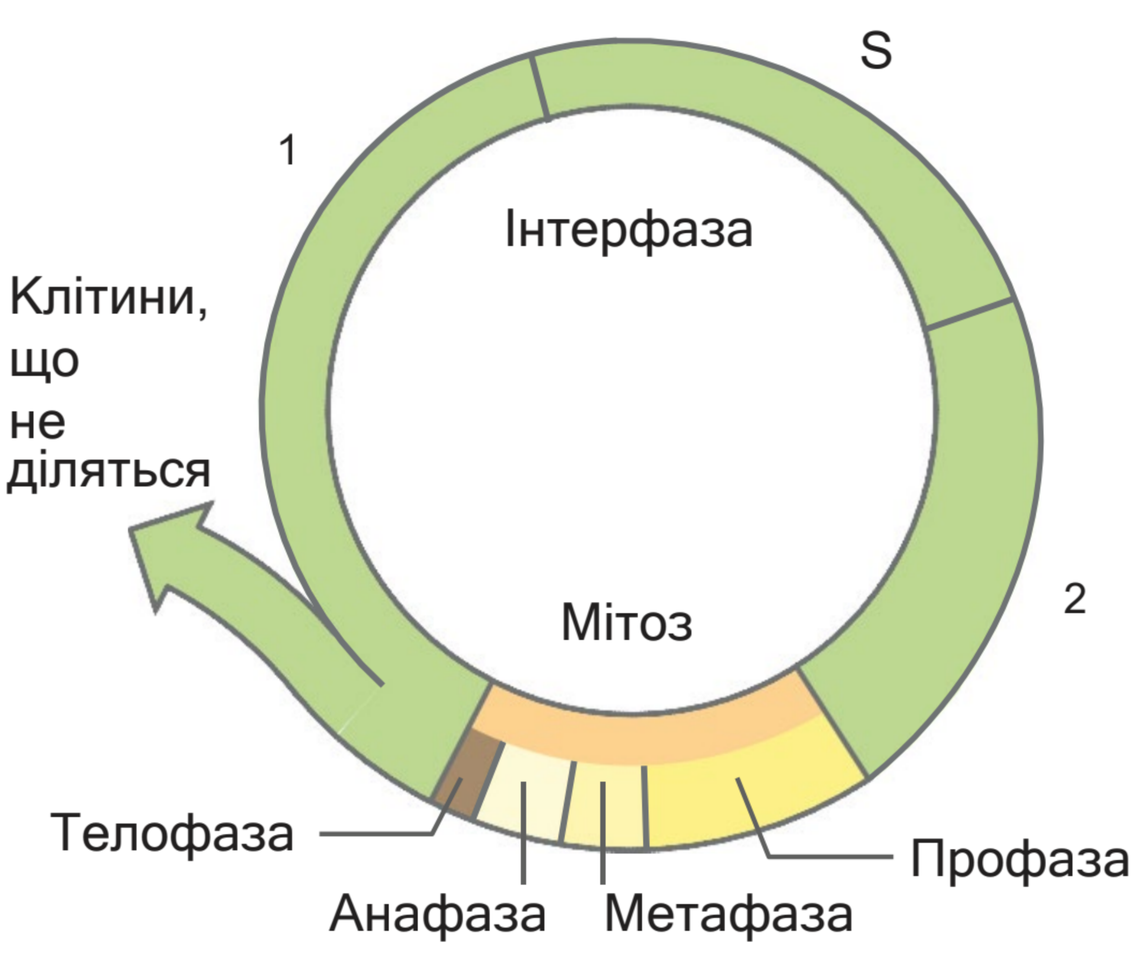
Що таке конденсація хроматину, хромосома, хроматида, центромера?
Як відбувається нестатеве розмноження?
За рахунок чого відбувається ріст?

Клітинний цикл. Ви вже знаєте, що розмноження, ріст організмів зумовлені поділом клітин. Клітини можуть знову поділятися, старі ж клітини відмирають.

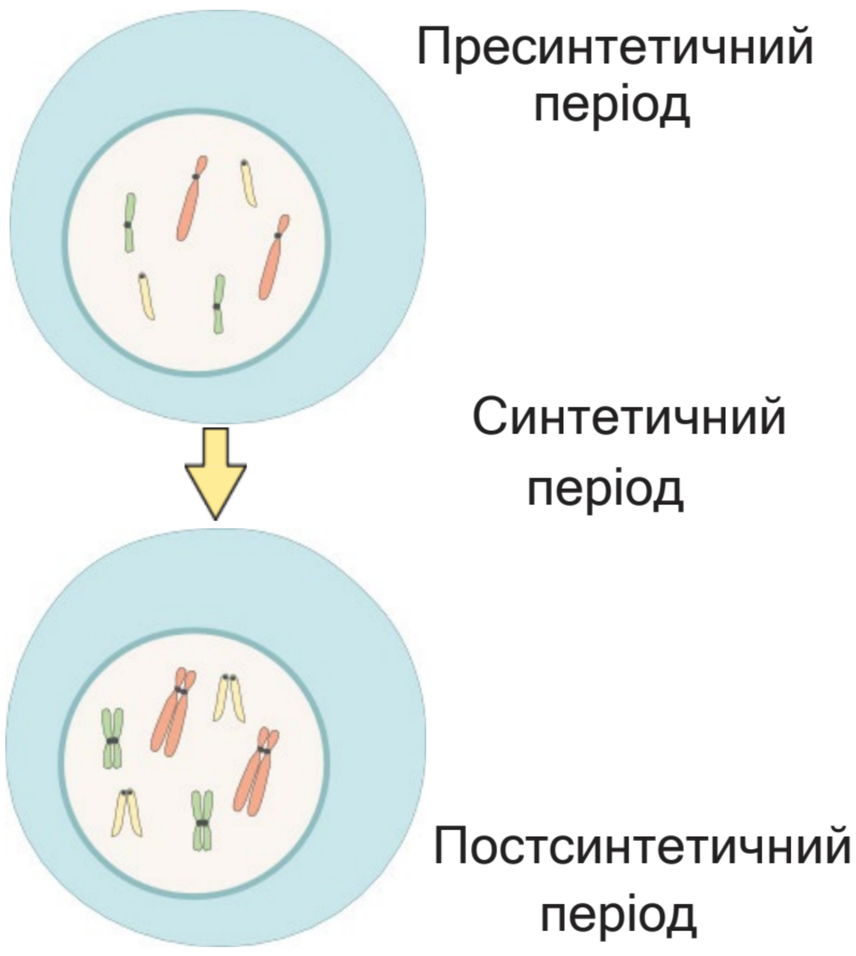
Період існування клітини від початку одного поділу до наступного або від початку останнього поділу клітини до її загибелі називають **клітинним циклом**.

Клітинний цикл складається з власне поділу та інтерфази — періоду від утворення клітини до початку наступного поділу. В інтерфазі виокремлюють три періоди — пресинтетичний, синтетичний та постсинтетичний. Найтриваліший період — пресинтетичний (G_1), під час якого клітини ростуть, утворюють потрібні для життєдіяльності речовини, запасають енергію. У цей період збільшується кількість органел клітин. Важливим є синтетичний період (S), під час якого утворюються копії молекул ДНК клітини, тобто відбувається реплікація (іл. 78). Утворені ідентичні дочірні молекули ДНК залишаються сполученими одна з одною. Вони є основою двох хроматид, з'єднаних в області центромери (іл. 79). Крім утворення копій ДНК у клітині відбувається подвоєння центріолей клітинного центру. У постсинтетичний період (G_2) тривають накопичення енергії, синтез РНК і білків. Періоди, із яких складається інтерфаза, тривають до 90% часу всього клітинного циклу.

Іл. 78. Клітинний цикл



Іл. 79. Подвоєння ДНК



Який період інтерфази триває найдовше?

Поясніть відмінність у будові хромосом у різні періоди інтерфази.

Мітоз — це спосіб поділу евкаріотичних клітин, за якого з однієї материнської клітини утворюються дві дочірні, що є її генетичними копіями.

Мітоз поділяють на чотири фази. Існує кілька варіацій цього процесу. Ми розглянемо найтиповішу для тварин (іл. 80).

Під час профази починає конденсуватися хроматин, формуються Х-подібні хромосоми. Центріолі клітинного центру починають розходитися до протилежних полюсів клітини. Формуються мікротрубочки, сукупність яких називають веретеном поділу. Одним кінцем вони сполучені з клітинним центром, іншим — із центромерами хромосом. Кожна хромосома сполучена з обома клітинними центрами. Далі ядерна оболонка розпадається на дрібні мембранні пухирці, зникають ядерця.

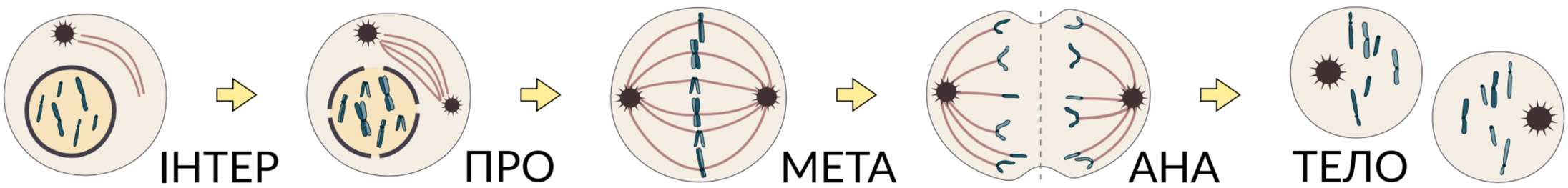
Упродовж метафази внаслідок формування веретена поділу кожна хромосома розташовується на однаковій відстані від клітинних центрів, тобто в серединній, «екваторіальній» площині клітини.

Анафаза є найкоротшою поміж фаз мітозу. Парні хроматиди, що утворюють хромосому, розділяються і починають рухатися за допомогою мікротрубочок веретена поділу до різних полюсів клітини. Згадайте, що хроматиди утворені однаковими молекулами ДНК. Через те під час анафази до кожного полюса клітини прямує по одній копії кожної молекули ДНК материнської клітини. Це дуже важливо для рівномірного розподілу генетичного матеріалу між дочірніми клітинами.

Під час телофази — заключної фази мітозу, дочірні хромосоми, що складаються з однієї хроматиди, досягають двох полюсів клітини. Навколо них формується ядерна оболонка. Далі відбувається поділ цитоплазми та формування двох нових клітин (іл. 80).

Біологічна роль мітозу полягає у точному передаванні спадкової інформації від материнської клітини дочірнім.

Іл. 80. Схема мітозу



Сформулюйте мету лабораторного дослідження, запишіть необхідне обладнання та досліджуваний об’єкт. Виконайте лабораторне дослідження.

Вивчення фаз мітозу (на прикладі клітин кореня цибулі)

Перебіг роботи

1. Розгляньте мікропрепарат «Мітоз у корені цибулі» за допомогою оптичного мікроскопа.
2. Знайдіть клітини, що перебувають у різних фазах мітозу.
3. Замалюйте клітини на сторінці робочого зошита.
4. Порівняйте з наведеною схемою.

1. Дайте означення понять *клітинний цикл, мітоз*. **2.** Опишіть процеси, що відбуваються під час мітозу. **3.** Поясніть біологічну роль мітозу.

§ 21. Мейоз та його біологічна роль



Які організми називаються гаплоїдними й диплоїдними?

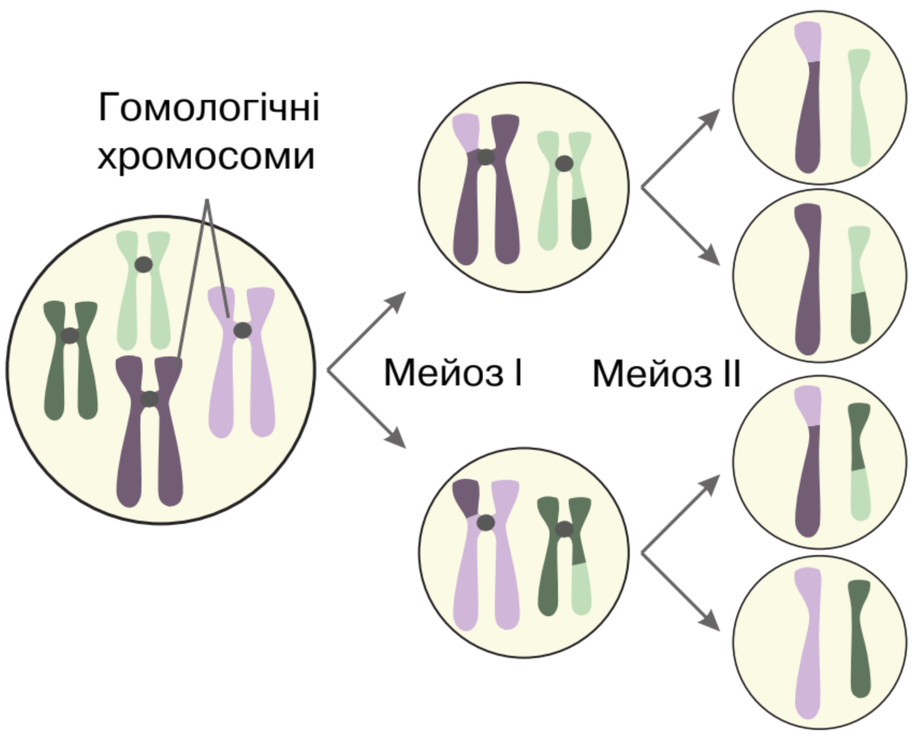
Мітоз не єдиний спосіб поділу евкаріотичних клітин. Ви знаєте, що багато організмів здатні до розмноження за участю статевих клітин. Під час запліднення статеві клітини зливаються і утворюють клітину з характерною для даного виду кількістю ДНК. Тому утворення статевих клітин відбувається внаслідок іншого процесу, який називають мейозом. Унаслідок мейозу з диплоїдної клітини утворюються гаплоїдні клітини (іл. 81).

Мейоз — тип клітинного поділу, за якого вдвічі зменшується число хромосом (кількість молекул ДНК).

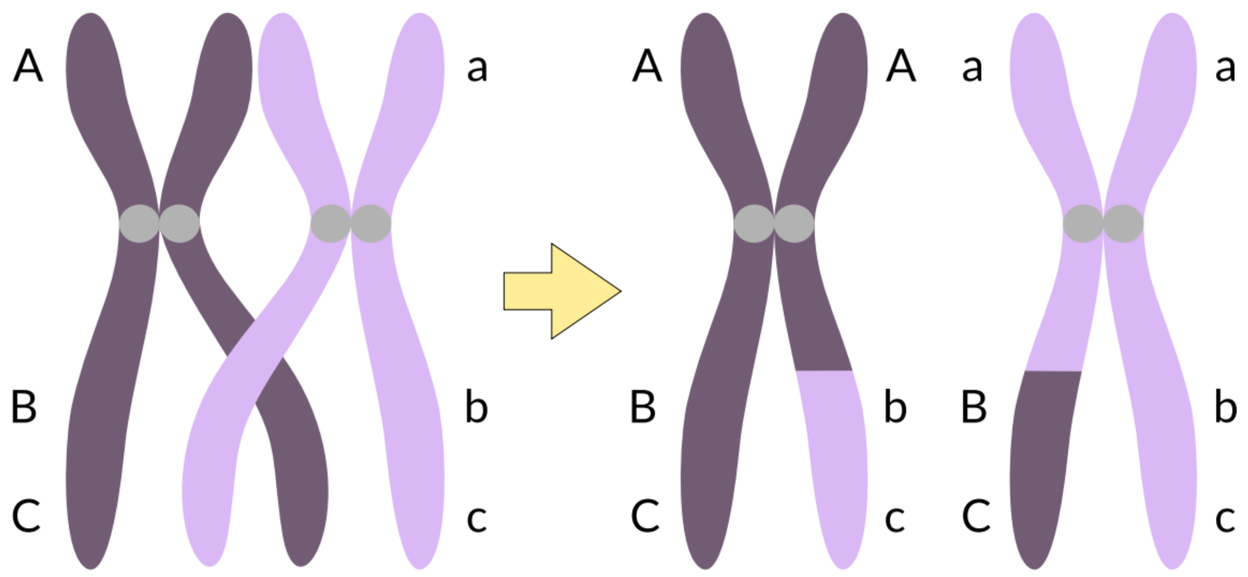
Порівняно із мітозом мейоз відбувається шляхом двох послідовних поділів клітини. В інтерфазі, що передує початку мейозу, як і під час мітозу, відбувається реплікація, тобто клітина вступає в мейоз із удвічі збільшеною кількістю молекул ДНК в ядрі.

Перший поділ мейозу. У профазі I мейозу, як і під час профази мітозу, хроматин починає конденсуватися, формуються Х-подібні хромосоми, центріолі клітинного центру починають розходитися до протилежних полюсів клітини, формується веретено поділу, руйнується ядерна оболонка. Важливою відмінністю профази I є процес, який називають **кросинговером**. Під час цього процесу гомологічні хромосоми наближаються одна до одної, після чого між ними відбувається обмін подібними ділянками (іл. 82). Ви знаєте, що хромосоми містять гени, розташовані в певній послідовності. Унаслідок кросинговеру утворюються нові комбінації різних

Іл. 81. Загальна схема мейозу



Іл. 82. Рекомбінація ДНК під час кросинговеру



Букви A, B, C позначають місця розташування трьох різних генів



Яка кількість гаплоїдних клітин утворилася під час мейозу?

Які зміни відбулися в будові хромосом унаслідок кросинговеру?

версій генів — відбувається рекомбінація. Рекомбінантні гени на ілюстрації позначено різними буквами — малими й великими. Після кросинговеру гомологічні хромосоми з'єднані попарно.

Щоб познайомитися з процесами під час мейозу, використаємо схему (іл. 83). Під час метафази I утворені в профазі I пари гомологічних хромосом «вишиковуються» в екваторіальній площині клітини. Порівняно із мітозом упродовж анафази I до полюсів поділу розходяться не хроматиди, а цілі хромосоми. Під час телофази I хромосоми досягають двох полюсів клітини, навколо них, як у мітозі, формується ядерна оболонка. Відбувається поділ цитоплазми й формуються дві нові клітини. Унаслідок рекомбінації дочірні клітини отримують не ідентичні, а дещо різні комбінації генів. Цим мейоз відрізняється від мітозу.

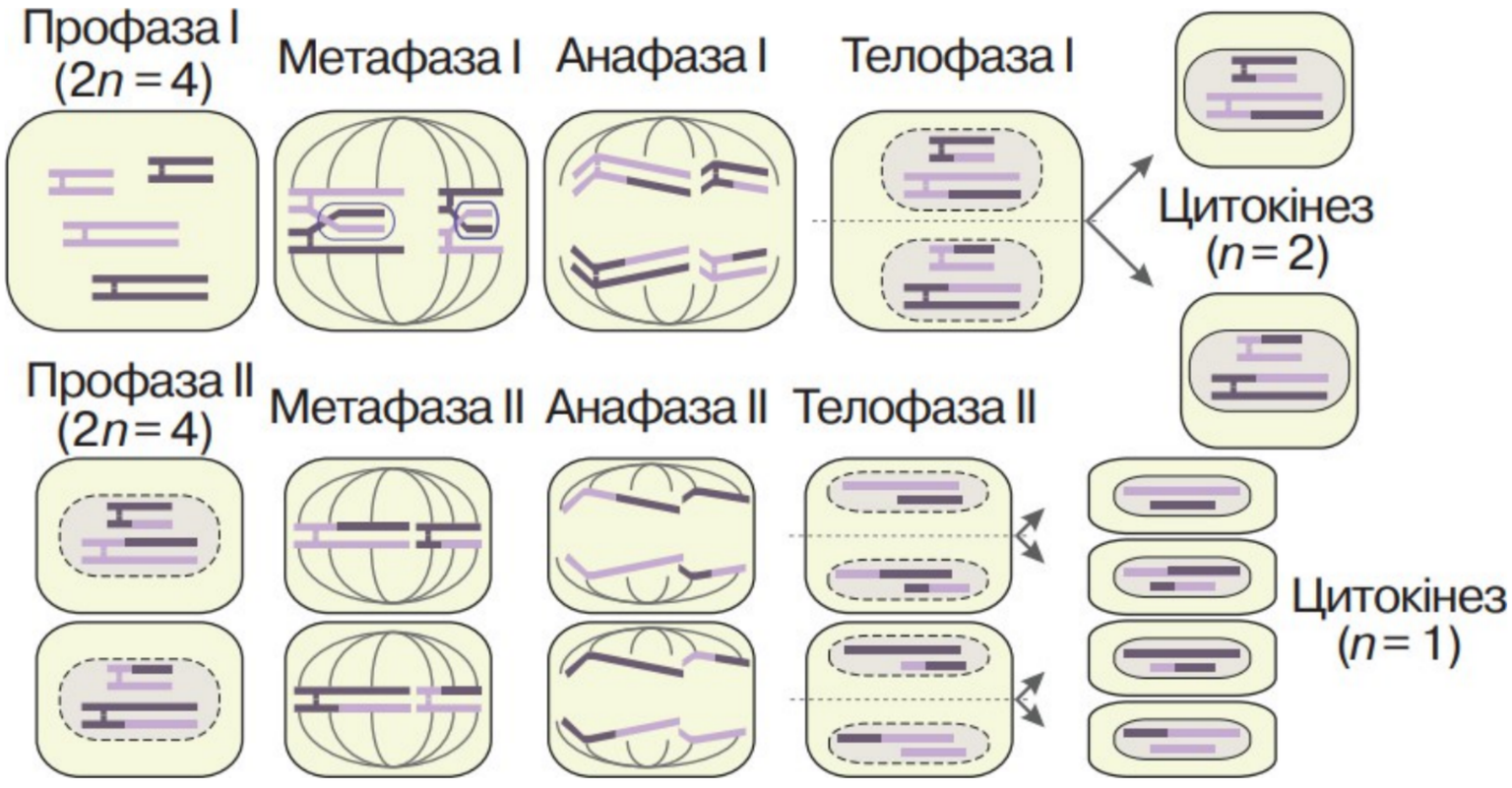
Другий поділ мейозу. Після завершення першого поділу дочірні клітини перебувають у короткому періоді спокою, після якого починається другий поділ. Важливим є те, що в цей час молекули ДНК не подвоюються. Другий поділ відбувається аналогічно мітозу.

Під час профази II відбувається конденсація хроматину, утворення хромосом, формування веретена поділу, руйнування ядерної оболонки. Метафаза II характеризується розташуванням двохроматидних хромосом по екватору клітини. Упродовж анафази II хроматиди розділяються (тепер вони дочірні хромосоми) і починають рухатися до полюсів поділу. Телофаза II характеризується формуванням ядер, поділом цитоплазми.

Унаслідок описаних процесів формуються чотири клітини з одинарним, гаплоїдним набором хромосом.

Біологічна роль мейозу полягає в зменшенні числа хромосом клітини, що необхідно для утворення статевих клітин. Рекомбінація ДНК під час кросинговеру урізноманітнює комбінації генів.

Іл. 83. Фази поділів мейозу



Підготуйте повідомлення про особливості мейозу в рослин і тварин.

1. Дайте означення поняття *мейоз.* **2.** Опишіть процес мейозу. **3.** Що таке кросинговер? **4.** Порівняйте процеси мітозу й мейозу. **5.** Поясніть біологічну роль мейозу.

Аналізуємо інформацію, робимо висновки

Ознайомтеся з інформацією та виконайте завдання

Еритроцити та АТФ-аза

Енергетичними молекулами клітини є АТФ. Фермент АТФ-аза забезпечує відщеплення від молекули АТФ третього залишку ортофосфатної кислоти, унаслідок чого вивільняється енергія. Клітини використовують отриману енергію, зокрема було досліджено, що молекула АТФ є «паливом» для роботи натрій-калієвого насоса клітинних мембран. Надалі постало питання: чи не містять клітинні мембрани спеціальної АТФ-ази? У 1957 році фермент Na^+-K^+-АТФ-азу було відкрито данським хіміком Йенсом Скоу, за що він отримав Нобелівську премію з хімії (1997 р.). Цікаві відомості щодо взаємозв'язку цього ферменту з роботою натрій-калієвого насоса були отримані на мембранах еритроцитів. Йонний склад еритроцитів людини відрізняється від плазми крові (див. таблицю), що свідчить про активну роботу насоса. У порівнянні зі вмістом еритроцитів людини, в еритроцитах собак та кішок багато йонів Натрію. Виявилося, що мембрани еритроцитів цих тварин не містять АТФ-азу, а людини містять.

Рідина	Na^+	K^+
Плазма крові	142	5
Цитоплазма еритроцита	19	136

Завдання 1. Позначте функцію, яку виконує в клітині АТФ-аза.

А рухова
Б захисна
В каталітична
Г транспортна

Завдання 2. Яке з поданих тверджень можна сформулювати на основі аналізування наведеної інформації?

А активність роботи натрій-калієвого насоса не залежить від наявності на клітинній мембрані АТФ-ази
Б робота натрій-калієвого насоса зумовлює переважання йонів Калію в плазмі крові людини
В наявність великої кількості йонів Натрію в еритроцитах кішок і собак свідчить про активну роботу натрій-калієвого насоса
Г робота натрій-калієвого насоса мембран еритроцитів людини пов'язана з наявністю спеціальної АТФ-ази

Завдання 3. Поясніть взаємозв'язок будови та функції молекули АТФ.

Самоконтроль рівня навчальних досягнень

Тестові завдання з однією відповіддю (0,5 бала)

1. Місце та перебіг біохімічних процесів з'ясовують за допомогою методу
   А мічених атомів
   Б центрифугування
   В світлової мікроскопії
   Г електронної мікроскопії

2. Позначте автотрофний організм

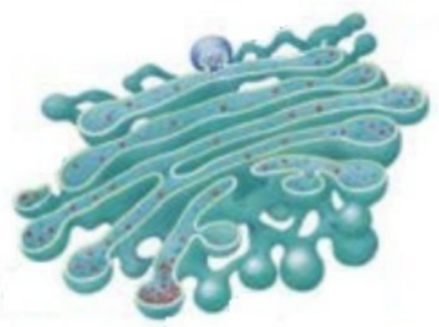
А 

Б 

В 

Г 

3. Функцією зображеної органели є
   А синтез молекул АТФ
   Б синтез вуглеводів і ліпідів
   В виведення з клітини надлишку води
   Г перетворення і транспортування речовин



4. Процес утворення органічних сполук із неорганічних за рахунок світлової енергії називають
   А гліколізом
   Б фотолізом
   В фотосинтезом
   Г хемосинтезом

5. Аеробний етап енергетичного обміну відбувається за участю мембран
   А хлоропластів
   Б мітохондрій
   В комплексу Гольджі
   Г ендоплазматичної сітки

6. На відміну від тваринної, рослинна клітина містить
   А лізосоми
   Б рибосоми
   В мітохондрії
   Г хлоропласти

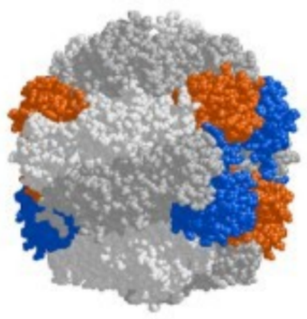
Тестові завдання з однією відповіддю (1 бал)

7. Спільною ознакою фотосинтезу та хемосинтезу є
   А засвоєння світлової енергії
   Б виділення кисню в атмосферу
   В розщеплення органічних речовин
   Г синтез органічних речовин із неорганічних

8. Прочитайте опис: «*Унаслідок повного розщеплення однієї молекули глюкози утворюються вода та* (1)*, а також відбувається синтез 38 молекул* (2)». Замість цифр необхідно вставити слова. Виберіть правильний варіант.

А 1 — піровиноградна кислота, 2 — АТФ
Б 1 — вуглекислий газ, 2 — АТФ
В 1 — піровиноградна кислота, 2 — кисню
Г 1 —вуглекислий газ, 2 — кисню

9. Найпоширенішим ферментом на Землі є RuBisCo (рибулозобісфосфат-карбоксилаза), модель якого наведено на ілюстрації. Саме він каталізує приєднання вуглекислого газу до складу молекули органічної сполуки. Це запускає подальші реакції, які призводять до утворення молекул глюкози.



У якому процесі бере участь цей фермент?

А світловій фазі фотосинтезу
Б темновій фазі фотосинтезу
В циклі Кребса
Г гліколізі

Тестові завдання з однією відповіддю (1,5 бала)

10. Учень та учениця на уроці обговорювали будову прокаріотичної клітини. Учень зазначив, що в прокаріотичній клітині немає ядра. Учениця зауважила, що прокаріотична клітина не містить молекул ДНК.

Чи має хтось із них рацію?

А лише учень
Б лише учениця
В обоє мають рацію
Г обоє помиляються

11. Проаналізуйте твердження щодо енергетичного обміну в клітині.

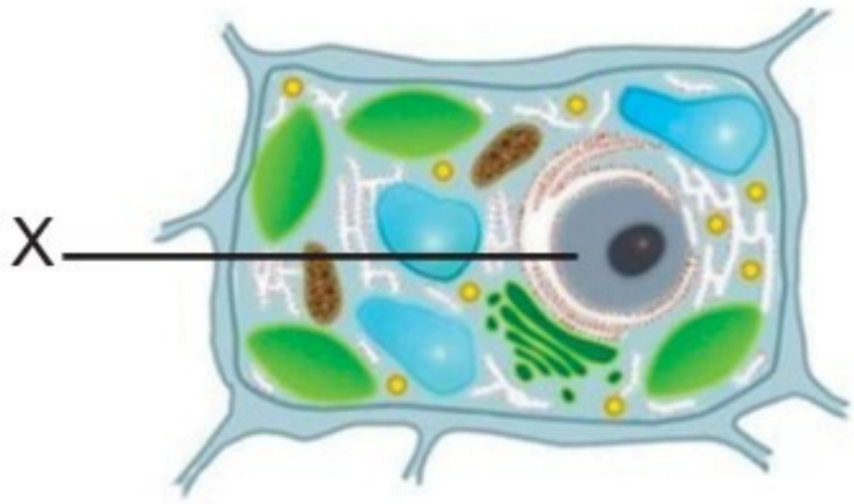
I. На етапі гліколізу відбувається розщеплення молекул глюкози.
II. У реакціях аеробного етапу утворюється набагато більше молекул АТФ, ніж під час гліколізу.

Чи є поміж них правильні?

А правильне лише I
Б правильне лише II
В обидва правильні
Г немає правильних

Тестове завдання з однією відповіддю в кожному стовпчику (3 бали)

12. Схарактеризуйте за наведеними ознаками складник клітини, позначений на ілюстрації буквою X.



Міститься в клітині

1 лише прокаріотів
2 лише евкаріотів
3 прокаріотів й евкаріотів

Містить

1 хромосоми
2 центріолі
3 тилакоїди

Функція

1 синтез вуглеводів і ліпідів
2 збереження спадкової інформації
3 накопичення і перетворення речовин

ТЕМА 3 ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ Й МІНЛИВОСТІ ОРГАНІЗМІВ

З історії відкриттів

Перші відомості про успадкування ознак отримано з повсякденних спостережень і медичної практики. Багато цінних спостережень за успадкуванням ознак у людей і тварин уміщено в наукових, філософських і літературних джерелах стародавніх і середніх віків. Прості типи успадкування ознак у людини описано задовго до виникнення генетики як науки.

Батьком генетики вважають австрійського ботаніка *Грегора Йоганна Менделя*, який відкрив закономірності успадкування ознак за схрещування організмів. У 1866 р. він опублікував отримані результати в праці під назвою «Експерименти з рослинними гібридами». Але інтерес до публікації був незначним. Лише на початку XX ст. було усвідомлено важливість висновків Грегора Менделя.



Грегор Йоганн Мендель (1822–1884)

У 1900 р. закони Менделя «перевідкрили» незалежно один від одного відразу троє вчених — *Гуго де Фріз* (Нідерланди), *Карл Корренс* (Німеччина) і *Еріх Чермак* (Австрія). У 1909 р. данський учений *Вільгельм Йогансен* увів поняття «ген».

Хромосомну теорію спадковості було розроблено на основі ідей німецького зоолога Августа Вайсмана в 1910–1915 роках американськими біологами-генетиками Т. Х. Морганом, А. Штуртевантом, Г. Д. Меллером та іншими. У ній стверджується, що передавання ознак і властивостей організму від покоління до покоління (спадковість) здійснюється переважно через хромосоми, у яких містяться гени.

У квітні 1953 р. в англійському журналі Nature з'явилася стаття *Джеймса Дьюї Вотсона* й *Френсіса Кріка* з описом просторової моделі молекули ДНК. Цю подію прийнято вважати датою народження молекулярної біології. Відкриттю передували тривалі дослідження біохімічних процесів, що відбуваються в клітинах бактерій, і процесів відтворення неклітинних форм життя (вірусів), роботи з рентгеноструктурного аналізу, у яких брали участь також англійські вчені в галузі біофизики *Моріс Вілкінс* і *Розалінд Франклін*. У 1968 р. американських науковців *Роберта Голлі*, *Гара Гобінда Корана*, *Маршалла Ніренберга* нагороджено Нобелівською премією за розшифрування генетичного коду та визначення його ролі в синтезі білків. Дослідження вчених допомогло зрозуміти, як на основі ДНК формується структура молекул РНК та як функціонує генетичний код, зумовлюючи перетворення цієї структури на послідовність амінокислот у молекулі білка. Відкриття започаткувало вивчення можливості контролювати спадковість і позбавлятися спадкових патологій.



Джеймс Дьюї Вотсон і Френсіс Крік біля моделі ДНК

§ 22. Генетика як наука



Що таке науковий метод?
Чому спадковість і мінливість є важливими властивостями живого?

Здатність організмів зберігати й передавати спадкову інформацію наступним поколінням називається ***спадковістю***. Разом з ***мінливістю*** — здатністю організмів набувати різних форм і мати різні ознаки — вона є однією з ключових властивостей живого. Без спадковості було б неможливим самовідтворення живого. Мінливість створює різноманітність організмів, яка є матеріалом для еволюції, а відтак — для розвитку життя на Землі. У цій темі ми розглянемо закономірності передавання ознак із покоління в покоління, які вивчає такий розділ біології, як ***генетика***.

Методи генетики. Перші дані щодо успадкування різних ознак, отримувалися шляхом спонтанного спостереження. Наукові ж результати вперше було отримано Г. Менделем, який використав ***гібридологічний метод*** — схрещування організмів із різними ознаками та аналіз їхнього потомства (іл. 84). Ми розглянемо його в наступних параграфах. Зрозуміло, що експериментальне схрещування не можна застосувати для дослідження успадкування ознак людини. Для цього розроблено низку інших методів. Так, за допомогою ***генеалогічного аналізу*** досліджують вияв ознак у родичів кількох поколінь (іл. 85). Крім того, можна порівнювати розвиток і ступінь вияву ознак у близнят — такий метод називають ***близнюковим***. На основі його результатів можна зробити висновок, наскільки ті чи інші ознаки зумовлені генетичною інформацією, а наскільки — впливом середовища (§ 33). Учених у галузі біології, медицини цікавлять не лише механізми формування

Іл. 84. Принцип гібридологічного методу

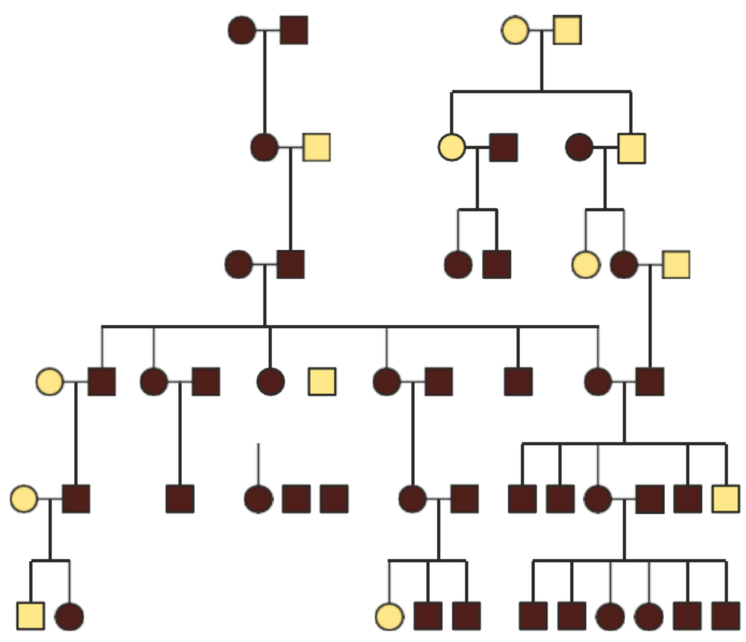


За схрещування рослин із фіолетовими та білими квітками утворюються лише рослини з фіолетовими квітками



Про що свідчить цей результат?

Іл. 85. Приклад родоводу (генеалогічного дерева)



Квадратики позначають чоловіків, кружечки — жінок. Темним кольором позначено людей із певною ознакою чи хворобою, успадкування якої досліджується

нормальних ознак, а першочергово механізми розвитку та шляхи корекції хвороб. Сукупність таких досліджень становить ***медичну генетику*** (§ 33).

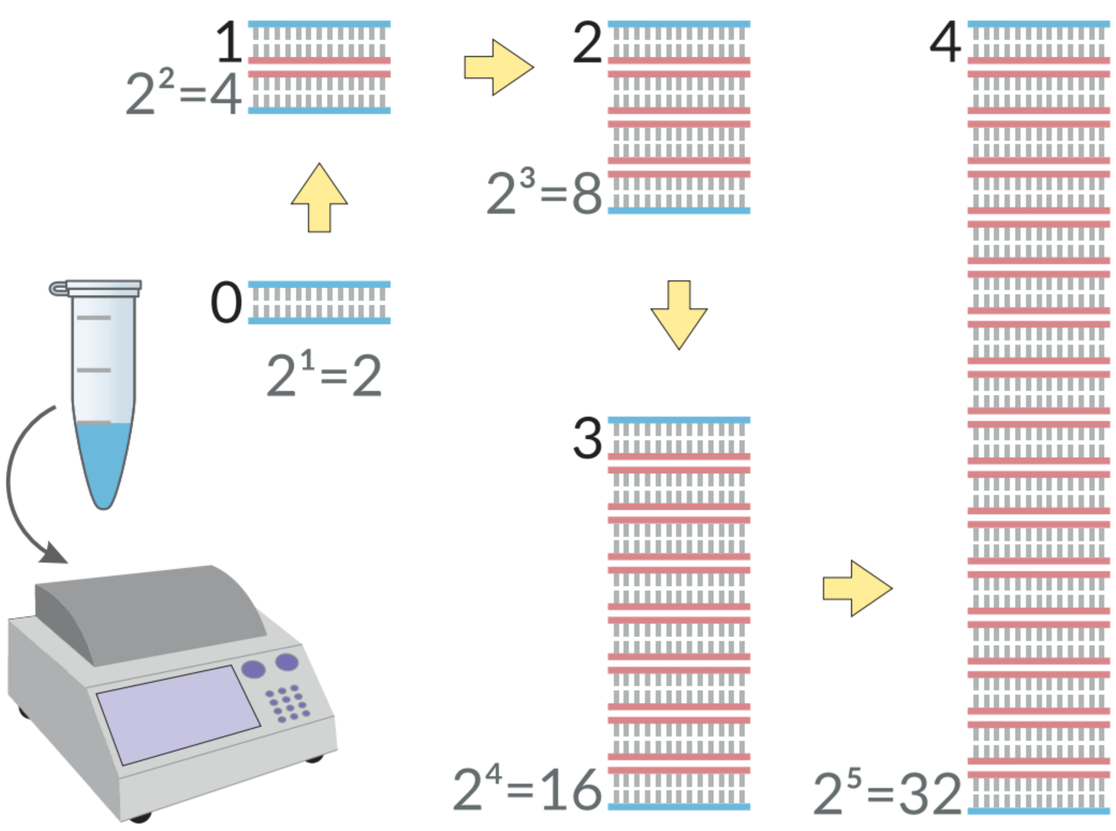
Цитологічні методи, зокрема пов'язані з аналізом набору хромосом, можуть виявити деякі спадкові захворювання, наприклад синдром Дауна.

Ще більше інформації ми можемо отримати за допомогою методів ***молекулярної біології. Полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР)*** — це метод, що дозволяє багаторазово копіювати задану ділянку молекули ДНК із лабораторного зразка для подальшого аналізування (іл. 86). ***Секвенування*** (від англ. *sequence* — послідовність) — процес «читання», визначення нуклеотидної послідовності певних генів. Воно дає можливість виявляти різні варіанти генів, у тому числі пов'язані з хворобами — ***генетичні маркери*** (§ 33). Це дає змогу надавати персоналізовані поради стосовно профілактики або лікування захворювань. Важливу інформацію можна отримати, використавши ***тваринні моделі*** (іл. 87). Завдяки аналізу структури ДНК науковці здатні ідентифікувати гени, які є подібними в людини й тварин. Із метою розуміння їхніх функцій можуть інактивовувати такі гени у тварин шляхом викликаних мутацій, після чого спостерігати за змінами в діяльності клітин, органів і цілого організму.

Методи ***генетичної інженерії*** дають змогу змінювати клітини задля набуття організмами корисних для людини властивостей. Одним із найсучасніших напрямів біомедичної науки є генетична модифікація клітин задля лікування певних хвороб (§ 33). Ще одним напрямом науки про спадковість є ***популяційна генетика***, яка аналізує зв'язок між наявними варіантами генів (зокрема мутаціями) та ознаками або захворюваннями.

Отже, для розуміння механізмів формування ознак і процесів спадковості проводять дослідження на молекулярному, клітинному, організмовому чи популяційному рівнях.

Іл. 86. Принцип методу ПЛР



Іл. 87. Найбільш поширені в біомедицині модельні організми





Розпізнайте представників різних видів. Геном якого виду є найбільш близьким до геному людини й чому?



1. Дайте означення поняття *генетика.* **2.** Схарактеризуйте методи генетичних досліджень. **3.** Поясніть, із розвитком яких наук пов'язане становлення сучасних методів генетичних досліджень.

§ 23. Зберігання генетичної інформації у клітинах



Які особливості будови молекули ДНК, клітинного ядра?
Що таке хроматин? Яка біологічна функція молекули ДНК?
Що таке ген?

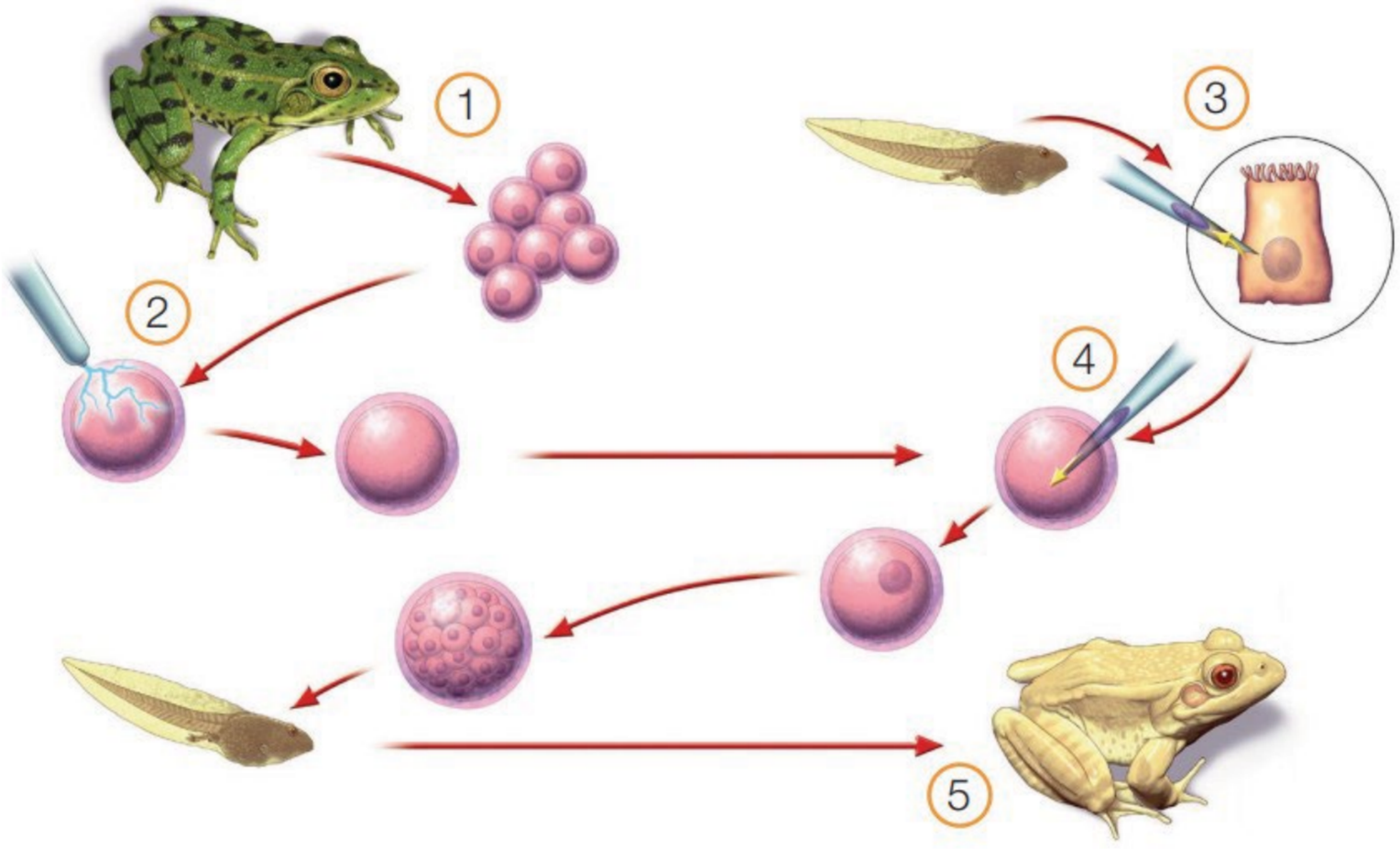
Ви пам'ятаєте, що генетична інформація зберігається в молекулах ДНК, які є важливою частиною клітин організмів. Передавання ДНК до клітин наступних поколінь уможливлює спадковість.

Сукупність молекул ДНК, що містяться в одній клітині, називають **геномом**.

У евкаріотів більша частина ДНК міститься в ядрі. Саме в ньому відбуваються ключові процеси, які забезпечують збереження, реалізацію та передавання наступним поколінням генетичної інформації. Роль ядра в цих процесах підтверджена експериментально. Зокрема, одним із лавреатів Нобелівської премії 2012 року в галузі фізіології або медицини став британський учений Джон Б. Гердон. У 1962 році він провів експеримент, замінивши ядро яйцеклітини жаби на ядро диференційованої клітини кишківника, яка є соматичною. Модифікована яйцеклітина розвинулася в нормального пуголовка (іл. 88). Це довело факт, що в ядрі диференційованої зрілої клітини зберігається вся інформація, необхідна для розвитку цілого організму.

Усі ядра мають подібну будову, а саме — поверхневий апарат (оболонку) і внутрішнє середовище (матрикс). Ми вже ознайомилися із будовою ядра та організацією хроматину в ньому (§ 13).

Іл. 88. Схема експерименту Джона Б. Гердона



1 — доросла жаба — донор яйцеклітини; 2 — видалення з яйцеклітини ядра; 3 — виділення ядра із соматичної клітини кишківника пуголовка; 4 — поміщення ядра всередину яйцеклітини; 5 — розвиток жаби із модифікованої яйцеклітини

Організація геному. Геном прокаріотичної клітини зазвичай складається з однієї кільцевої молекули ДНК. В евкаріотичній клітині лінійні молекули ДНК зв'язані з білками й утворюють хроматин ядра.

Нитки ДНК, ніби частково намотані на гістонові молекули, формують структури, подібні до намиста. Вони, зокрема, можуть закручуватися в спіралі, які вкладатимуться в петлі, а петлі вкладатимуться в петлі другого порядку. Такий процес називають ущільненням, або конденсацією хроматину. Максимально ущільнений хроматин формує Х-подібні структури — ***хромосоми*** (іл. 90). Вони стають помітними в полі зору мікроскопа лише під час клітинного поділу. У такому стані молекули ДНК недоступні для зчитування з них спадкової інформації, про що ми вже дізналися зі змісту § 11. Тому під час активного функціонування клітини хроматин має хоча б частково перебувати в деконденсованому, розплетеному стані. Окрім ядерної ДНК, геном евкаріотичних клітин містить ДНК мітохондрій і пластид. Порівняно з ядерними хромосомами, їх розміри невеликі: від 15 до 170 тис. пар нуклеотидів, кілька десятків (до 100) генів (порівняйте з розмірами ядерних геномів) (іл. 89). Позаядерна ДНК також забезпечує частину спадковості, проте її закономірності дещо відмінні й ми розглянемо їх окремо (§ 30).

Гени. Спадкова інформація записана в молекулах ДНК певними порціями: різні ділянки цих молекул містять інформацію про різні ознаки. Згідно з сучасними уявленнями про молекулярно біологічне підґрунтя спадковості, можна навести таке їх означення.

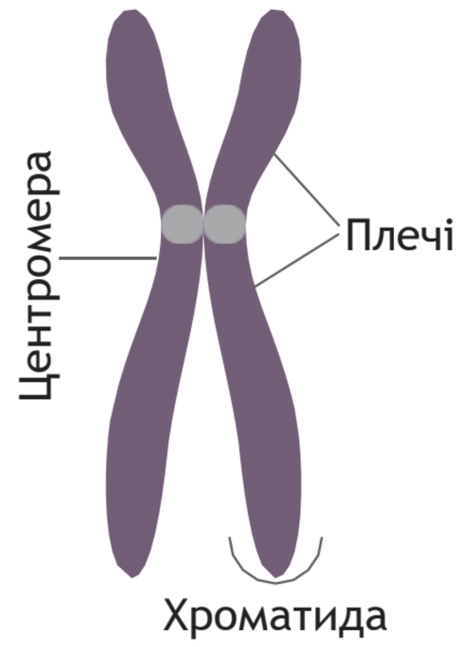
Ген — це ділянка ДНК, на основі якої може відбуватися синтез функціональних молекул РНК. Сукупність генів певного організму називають ***генотипом***. Генетична інформація зумовлює ознаки організму.

Іл. 89. Порівняння геномів деяких організмів

Кількість			 *
Хромосоми (гаплоїдний набір)	1	4	23
Пари нуклеотидів у ДНК	$4{,}6 \cdot 10^6$	$1{,}3 \cdot 10^8$	$3{,}2 \cdot 10^9$
Гени	4 288	14 000	20 000
Некодувальна ДНК	12 %	81 %	97 %

* Муха й людина — диплоїдні організми

Іл. 90. Структура хромосоми





Проаналізуйте твердження.
I. Геном евкаріотів містить менше генів, ніж геном прокаріотів.
II. Лише 3 % геному людини містить інформацію про гени.
Чи є поміж них правильні?

У такому стані хромосоми існують під час поділу клітин. На цій стадії кожна хроматида містить одну молекулу ДНК

Деякі з генів кодують структури білків (гени мРНК), інші ж кодують РНК із самостійними функціями (рРНК, тРНК). «Білкові» гени евкаріотів мають певну структуру (іл. 91). Основна частина, яку називають ***кодувальною***, містить інформацію про структуру білка (або РНК). На початку гена розташована послідовність нуклеотидів, яку називають ***промотором***. Саме з нею зв'язуються білки, які зчитують інформацію. За кодувальною частиною розташована завершальна ділянка гена, яку називають ***термінатором***.

За функціями умовно розділяють ***структурні*** гени, які визначають певну ознаку (наприклад, кодують фермент, що каталізує певну хімічну реакцію), та **регуляторні**, основним ефектом яких є вплив на активність інших генів.

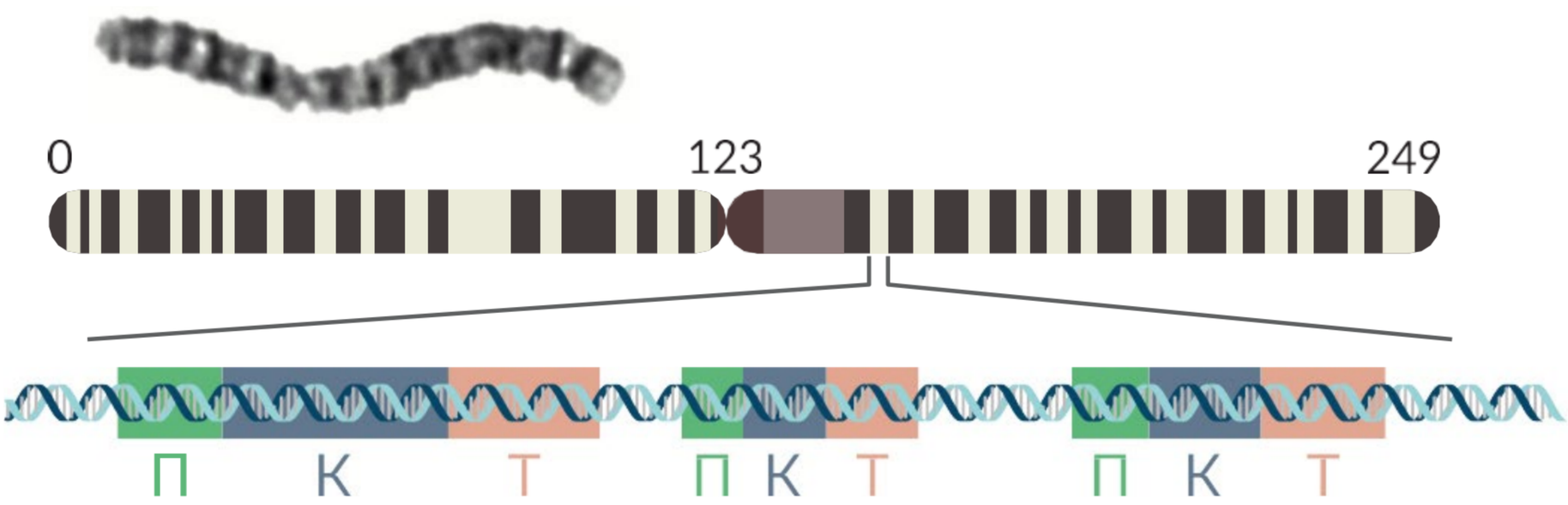
Не весь геном утворений генами. Між генами існують проміжки, які не містять інформації про будову білків або РНК. Крім того, некодувальні ділянки можуть бути всередині генів евкаріотів — їх називають інтронами (§ 25). Кількість некодувальної ДНК суттєво різниться в різних видів (іл. 89). Наприклад, у людини на неї припадає більше ніж 97 % ДНК, натомість у більшості видів рослин — 75–95 %. Значення некодувальної ДНК повністю не встановлено. Зокрема, в ній можуть бути ділянки, що полегшують або ускладнюють зчитування інформації із тих чи інших генів.

Хромосоми й каріотипи. Кількість і розміри хромосом (відповідно кількість і довжина молекул ДНК) у клітині є видовою ознакою, яка може суттєво варіювати у представників різних видів.

Сукупність хромосом, які містяться в ядрах клітин, називають **каріотипом**.

Існують організми, клітини яких містять виключно хромосоми з унікальним, відмінним від інших, набором генів. Такі клітини називають ***гаплоїдними***. Клітини інших організмів, зокрема й людини, мають

Іл. 91. Структура гена



Мікрофотографія та схематична структура першої хромосоми людини (числа відповідають мільйонам пар нуклеотидів). Показано три гени, кожен із яких містить промотор (П), кодувальну частину (К) і термінатор (Т). Світлі смужки відповідають ділянкам, що містять багато генів, темні — ділянкам, які майже не містять генів

Підготуйте повідомлення з теми: «Хромосоми людини та гени, що в них містяться», «Планування та реалізація проєкту "Геном людини"».

подвійний набір хромосом. Це означає, що в клітинах містяться пари хромосом, які характеризуються однаковим набором генів, розташованих в однаковій послідовності. Такі хромосоми називають гомологічними, а клітини з подвійним набором — ***диплоїдними***. Багато диплоїдних організмів мають особливу пару хромосом, яка різниться структурою у представників різних статей. Таку пару називають статевими хромосомами. Нестатеві хромосоми називають аутосомами. Хромосоми можуть бути ідентифікованими за допомогою світлової мікроскопії. Вони різняться за довжиною, місцем розташування первинної перетяжки (центромери) та закономірностями чергування світлих і темних смужок. Організми з несумісними наборами хромосом нездатні сформувати плідне потомство, а відтак учені розглядають їх як представників різних видів.

Особливості геному та хромосомного набору людини. Розшифрування геному людини було одним із найбільших наукових проєктів, воно тривало більше ніж 10 років. У результаті було встановлено, що він складається з 3,2 млрд пар нуклеотидів ядерної ДНК. Лише близько 3% цієї ДНК кодують гени, яких налічують більше ніж 20 тис. Мітохондріальна ДНК є суттєво коротшою — її розмір усього 16–17 тис. пар нуклеотидів, проте кожна клітина містить багато мітохондрій. У цій молекулі записано всього 37 генів, які кодують власні мітохондріальні ДНК, а також білки, залучені до функціонування дихального ланцюга (наприклад АТФ-синтетазу). Каріотип людини складається з 46 хромосом, які формують 23 пари. З них 22 пари є аутосомами, а 23-тя статева: жінки мають дві Х-хромосоми, натомість у чоловіків є одна Х і одна Y. Y-хромосома є коротшою та містить менше генів, ніж Х, а тому вони не є гомологічними (іл. 92). Порушення хромосомного набору, яке може виникати під час клітинного поділу, часто призводить до загибелі клітини або утворення хромосомних хвороб.

Іл. 92. Хромосомний набір (каріотип) людини (світлова мікроскопія)



Можна бачити, що кожна пара хромосом має свої особливості будови



Визначте, які з зображених хромосом є статевими.
Яку стать має людина, каріотип якої зображено на цій ілюстрації?



1. Дайте означення понять *геном, ген, каріотип*. **2.** Порівняйте організацію геному прокаріотичної та евкаріотичної клітини. **3.** Опишіть структуру гена. **4.** Що таке структурні та регуляторні гени? **5.** Чому каріотип є одним із критеріїв виду? **6.** У чому особливість геному та хромосомного набору людини? **7.** Обґрунтуйте значення досліджень геному людини.

§ 24. Передавання генетичної інформації від покоління до покоління



Що таке принцип комплементарності?
Як відбувається процес розмноження в людини?

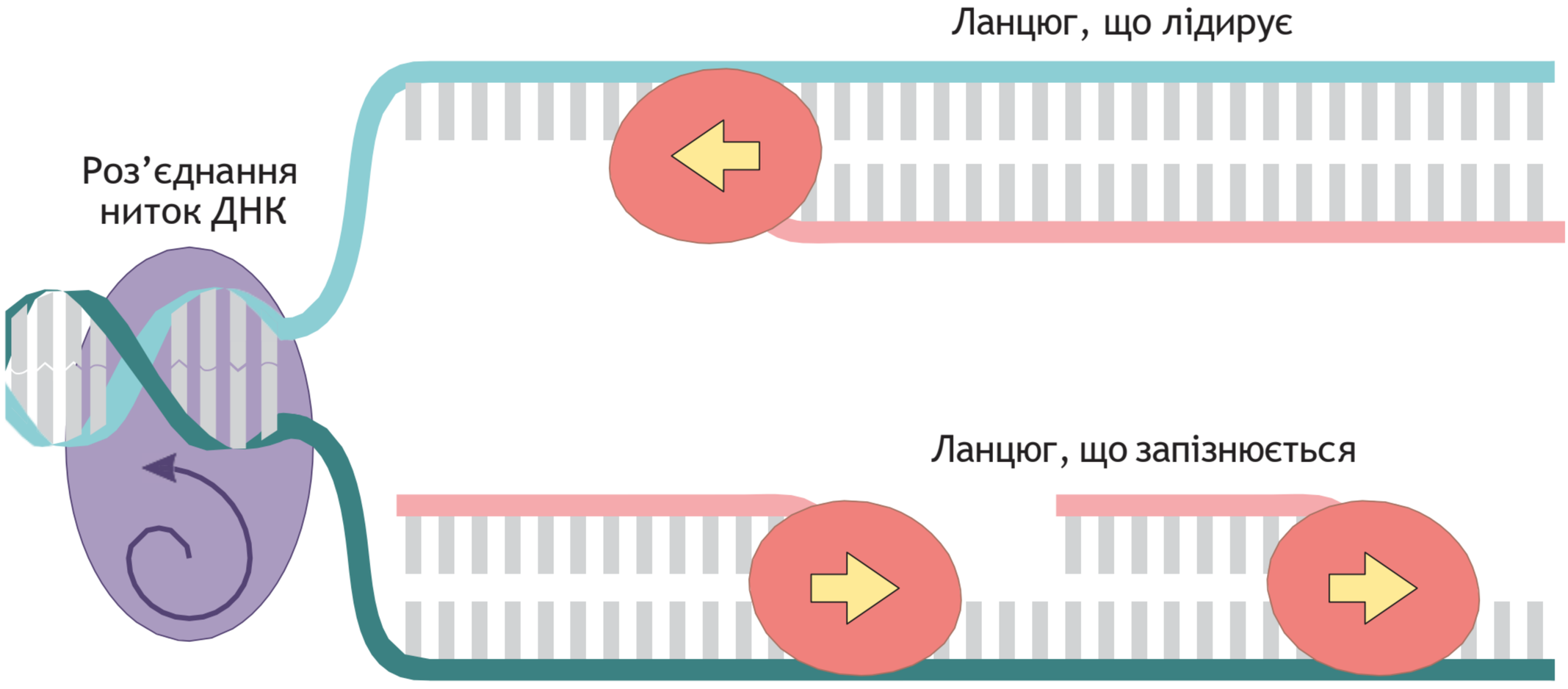
Ми вже з'ясували, як генетична інформація зберігається в клітинах. Для того щоб гени, які її забезпечують, могли передатися наступним поколінням та зумовити певні ознаки, існують процеси її передавання, пов'язані з поділом клітин. Дуже важливим етапом клітинного циклу є подвоєння наявної в клітині ДНК — реплікація (іл. 93). Вона відбувається перед клітинним поділом.

Реплікація — процес подвоєння ДНК, у якому на основі однієї молекули утворюються дві її копії.

Ви пам'ятаєте, що важливою особливістю будови молекули ДНК є те, що вона складається з двох лінійних ланцюгів нуклеотидів. Структура кожного з них комплементарно повторює структуру іншого — напроти аденілового (А) нуклеотиду одного ланцюга в іншому завжди тимідиловий (Т), а напроти гуанілового (Г) завжди цитидиловий (Ц). Під час реплікації спеціалізовані ферменти розділяють нитки ДНК та добудовують до кожної із них нову за принципом комплементарності. Унаслідок цього формуються дві ідентичні молекули, що будуть під час поділу передані до двох дочірніх клітин.

Існує кілька варіантів передавання генетичної інформації наступним поколінням. У найпростішому з них, що притаманний, зокрема, прокаріотам, вихідна клітина ділиться ***простим поділом*** на дві дочірні, кожна з яких отримує копію материнської молекули ДНК (яка в прокаріотів одна). У більш складному варіанті розмноження організмів пов'язано з обміном

Іл. 93. Реплікація





Пригадайте та схарактеризуйте процес реплікації. Що є його результатом?

між ними генетичною інформацією. Такий спосіб розмноження називають ***статевим***, він здійснюється шляхом формування спеціалізованих статевих клітин.

У багатьох організмів, зокрема в людини, формування статевих клітин відбувається за участі особливого типу клітинного поділу — мейозу.

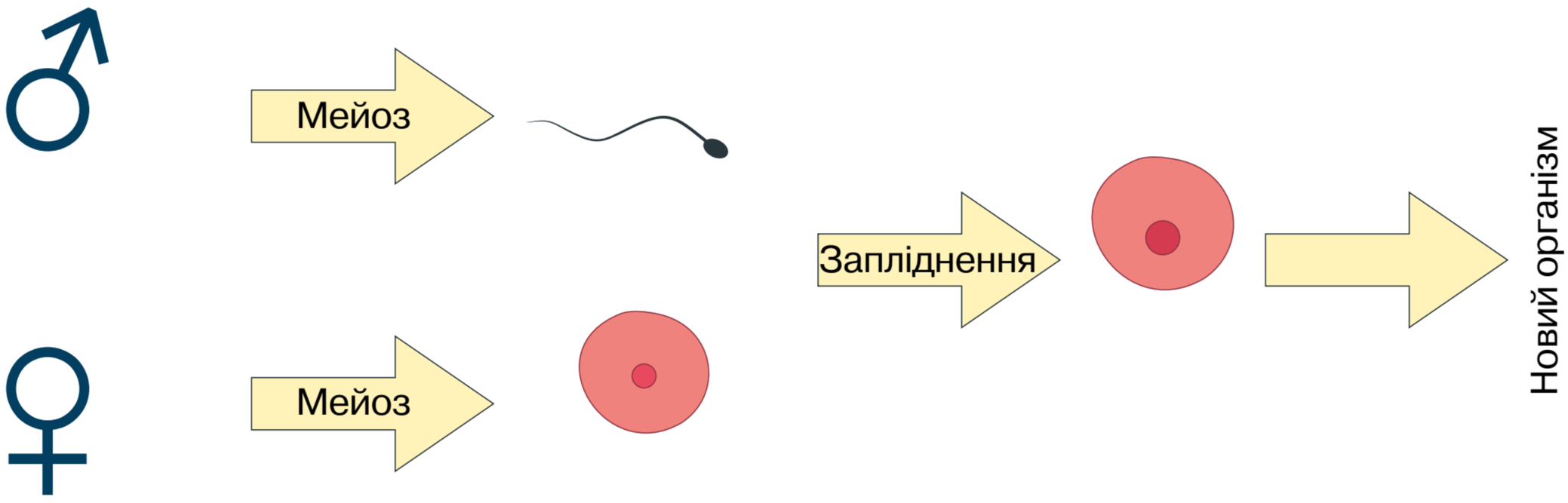
Мейоз — тип клітинного поділу, за якого вдвічі зменшується число хромосом (кількість молекул ДНК).

Згадаємо, що внаслідок мейозу з диплоїдної клітини утворюються гаплоїдні клітини (іл. 94). Мейоз має низку відмінностей від іншого типу клітинного поділу — ***мітозу***. У результаті мітозу утворюються дві клітини, що мають ідентичний материнський набір ДНК (а відтак — і генів). За мейозу ж формуються гаплоїдні клітини, а отже статеві клітини мають лише половину генетичної інформації, що була в батьківського організму. Крім того, унаслідок ***кросинговеру*** — обміну гомологічними ділянками між парними хромосомами — статеві клітини можуть містити такі комбінації варіантів генів, яких не було в батьків.

Процеси, пов'язані з розмноженням, ми розглянемо детальніше в наступній темі, а зараз відзначимо головні факти, що стосуються більшості диплоїдних організмів, зокрема людини:

- розмноження відбувається за участі статевих клітин (гамет), які мають одинарний, гаплоїдний набір хромосом (ДНК, а отже й генів);
- розвиток організму наступного покоління починається зі злиття двох гамет (запліднення), унаслідок чого відновлюється диплоїдність клітин;
- організм наступного покоління має два набори генів, кожен із яких походить від одного з батьківських організмів;
- крім генів, що зберігалися в ядрі, від покоління до покоління переходить невелика кількість генів мітохондрій і хлоропластів (у рослин).

Іл. 94. Схема передавання ядерної генетичної інформації від покоління до покоління



Знаки Марса (♂) та Венери (♀) позначають батьківський і материнський організми

1. Дайте означення понять *реплікація, мейоз*. **2.** Поясніть біологічне значення гаплоїдного набору хромосом статевих клітин. **3.** Як формується генотип наступного покоління? **4.** Чому дочірній організм має гени, що притаманні обом батьківським організмам?

§ 25. Реалізація спадкової інформації: транскрипція та процесинг РНК



Які процеси забезпечують реалізацію спадкової інформації?
Які існують відмінності в будові РНК та ДНК?

Збереження та передача наступним поколінням спадкової інформації є важливими процесами, але для формування ознак організму потрібно, щоб ця інформація була використана, реалізована в правильний спосіб. Утворення на основі генетичної інформації функціональних продуктів (білків або РНК) називають ***експресією*** гена. Цей процес складається з низки послідовних етапів (іл. 95), першим із яких є зчитування інформації з ДНК або транскрипція.

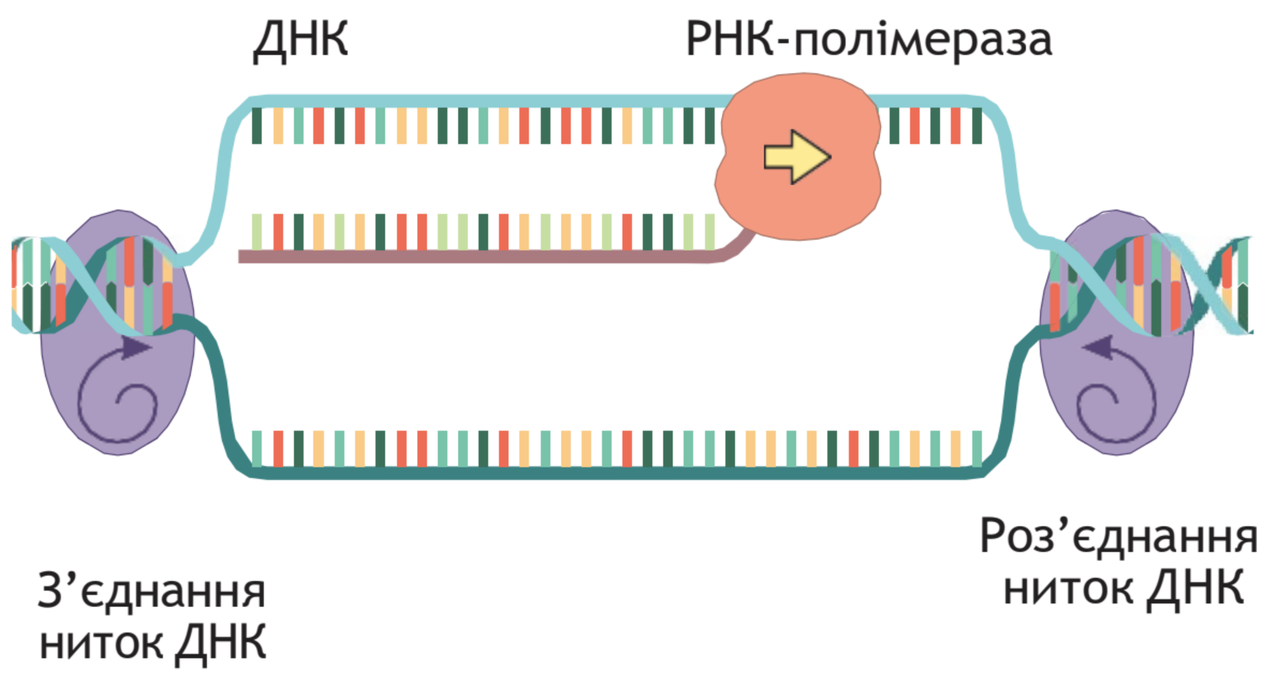
Транскрипція — синтез молекули РНК із використанням молекули ДНК як матриці.

Етапи транскрипції. В евкаріотичних клітинах транскрипція відбувається в ядрі, де зберігається ДНК, і забезпечується ферментами. Основним ферментом транскрипції є РНК-полімераза, яка «працює» на всіх її етапах (іл. 96), першим із яких є зв'язування з промотором гена. Для цього РНК-полімераза має бути з'єднаною з одним або кількома іншими важливими білками — ***транскрипційними факторами***. Вони визначають, із яким саме геном зв'язуватиметься зазначений фермент, а отже, впливають на активність генів, що має важливе значення для регуляції росту та розвитку організму. Гени, які кодують транскрипційні фактори, є регуляторними. Наступним етапом є синтез молекули РНК (іл. 96). РНК-полімераза роз'єднує дві нитки ДНК і рухається вздовж лише однієї із них.

Іл. 95. Процеси реалізації генетичної інформації



Іл. 96. Механізм транскрипції





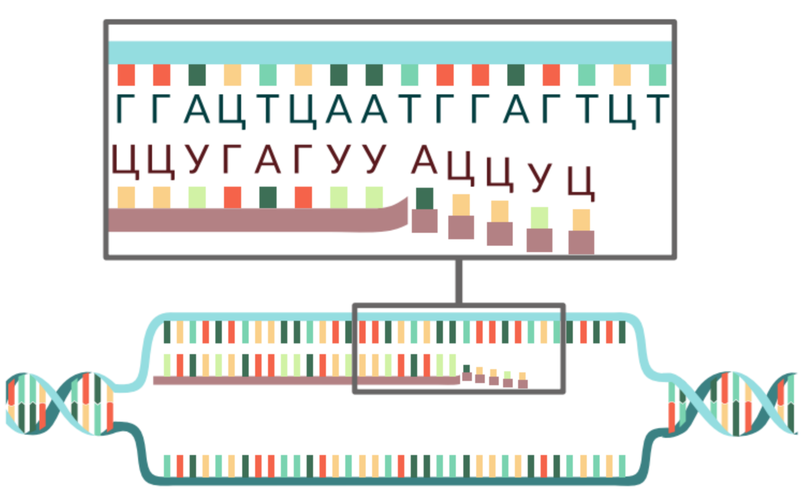
Поясніть, чому спадкова інформація найчастіше стосується будови молекули білка.

Вона розпізнає нуклеотиди ДНК і включає у молекулу РНК комплементарні до них РНК-нуклеотиди (іл. 97). Цей процес триває, доки РНК-полімераза не досягне термінатора гена. Тоді синтез завершується: РНК-полімераза вивільняє синтезовану молекулу РНК та від'єднується від ДНК.

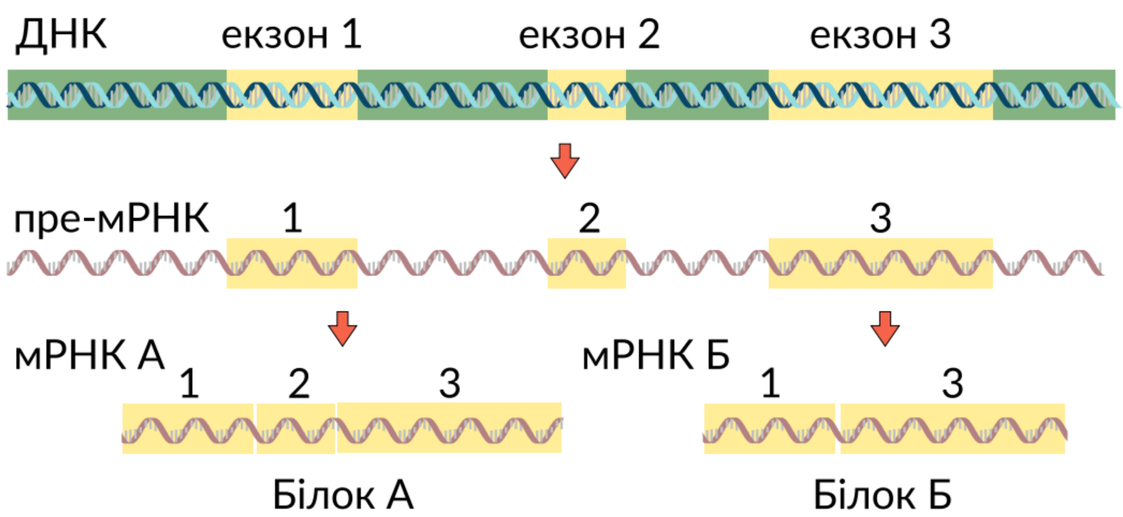
Типи РНК. За функціями розрізняють кілька типів молекул РНК. ***Рибосомні*** РНК (рРНК) входять до складу рибосом і забезпечують їхнє функціонування. ***Транспортні*** РНК (тРНК) приєднують амінокислоти й транспортують їх до місця синтезу білка. ***Матричні***, або ***інформаційні***, РНК (мРНК, іРНК) містять інформацію про амінокислотну структуру білків. Вони слугують матрицею для біосинтезу білка. Описані типи РНК беруть участь у біосинтезі білка або його регуляції. Існують і інші типи РНК. Лише 1–2 % генів ядерної ДНК кодує послідовність амінокислот у білках. Інші гени кодують різні типи РНК, що беруть участь у регуляції клітинних процесів.

Дозрівання РНК. Утворені в процесі транскрипції молекули РНК ще не можуть виконувати своїх функцій. В евкаріотів вони зазнають певних змін, які називаються ***процесингом***. Важливим його етапом є ***сплайсинг*** (від англ. *splice* — зрощувати, з'єднувати). Більшість генів евкаріотів містить некодувальні ділянки, що «вирізаються» під час зазначеного процесу. Такі ділянки називають ***інтронами***, а ті, що залишаються в молекулі РНК, — ***екзонами***. Отже, сплайсинг — це процес «вирізання» інтронів і «зшивання» екзонів. Зрозуміло, що інформацію про структуру білків містять лише екзони. На інтрони може припадати від 0 до 99 % довжини гена. У багатьох генів екзони, що залишаються, можуть зшиватися в різний спосіб. Як наслідок з одного гена можуть утворюватися різні мРНК, за якими будуть синтезовані різні білки (іл. 98). Уважають, що саме це є причиною описаної мозаїчної (екзонно-інтронної) структури генів. Зрілі молекули РНК експортуються з ядра в цитоплазму, де починають виконувати свої функції.

Іл. 97. Принцип комплементарності



Іл. 98. Дозрівання молекули РНК



Змоделюйте послідовність нуклеотидів у молекулі мРНК, яка синтезується на наведеній ділянці молекули ДНК: ААТГЦГЦАТЦГ.

Зеленим кольором позначено інтрони, жовтим — екзони. З одного гена можуть утворитися білки різної будови: два екзони в мРНК, що їх кодує, є спільними, один — відмінний

1. Дайте означення понять *транскрипція, транскрипційні фактори, процесинг, сплайсинг*. **2.** Схарактеризуйте типи РНК. **3.** Опишіть будову гена евкаріотичної клітини. **4.** Поясніть механізм транскрипції. **5.** Підготуйте повідомлення з теми «Які особливості будови генів евкаріотичної клітини?», використавши інтернет-джерела.

§ 26. Реалізація спадкової інформації: синтез білків і формування ознак



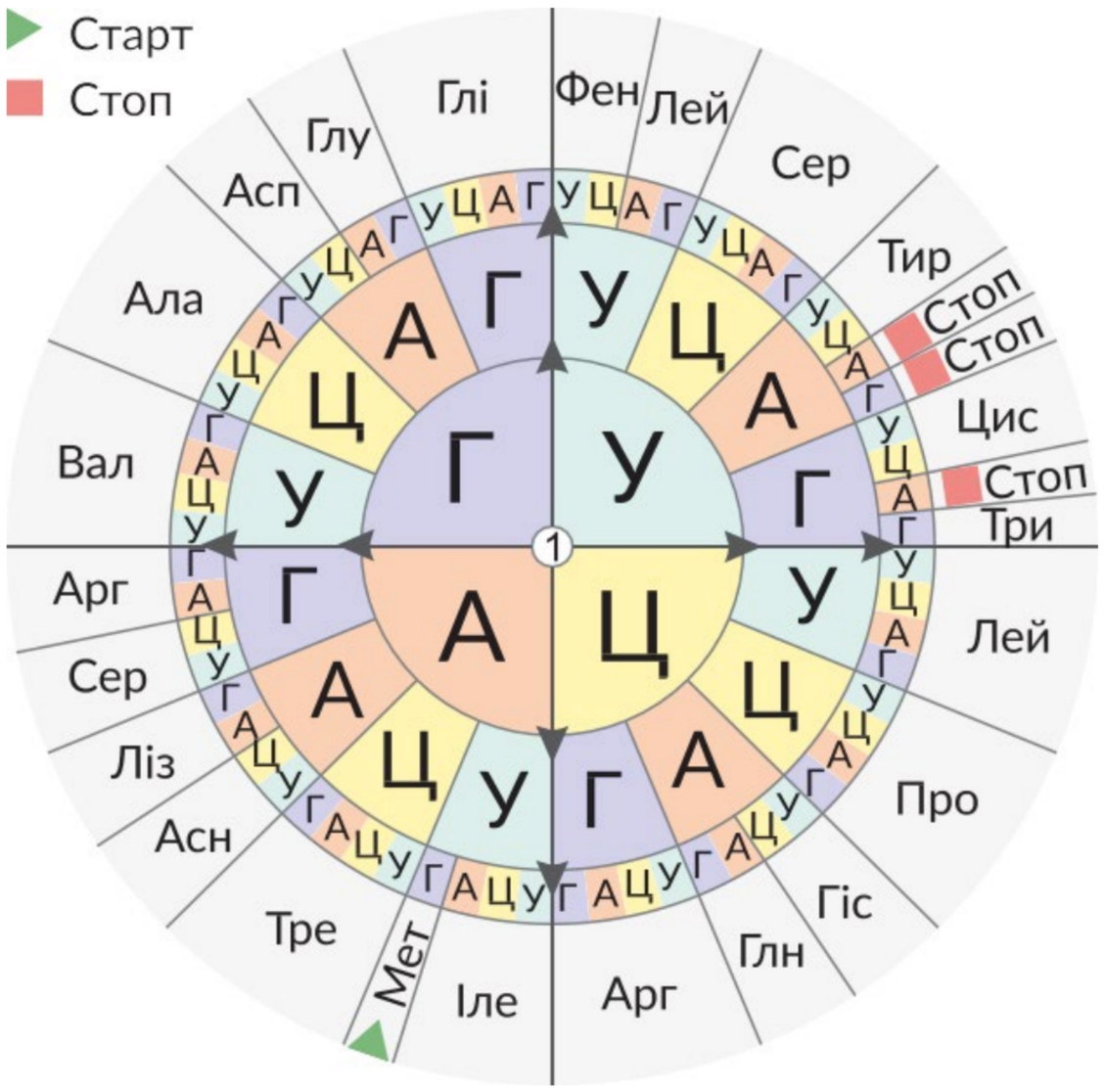
Які особливості будови білків і нуклеїнових кислот як біополімерів?

Молекули РНК, синтезовані на матриці ДНК, можуть виконувати самостійні функції (тРНК, рРНК), але більшість із них слугує переносником інформації про структуру білків (мРНК). Мономерами нуклеїнових кислот є нуклеотиди, а білки складаються з амінокислот. Отже, інформація про амінокислотну послідовність білків, тобто їхню первинну структуру, закодована в послідовності нуклеотидів молекул мРНК. Відтак синтез білкової молекули має відбуватися за правилом перетворення «нуклеотидної» інформації на «амінокислотну». Таким правилом є ***генетичний код*** — система запису послідовності амінокислотних залишків білкових молекул за допомогою послідовності нуклеотидів молекул РНК. Для генетичного коду (іл. 99) характерні певні властивості.

1. Інформація з РНК зчитується порціями з трьох нуклеотидів. Послідовність із трьох нуклеотидів називають триплетом або кодоном. Якщо уявити нуклеотиди як букви (їх є чотири — А, У, Г, Ц), то триплети — це слова, що складаються з цих букв. Триплети кодують 20 амінокислот і три спеціальні стоп-послідовності, що означають закінчення кодованого білка.

2. Інформація зчитується безперервно. Кожен наступний триплет починається відразу за попереднім. Триплети не перекриваються і не накладаються один на оден. Жоден нуклеотид не може водночас бути складником двох триплетів (іл. 100).

Іл. 99. Таблиця генетичного коду



У таблиці наведено триплети **РНК**. Визначення певного триплету слід розпочинати від центра таблиці, позначеного цифрою 1. Перший нуклеотид триплета вибираємо з внутрішнього кола, другий — із другого кола, третій — із третього кола. У четвертому колі вказано скорочену назву кодованих амінокислот, старт- або стоп-кодон



Визначте амінокислоти, які кодують триплети ЦЦЦ, ГЦА, УЦУ.

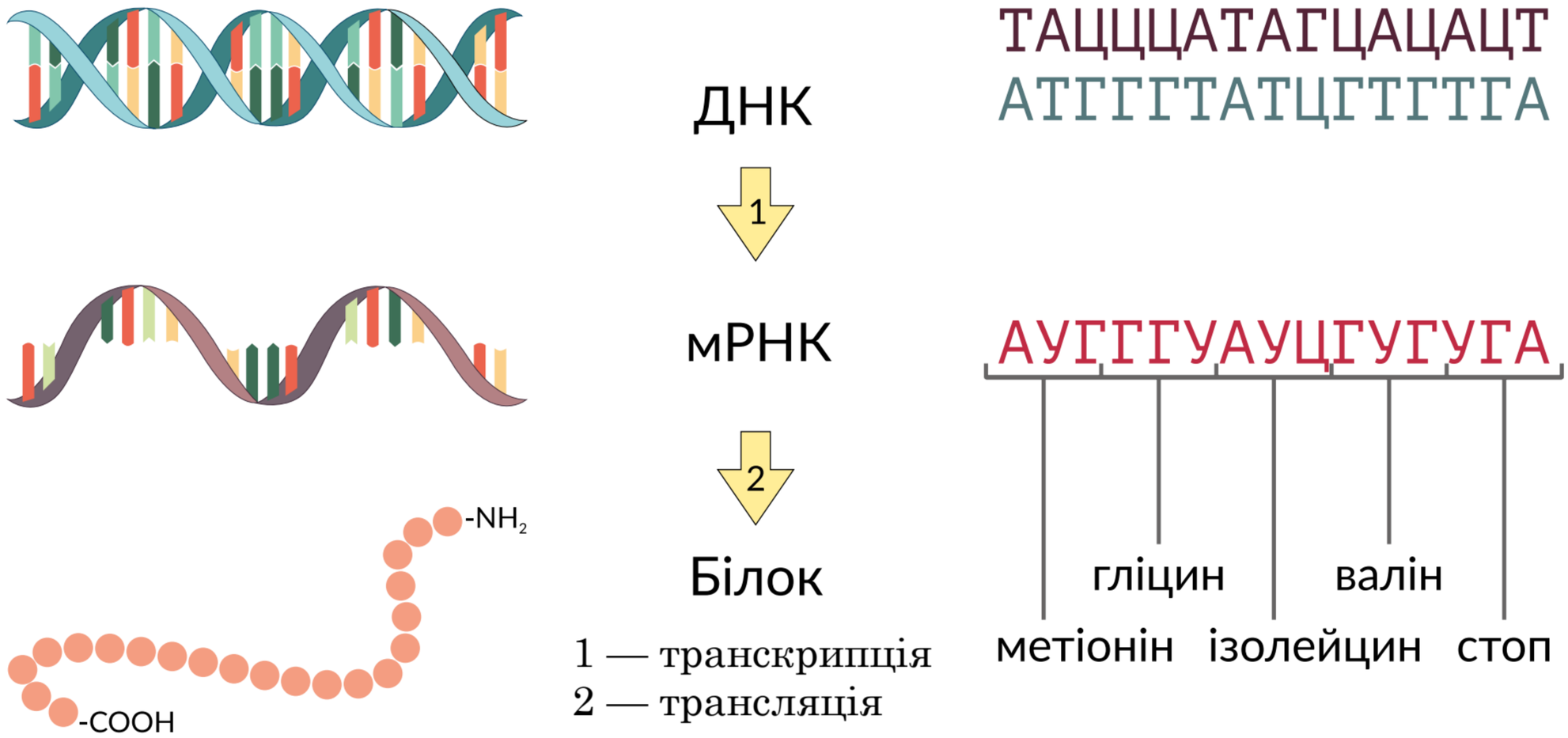
3. Генетичний код є однозначним. Кожен триплет відповідає лише одній амінокислоті (або є стоп-кодоном). Той самий триплет у клітині не може кодувати дві різні амінокислоти (іл. 99).

4. Генетичний код є надлишковим. Існують чотири типи РНК-нуклеотидів (А, У, Г, Ц), а триплет є комбінацією із трьох нуклеотидів. Відповідно, може бути всього 4 × 4 × 4 = 64 різних послідовностей із трьох зазначених букв. Отже, у такий спосіб можна закодувати не більше ніж 64 одиниці інформації. Проте до складу білків входять лише 20 різних амінокислот і 3 стоп-кодони. «Беззмістовних» триплетів не існує, а тому деякі амінокислоти закодовано більше ніж одним кодоном. Можна пересвідчитися, що амінокислота триптофан кодується лише одним триплетом, натомість аргінін — аж шістьма (іл. 99). Надлишковість надає коду певної стійкості до змін, тобто мутацій. У деяких випадках заміна одного нуклеотиду на інший не призведе до зміни амінокислоти, а отже, і структури синтезованого білка (спробуйте за допомогою таблиці генетичного коду знайти варіанти таких замін).

5. Генетичний код є універсальним. Відповідність послідовностей триплетів та амінокислот є однаковою в усіх клітинах усіх організмів і навіть неклітинних форм життя (вірусів). Це правило має кілька винятків: дещо змінений генетичний код працює у мітохондріях, хлоропластах, у деяких одноклітинних і бактерій. Тим не менше, загалом генетичний код є універсальним правилом кодування структури білків більшістю генів.

Утворення білків на основі інформації, що зберігається в молекулах нуклеїнових кислот, є одним із ключових процесів, властивих живим системам (іл. 100). Різноманітність просторових структур, яких можуть набувати білкові молекули, зумовлює виконання ними найрізноманітніших функцій, що виявляється як ознаки організмів.

Іл. 100. Принцип функціонування генетичного коду

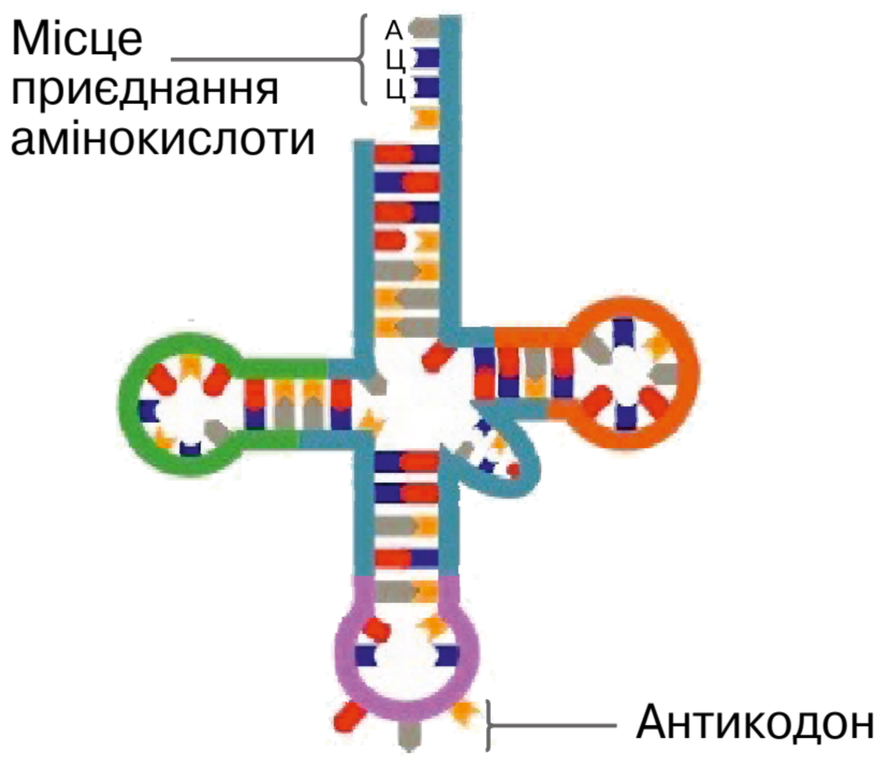


Послідовність матричного ланцюга ДНК показано коричневим кольором, комплементарний йому ланцюг — сірим, послідовність відповідної мРНК — червоним. Показано відповідність кожного триплета кодованій амінокислоті

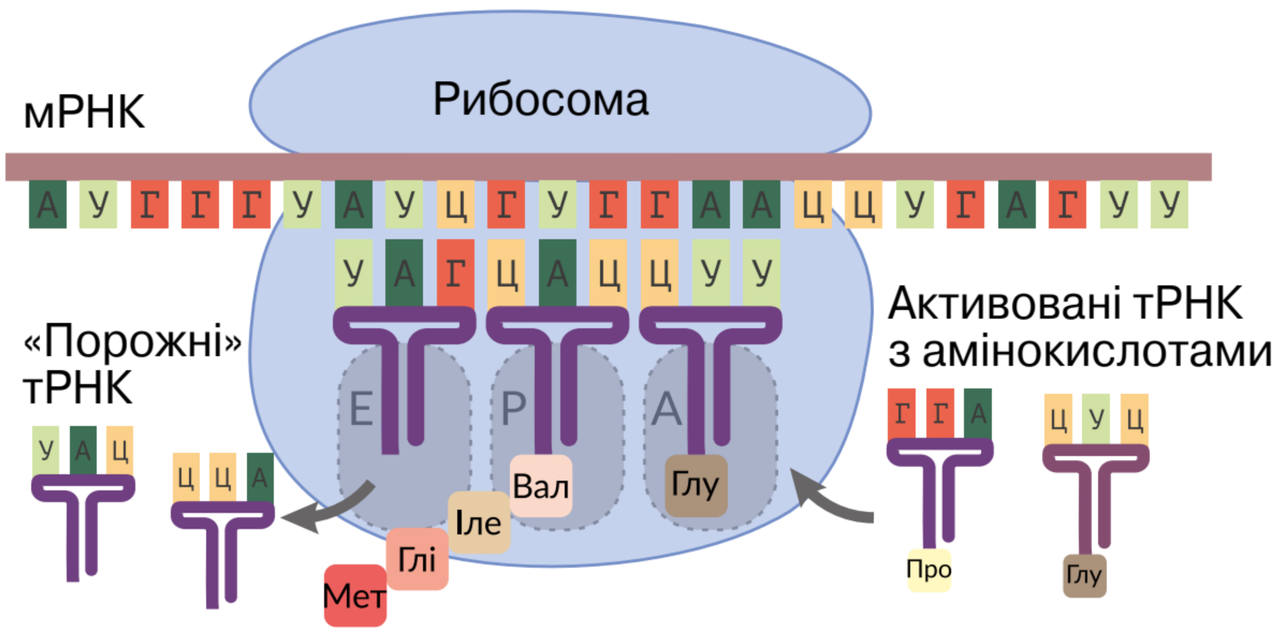
Синтез поліпептидного ланцюга за участі рибосом на матриці мРНК називають ***трансляцією***.

Вона здійснюється за участі ***рибосом*** — органел, притаманних усім клітинам. Крім рибосом та мРНК, для трансляції потрібна енергія (АТФ) та амінокислоти, зв'язані з тРНК. Молекула тРНК має специфічну будову (іл. 101). До одного її кінця приєднується залишок амінокислоти. Також тРНК містить три особливі нуклеотиди, комплементарні до триплета, який кодує транспортовану амінокислоту. Цю послідовність називають ***антикодоном***. Молекули тРНК, що мають певний антикодон, зв'язують лише ту амінокислоту, яка кодується відповідним кодоном. Молекулу тРНК, сполучену із залишком амінокислоти, називають ***активованою***. У біосинтезі білка виокремлюють кілька етапів. На початку синтезу рибосома зв'язує мРНК і поступово просуває її крізь себе, ніби скануючи (іл. 102). Таке «сканування» триває, доки не знайдеться кодон АУГ. Він називається стартовим кодоном, із нього розпочинається синтез будь-якого білка. Щойно рибосома знайшла найближчий кодон АУГ, вона зв'язує тРНК із метіоніном (та антикодоном УАЦ). Після цього рибосома продовжує просувати нитку мРНК крізь себе. Упродовж такого просування відбувається розпізнавання кодонів, зв'язування молекул тРНК із відповідними антикодонами та утворення пептидних зв'язків між амінокислотами. Цей синтез завершується, коли рибосома дійде до одного зі стоп-кодонів. У результаті роботи описаного механізму утворюється поліпептидний ланцюг, послідовність амінокислот якого визначена структурою молекули мРНК відповідно до генетичного коду. Такий поліпептид ще не є функціональним білком. Він має набути характерної для нього тривимірної (вторинної, третинної, четвертинної) структури, а також зазнати певних хімічних модифікацій, що здійснюються за участі спеціалізованих ферментів здебільшого в комплексі Гольджі.

Іл. 101. Будова молекули тРНК



Іл. 102. Трансляція



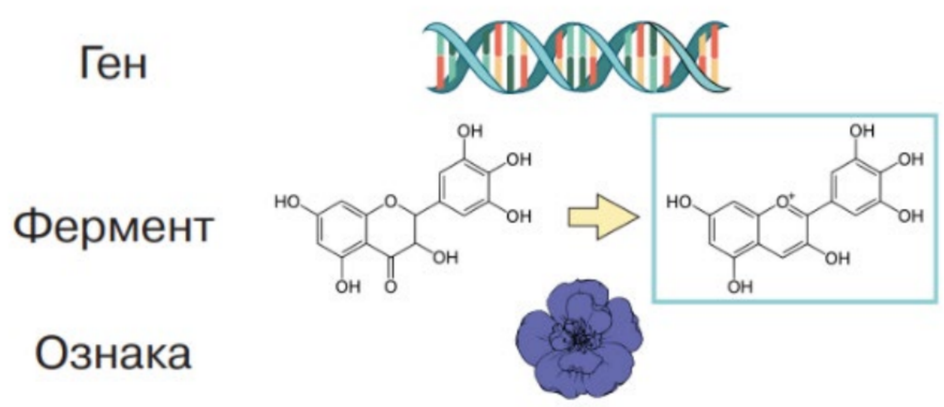
Визначте, яку амінокислоту транспортує молекула тРНК із антикодоном УЦГ.

Пригадайте та поясніть механізм процесу трансляції.

Гени та ознаки. Сукупність генів певного організму називають ***генотипом***, а сукупність ознак організму — ***фенотипом*** (термін «фен» позначає одиничний варіант певної ознаки). Ви знаєте, що гени можуть бути структурними або регуляторними. Структурні гени визначають певні одиничні ознаки (наприклад, колір квіток, довжину крил комах, групу крові людини тощо). У найпростішому випадку один ген визначає одну ознаку (іл. 103). Регуляторні гени впливають на активність інших регуляторних або структурних генів. Зрозуміло, що вони також зумовлюють певні ознаки, але їхній вияв зазвичай є складнішим. Ознаки бувають якісні й кількісні. ***Якісні*** ознаки мають варіанти, які чітко відрізняються один від одного: наприклад, руде або не руде волосся, чоловіча/жіноча статі, різні групи крові в людини. ***Кількісні*** ознаки виявляються в широкому діапазоні без чітких меж між різними варіантами. До них належать зріст, вага, колір шкіри в людини тощо.

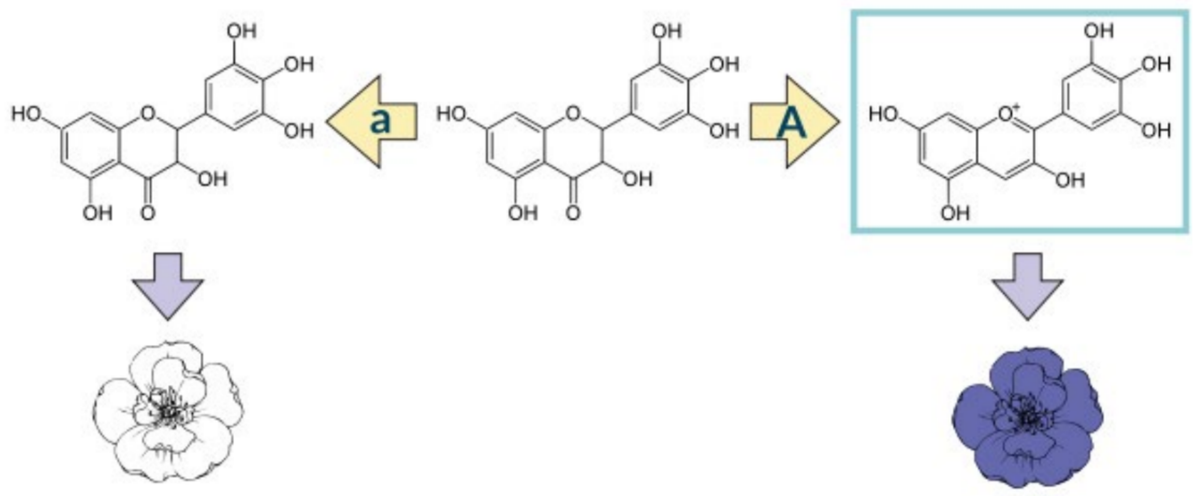
Гени та алелі. Місце розташування певного гена в хромосомі називають ***локусом***. У диплоїдних організмів парні, гомологічні хромосоми містять однаковий набір генів, локуси яких розташовані в однакових послідовностях. Отже, кожний такий організм має дві копії кожного гена (окрім тих, що розташовані в статевих хромосомах). Нуклеотидні послідовності копій генів, розташованих в однаковому локусі гомологічних хромосом, можуть дещо різнитися. Такі варіанти генів називають ***алелями***. Різні алелі зумовлюють розвиток різних варіантів однієї ознаки — наприклад синій чи білий колір пелюсток квітки (іл. 104). Яким же буде фенотип організму, що має два різні алелі? У більшості випадків виявлятиметься лише один із двох можливих варіантів ознаки. Такий варіант називають ***домінантним***, а інший, пригнічений — ***рецесивним***. Існують і більш складні варіанти взаємодії алельних генів, які ми розглянемо пізніше (§ 28).

Іл. 103. Принцип формування кольору квітки в рослини



Ген кодує фермент, що каталізує перетворення безбарвної речовини (ліворуч) на забарвлену (праворуч), наявність якої у вакуолях визначає колір пелюсток

Іл. 104. Алельні варіанти гена, який визначає колір квітки



Домінантний алель (A) кодує фермент, що сприяє перетворенню безбарвної сполуки на синю; рецесивний алель (a) кодує неробочий фермент, безбарвна сполука не набуває змін, пелюстки не мають кольору

1. Дайте означення понять *трансляція, генотип, фенотип, алелі.* **2.** Що таке генетичний код? **3.** Поясніть властивості генетичного коду. **4.** Поясніть механізм трансляції. **5.** Як генетична інформація зумовлює формування ознак?

§ 27. Гібридологічний метод. Закономірності, відкриті Грегором Менделем



Що таке гени й хромосоми?
Як вони забезпечують передавання спадкової інформації від покоління до покоління?

Як ви знаєте, перші наукові відомості про закономірності успадкування ознак було отримано Грегором Менделем. Пізніше було виявлено, що вони є справедливими аж ніяк не для всіх ознак (ми розглянемо це в наступних параграфах). Тим не менше, ці закономірності, відомі як закони Менделя, є дуже важливими — за ними успадковується велика кількість ознак, у тому числі й притаманних людині.

Схеми схрещування. Для визначення особливостей успадкування ознак можуть проводитися експериментальні схрещування (іл. 105). Організми, які мають певний варіант досліджуваної ознаки і чиї потомки виявляють цю ж ознаку від покоління до покоління, називають ***чистою лінією***. Схрещуючи особини, що належать до різних ліній, дослідники й дослідниці отримують ***гібриди***. Під час подальшого схрещування гібридів між собою отримують гібриди другого покоління. Ви пам'ятаєте, що диплоїдні організми мають по два алелі кожного гена (окрім тих, локуси яких розташовані в статевих хромосомах — їх ми розглянемо окремо). Якщо обидва алелі є однаковими, організм називається ***гомозиготним*** (від грец. ὁμός — однаковий), коли ж вони різні — ***гетерозиготним*** (від грец. ἕτερος — різний). Залежно від того, які саме алелі є в гомозиготних організмів, вони можуть бути домінантно або рецесивно гомозиготними, виявляючи

Іл. 105. Генетичний запис схеми схрещування

P: ♂ AA x ♀ aa

G: A a

F_1: Aa

P — батьківське покоління (англ. *parents*)

G — гамети (*gametes*)

F_1 — гібриди першого покоління (*filial generation*)



Визначте, які з наведених організмів є гомозиготними, а які гетерозиготними. Які ознаки (домінантну чи рецесивну) виявляють організми батьківського покоління та гібриди?

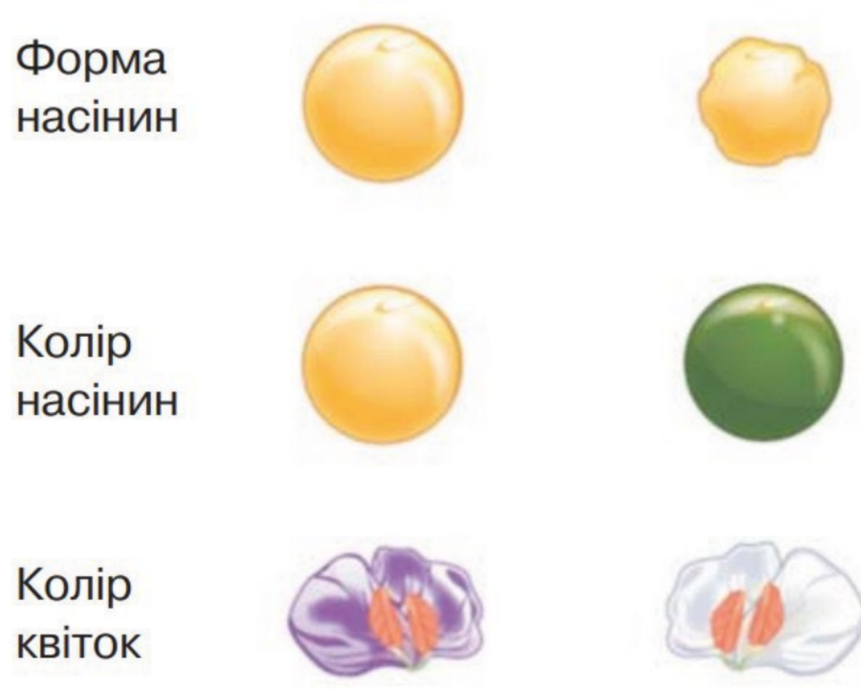
відповідні ознаки. Гетерозиготи виявляють домінантні ознаки. Під час запису генотипів різні гени зазвичай позначають різними латинськими буквами: домінантні алелі великими, рецесивні — малими (іл. 105). Інколи використовують перші букви алфавіту (ABCD…), інколи — букви слів, пов'язаних із ознаками.

Наприклад, організм, гетерозиготний за двома генами, матиме генотип AaBb. Він матиме домінантні ознаки, зумовлені генами A та B. Учених може цікавити один ген або кілька різних. У першому випадку схрещування називають ***моногібридним***. Якщо вивчають два гени водночас, то таке схрещування називатимуть ***дигібридним***, кілька — ***полігібридним***.

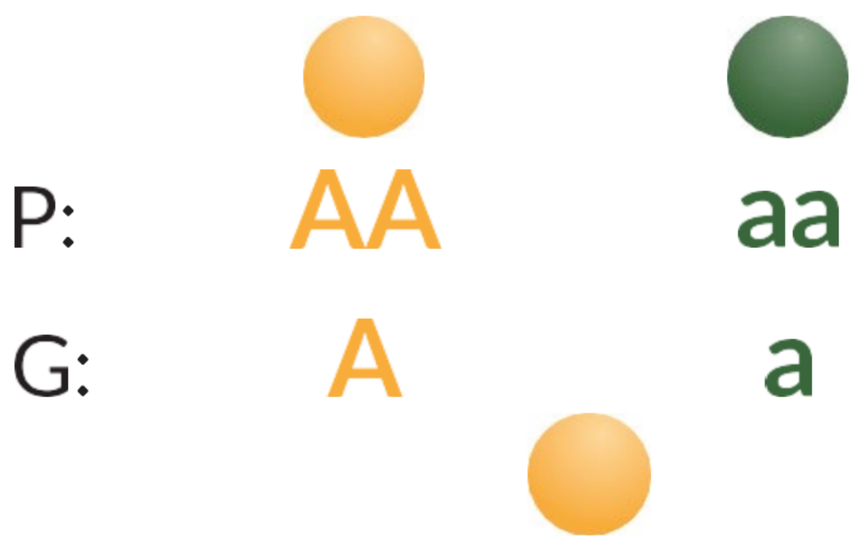
Перший закон Менделя. Одним із видів, що слугував дослідникові об'єктом для експериментів, був горох посівний. Ця рослина має багато зручних для аналізу зовнішніх ознак (іл. 106). Однією із вибраних ученим ознак був колір насіння. Горох має дві форми — із жовтим і зеленим насінням. Для експериментального схрещування було вибрано відповідні чисті лінії — жовту та зелену. Виявилося, що всі нащадки від такого схрещування завжди мали жовте насіння. Іншими словами, варіант ознаки одного з батьків завжди пригнічував варіант іншого. Як ви вже знаєте, таку ознаку називають домінантною. Описана закономірність відома як ***перший закон Менделя***, або ***закон одноманітності гібридів першого покоління***: у першому поколінні гібридів від схрещування гомозигот із домінантною та рецесивною ознаками виявляється лише домінантна ознака.

Ви вже знаєте те, чого не знав Мендель, а саме — як формування ознак пов'язане з генами й хромосомами. Чисті лінії є генетично одноманітними щодо аналізованої ознаки, оскільки від покоління до покоління стійко виявляють лише один її варіант. Рослини чистої лінії із жовтим насінням мають

Іл. 106. Деякі ознаки гороху, що успадковуються за законами Менделя



Іл. 107. Перший закон Менделя



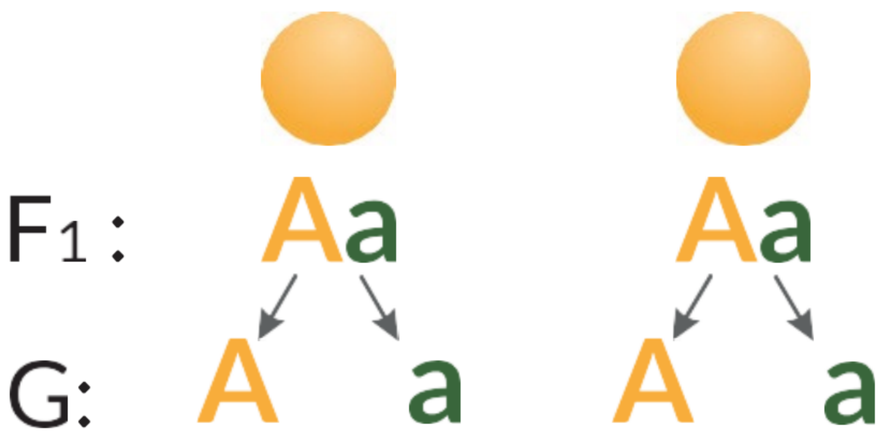
Назвіть генотипи й фенотипи організмів, схрещування яких наведено на схемі.

два домінантні алелі, їхній генотип — АА, вони є домінантно гомозиготними (іл. 107, Р). Рослини чистої лінії із зеленим насінням мають два рецесивні алелі, їхній генотип — аа, вони є рецесивно гомозиготними (іл. 107, Р). Унаслідок мейозу гомозиготні організми утворюють гамети, що містять лише властивий їм алель (іл. 107, G).

Отже, домінантно гомозиготні організми утворюватимуть винятково гамети з генотипом А, натомість рецесивно гомозиготні організми — гамети з генотипом а. Об'єднання їх у результаті запліднення призведе до формування гетерозиготного організму з одним домінантним та одним рецесивним алелями (іл. 107, F_1). За таких умов організм виявлятиме лише домінантну ознаку. Це і є поясненням першого закону Менделя.

Другий закон Менделя. Що ж відбудеться, якщо схрестити отримані гібриди першого покоління? На відміну від гомозигот, гетерозиготні організми (Аа) утворюють гамети двох різних типів: з алелями А й а у співвідношенні 50 : 50 (іл. 108, G). Для того щоб визначити, яким буде покоління від схрещування таких організмів, будують таблицю, що називається ***решіткою Пеннета*** (іл. 108, F_2). У заголовках її стовпців і рядків записують генотипи гамет, що їх продукують батьківські організми аналізованого схрещування. У комірках таблиці записують генотипи, отримані об'єднанням цих гамет. Як бачимо, у разі схрещування гетерозиготних організмів 25 % гібридів другого покоління будуть домінантними гомозиготами, 50 % — гетерозиготами й ще 25 % — рецесивними гомозиготами. Оскільки всі організми, які мають хоча б один домінантний алель, виявляють домінантну ознаку, жовтий колір насіння матимуть 75 % гібридів другого покоління, а решта 25 % будуть зеленими. Так виявляється закономірність, яку називають ***другим законом Менделя*** або ***законом розщеплення***: у поколінні, отриманому під час схрещування гібридів першого покоління,

Іл. 108. Другий закон Менделя





У котів домінантний алель L (*long hair*) зумовлює розвиток довгого волосся хутра, натомість рецесивний алель l зумовлює звичайне хутро.

Яка ймовірність народження довгошерстого кошеняти в пари гомозиготних за цим геном котів, якщо самець має довге волосся, а самиця — коротке?

Назвіть генотипи й фенотипи організмів, схрещування яких наведено на схемі.

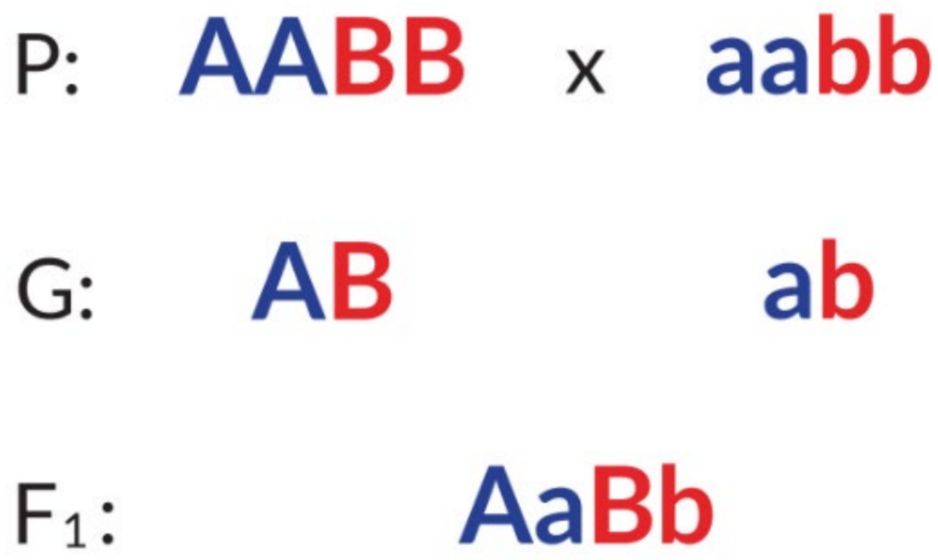
відбувається розщеплення за фенотипом та 3/4 покоління виявлятиме домінантну ознаку, а 1/4 — рецесивну.

Іншими словами, співвідношення між кількістю організмів, які мають різні варіанти ознаки, становитиме 3 : 1 на користь домінантної.

Як бачимо, рецесивні ознаки не зникають під дією домінантних, а лише «приховуються» і можуть виявитися в наступних поколіннях.

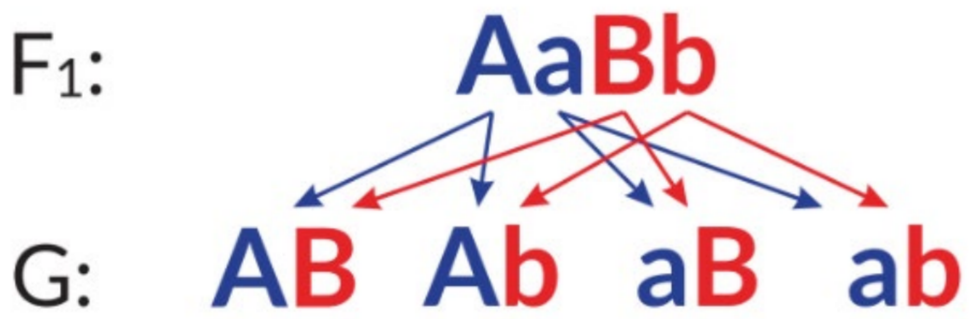
Третій закон Менделя. Уявно відтворивши експерименти Менделя, ми простежили за характером успадкування однієї із багатьох ознак гороху. Наступною ідеєю було встановлення особливостей успадкування двох ознак водночас. Мендель схрестив два організми, що різнилися не лише кольором насінин, а й формою. Один із батьківських організмів мав жовте гладеньке насіння, інший — зелене зморшкувате. Отримані в результаті схрещування гібриди першого покоління були одноманітними: їхнє насіння було жовтим і гладеньким, що є свідченням домінантності цих варіантів ознак. Позначивши ген, що відповідає за колір, буквою A, а ген, що відповідає за форму насіння, — буквою B, запишемо схему цього схрещування (іл. 109). Якими ж будуть фенотипи рослин, отриманих у результаті схрещування гібридів першого покоління? Схема цього схрещування має складнішу структуру. Ви пам'ятаєте, що, на відміну від гомозигот, гетерозиготні організми продукують гамети різного типу — із різними алелями. Парні алелі (наприклад A й a) містяться в різних хромосомах однієї пари. Під час формування статевих клітин кожна з них отримує лише одну хромосому з пари. Якщо локуси генів A та B містяться в різних парах хромосом, то різні комбінації алелів цих генів утворюються під час мейозу випадковим чином (іл. 110). Організм із генотипом AaBb продукуватиме гамети чотирьох різних типів у співвідношенні 1 : 1 : 1 : 1, тобто по 25 %. На основі цієї інформації можна заповнити решітку

Іл. 109. Дигібридне схрещування двох гомозигот



Гомозиготні організми формують один тип гамет

Іл. 110. Формування гамет у дигетерозиготному організмі



Гетерозиготні організми формують гамети різного типу

Якою буде кількість гамет, що їх формуватиме організм із генотипом AaBB? Запишіть їхні генотипи.

Пеннета (іл. 111). У результаті такого схрещування утворюються організми з усіма можливими варіантами ознак.

За таких умов найбільша частка припадає на носіїв обох домінантних ознак (9/16). Однаковою є частка організмів, що є рецесивними лише за кольором або лише за формою насіння (по 3/16). Найменшою ж є частка рослин, що мають обидві рецесивні ознаки (1/16). Отже, усього є чотири варіанти фенотипів, а співвідношення між ними становить 9 : 3 : 3 : 1 (іл. 111). Цю закономірність називають ***третім законом Менделя*** або ***законом незалежного успадкування ознак***: різні варіанти двох ознак розподіляються між потомками незалежно одна від одної. Важливо, що для його справедливості локуси аналізованих генів мають розташовуватися в різних хромосомах.

Аналізувальне схрещування. Ви вже вмієте визначати фенотип організму за його генотипом. Але інколи перед дослідниками й дослідницями постає протилежне завдання — визначити генотип організму з певним фенотипом. Якщо він має рецесивну ознаку, то відповідь однозначна: це рецесивна гомозигота (аа). А от генотип організму з домінантною ознакою є невизначеним: він може бути як домінантною гомозиготою (АА), так і гетерозиготою (Аа). Для того щоб відповісти на поставлене запитання, проводять схрещування з рецесивною гомозиготою (іл. 112). Наявність поміж гібридів розщеплення за фенотипом (1 : 1) є ознакою гетерозиготності організму, чий генотип потрібно проаналізувати.

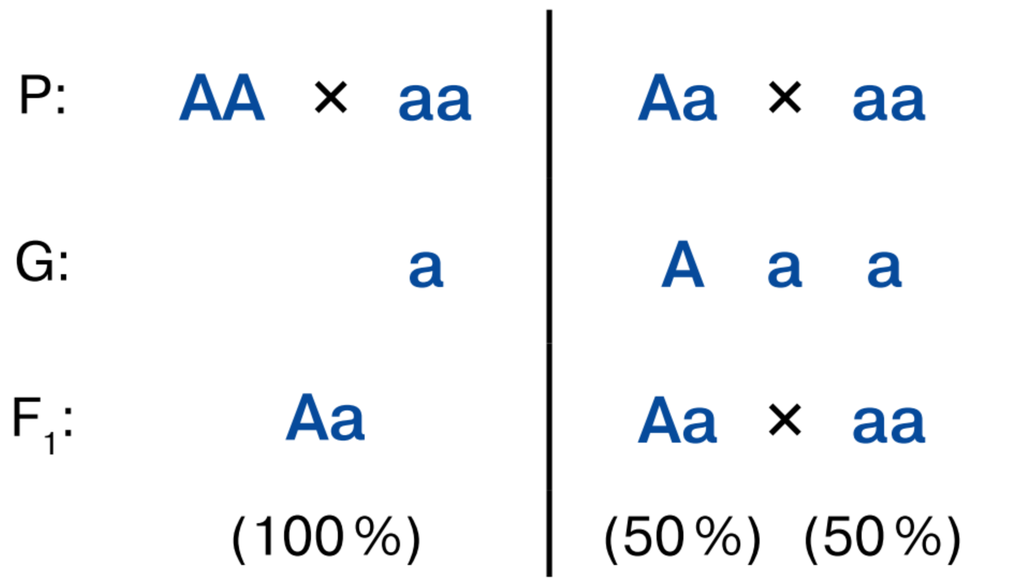
Знання законів Менделя дає змогу простежити успадкування багатьох ознак у культурних рослин, свійських тварин, а також у людини.

Менделівські ознаки людини. Відповідно до законів Менделя успадковується значна кількість ознак, зокрема й притаманних людині. Більша частина з них стосується розвитку різноманітних патологій або

Іл. 111. Генотипи та фенотипи другого покоління дигібридного схрещування

F_1	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	Aabb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Іл. 112. Принцип проведення аналізувального схрещування



Яким є співвідношення між рослинами з домінантним і рецесивним варіантами кожної із двох ознак окремо?

відхилень. Це цілком зрозуміло, адже ми пам'ятаємо, що більшість функцій у клітинах та організмах виконують певні білки, структура яких зумовлена генами. Зміни в нуклеотидній послідовності генів можуть призводити до змін в амінокислотній послідовності білків, а це, зокрема, може призвести до порушення їхньої структури та роботи, що буде виявлятися як хвороба. Генетичні захворювання людини ми проаналізуємо в § 33, а зараз назвемо кілька прикладів успадкування різних варіантів нормальних ознак. Однією із таких є резус-фактор крові людини. За цим параметром існують дві групи крові — резус-позитивна та резус-негативна. Еритроцити резус-позитивних людей містять особливий білковий антиген; у резус-негативних людей він відсутній. Цей білок кодується домінантним алелем гена RHD, локус якого міститься в першій хромосомі. Рецесивний алель не містить інформації про цей білок (точніше, він взагалі відсутній, але для спрощення ми можемо вважати, що він є, проте не працює). Гетерозиготні люди мають лише одну копію домінантного алеля, та цього достатньо для утворення резус-антигена. Саме тому успадкування цієї ознаки відбувається за домінантним типом. Іншим прикладом є наявність ластовиння — характерної рудої пігментації шкіри (іл. 113). Вона пов'язана з варіантами будови гена MC1R, локус якого розташований у 16-й хромосомі. Цей ген кодує білковий рецептор до певних гіпофізарних гормонів, які регулюють пігментацію шкіри. Ця ознака також успадковується за домінантним типом. У популярній літературі натрапляємо на помилкові відомості щодо простого менделівського успадкування багатьох зовнішніх ознак людини (форма брів, обличчя, вушної раковини, навіть досить кумедних, як здатність згортати язик трубочкою). Проте сучасні дослідження виявляють, що справжній характер їхнього успадкування є більш складним.

Іл. 113. Ластовиння — домінантна ознака



1. Опишіть схеми схрещування, які проводив Г. Мендель. **2.** Що таке моногібридне та дигібридне схрещування? **3.** Сформулюйте закономірності, які були встановлені Г. Менделем. **4.** Для чого використовується аналізувальне схрещування? **5.** Наведіть приклади менделівського успадкування ознак у людини.

§ 28. Неменделівське успадкування ознак



Які ви знаєте системи груп крові в людини, які в них існують групи крові?
Яка умова є важливою для дотримання третього закону Менделя?

Незважаючи на важливість законів Менделя, вони справедливі для успадкування не всіх ознак. У цьому та наступному параграфах ми розглянемо, що спричиняє відхилення від установлених закономірностей.

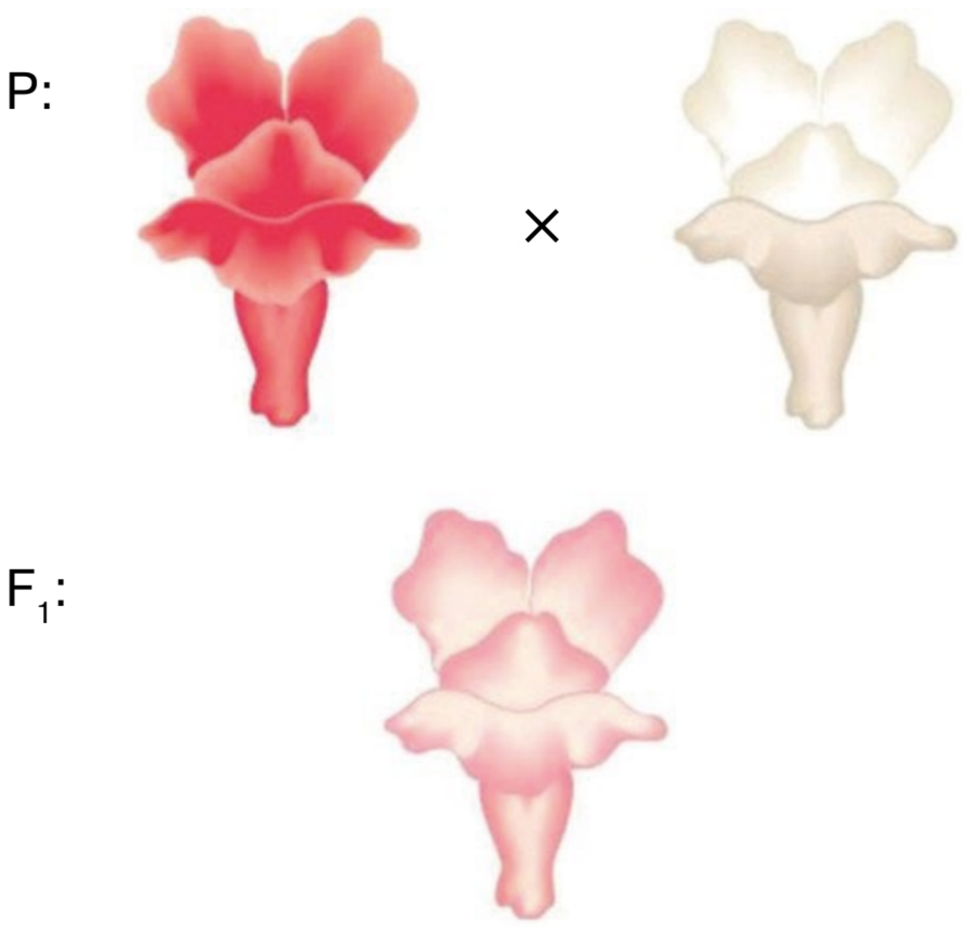
Взаємодія алельних генів. Деякі з цих відхилень зумовлені складною взаємодією алелів одного гена.

Раніше ми розглядали лише один варіант взаємодії алелів — повне домінування, коли домінантний повністю пригнічує рецесивний. Проте в деяких випадках гетерозиготні організми виявляють ознаку, що є проміжною між домінантною та рецесивною. Наприклад, у ротиків садових під час схрещування рослин із червоними та білими квітками утворюються гібриди з рожевими квітками. У гібридів другого покоління в цьому випадку спостерігатимуться червоні, рожеві та білі квітки у співвідношенні 1:2:1, що відповідає співвідношенню між носіями різних генотипів (іл. 114). Такий спосіб успадкування ознаки називають ***неповним домінуванням***.

Кодомінування — це тип взаємодії, за якої результатом поєднання двох різних алелів є новий варіант ознаки.

Прикладом цього є успадкування людиною IV групи крові за системою AB0 (іл. 115). У цьому випадку домінантним гомозиготам, рецесивним гомозиготам і гетерозиготам відповідатимуть три (а не два, як за повного домінування) різні фенотипи. Ви пам'ятаєте, що в цій системі виокремлюють

Іл. 114. Неповне домінування за успадкування кольору квіток у ротиків садових





Запишіть генотипи зображених рослин, використавши для позначення алелів букви A/a.

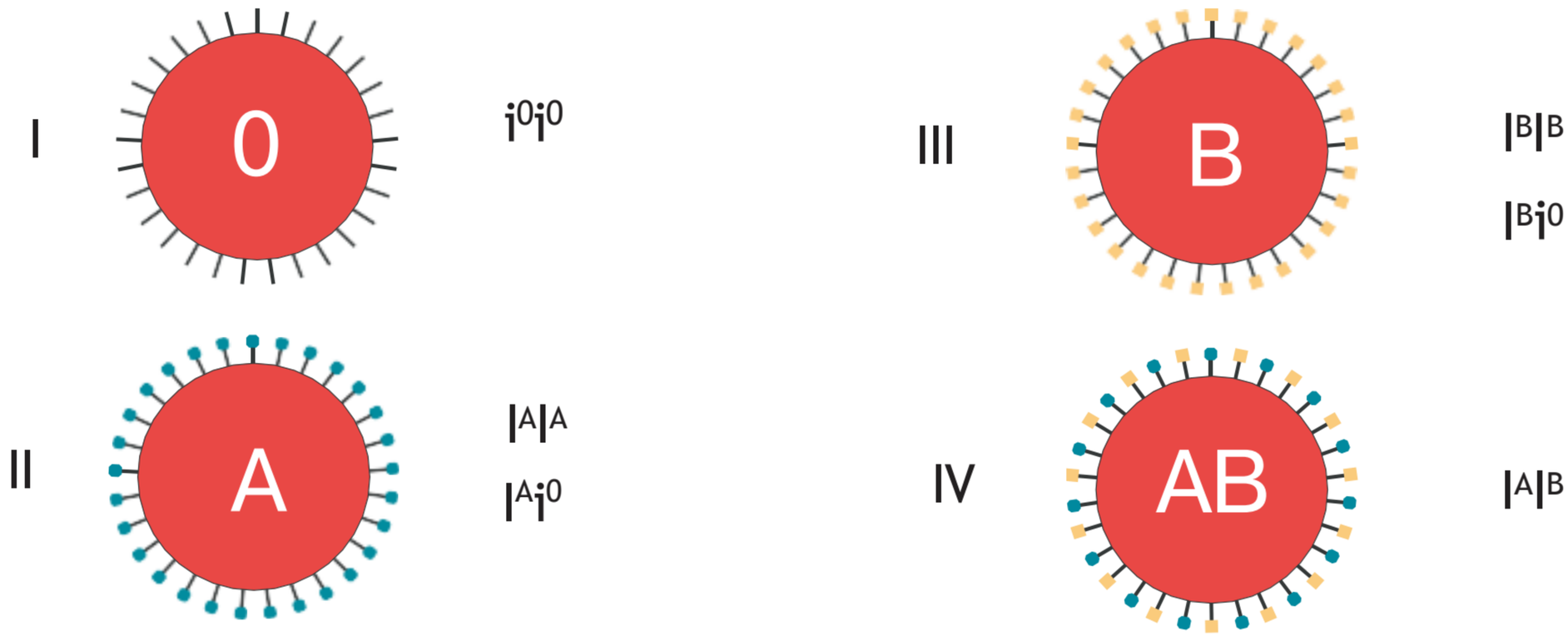


Поміркуйте: чи є неповне домінування доказом ідеї про змішування ознак батьків під час передавання наступним поколінням?

чотири групи крові, які позначають відповідними числами або ж буквами: I (0), II (A), III (B), IV (AB). Вияв цієї ознаки пов'язаний із наявністю на поверхні еритроцитів певних антигенів. Їх є два типи — A та B. Відсутність антигенів відповідає першій (або нульовій) групі, наявність одного з них — II та III групі, а одночасна наявність антигенів обох типів зумовлює появу нової ознаки — IV групи. На генетичному рівні ця ознака контролюється одним геном, у якого існує три, а не два алелі. Позначимо їх буквою I з різними індексами: i^0, I^A, I^B. Кожний організм має два алелі цього гена. Усього існує шість різних попарних комбінацій, тобто можливими є шість різних генотипів. Між алелями I^A, I^B та алелем i^0 спостерігають повне домінування, тобто генотипам I^Ai^0 та I^Bi^0 відповідатимуть групи крові A та B відповідно (саме тому алель i^0 позначено маленькою буквою: щоб підкреслити його рецесивність). А в разі одночасної наявності алелів I^A та I^B виявлятиметься не лише один із них, як можна було б очікувати за повного домінування, а обидва. Це і є кодомінування.

Летальна дія гена. Залежно від функцій, що їх виконує білковий продукт певного гена, зміни в його структурі можуть по-різному впливати на функціонування організму. У деяких випадках кодовані генами білки є настільки важливими, що мутації в них спричиняють загибель організму носія. Прикладом є порода менських кішок, головною характеристикою яких є відсутність хвоста. За цю ознаку «відповідає» домінантний алель одного з генів (T/t-tailless). У гомозиготному стані він призводить до загибелі організму. У гетерозиготному стані він виявляється розвитком укороченого хвоста й низкою інших особливостей розвитку. Тож породисті кішки можуть бути лише гетерозиготними. У разі їх схрещування 25 % гібридів будуть домінантними гомозиготами (загинуть під час внутрішньоутробного розвитку), 50 % — гетерозиготами (породистими),

Іл. 115. Схематична будова еритроцитів і генотипи людей із різними групами крові



На основі опису механізму успадкування груп крові в системі AB0 розв'яжіть задачі.

1. Які групи крові можуть мати діти в родині, де батько й мати мають III групу крові? **2.** Чи буде в родині, де батько має IV, а мати I групи крові, група крові дітей такою самою, як у когось із батьків?

і ще 25 % — рецесивними гомозиготами (звичайними за виглядом кішками). Співвідношення поміж народжених кошенят породистих і безпородних становитиме 2 : 1, що не відповідає другому закону Менделя (іл. 116).

Взаємодія неалельних генів. Наступні приклади стосуються відхилень від менделівського успадкування, зумовлених взаємодією генів, розташованих у різних локусах.

Епістаз — тип взаємодії неалельних генів, за якого домінантний (або рецесивний) алель одного гена пригнічує вияв іншого гена. Наприклад, у кішок є ген W/w (*white* — білий), домінантний алель якого пригнічує функціонування клітин, що відповідають за формування кольору хутра. Відповідно, тварини з домінантним фенотипом будуть білими. У рецесивних гомозигот «у гру вступають» інші гени, що визначають синтез і розподіл різних пігментів — такі кішки можуть бути рудими, чорними, плямистими, строкатими тощо. Наприклад, один з генів T/t (*tabby* — строкатий) забезпечує формування поширеного строкатого забарвлення шкіри (TT/Tt — строкатість, tt — однорідне забарвлення). Проте за наявності домінантного алеля W стан цього гена не має значення, адже він не може виявитися через нестачу пігментних клітин (іл. 117).

Полімерія — взаємодія неалельних множинних генів, що однаково впливають на розвиток однієї ознаки, ступінь вияву якої залежить від кількості певних алелів. Полімерні гени позначають однаковими буквами, а алелі одного локусу мають однаковий нижній індекс. Зазвичай за таким принципом успадковуються кількісні ознаки: колір шкіри, маса, зріст тощо (іл. 118). Буває також інший тип полімерії, за якого наявність ознаки визначається хоча б одним домінантним алелем у будь-якому з локусів кількох генів.

Іл. 116. Менська кішка



Комбінації генотипів і фенотипів:
TT — загибель плода
Tt — короткий хвіст (менська порода)
tt — нормальний хвіст

Іл. 117. Епістаз



Ліворуч — біле хутро (W_T_), праворуч — «дикий плямистий окрас» (wwT_).
Незалежно від алельного стану гену T/t алель W пригнічує його вияв

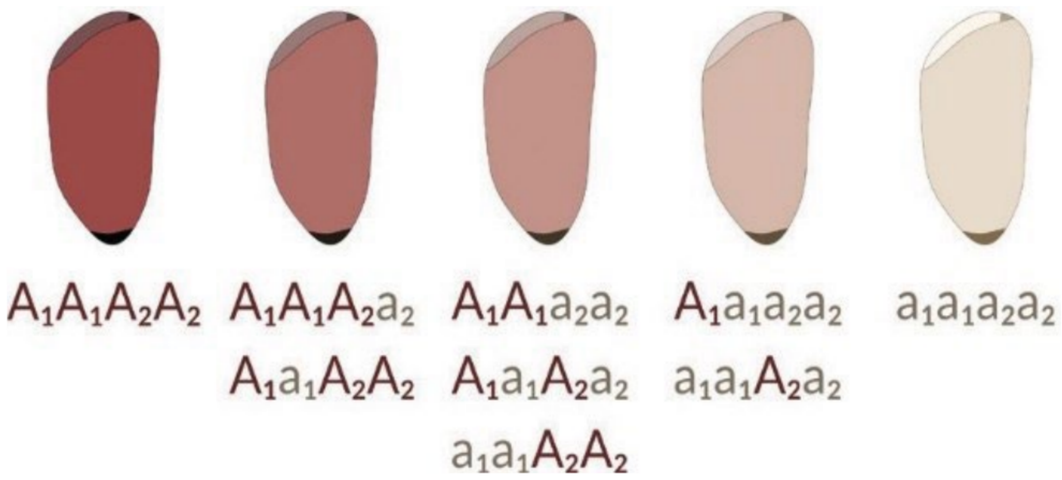
Поясніть, чому в потомстві породистих кішок можуть бути кошенята з нормальною довжиною хвоста.

Побудуйте решітку Пеннета й обчисліть співвідношення між різними фенотипами за схрещування котів із генотипами WwTt та WwTt.

Комплементарність — тип взаємодії неалельних генів (розташованих у різних локусах), за якої необхідною умовою вияву певної ознаки є одночасна наявність у кожному локусі хоча б одного домінантного алеля. За таких умов наявність домінантних алелів лише в одному локусі не призведе до появи цієї ознаки. Наприклад, у мухи дрозофіли є дві форми: з білими й червоними очима. Червоний пігмент утворюється внаслідок перетворення безбарвної речовини посередника, у якому беруть участь два різні ферменти, що кодуються двома генами. Кожен із цих генів має дві алельні версії: домінантну, що кодує робочий фермент, і рецесивну, що кодує непрацездатний білок. Ви пам'ятаєте, що ферментативні реакції у клітинах часто відбуваються послідовно — продукт однієї реакції є субстратом для іншої. Тому «вимкнення» хоча б одного з ферментів такого ланцюга порушить утворення кінцевого продукту, яким у цьому випадку є червоний пігмент. Для його формування потрібна послідовна дія двох ферментів, тобто одночасна наявність двох домінантних алелів.

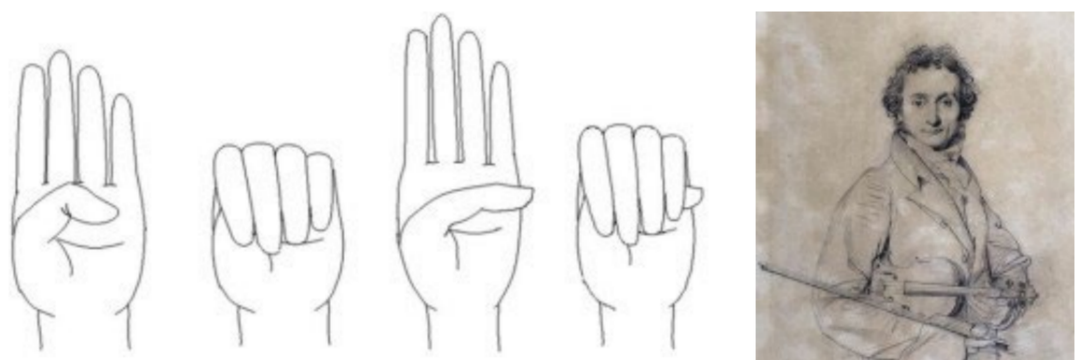
Множинна дія гена (плейотропія) полягає в одночасному контролі одним геном кількох різних ознак. Зазвичай це властиво для генів, які кодують ферменти, що беруть участь у здійсненні надзвичайно важливих для функціонування організмів реакцій. Неправильний їх перебіг водночас позначається на багатьох процесах і функціях. Одним із прикладів цього є синдром Марфана (іл. 119). Його причиною є домінантна мутація в гені, що кодує один із білків сполучної тканини. Неправильна структура цього білка спричиняє порушення в структурі тканини. Через це в людей із синдромом Марфана виявляється комплекс різних симптомів: видовжені кінцівки, витягнуті пальці, дефект будови кришталика ока та кровоносної системи.

Іл. 118. Приклад полімерного успадкування кольору насіння



За ознаку відповідають два гени, її вияв залежить від сумарної кількості домінантних алелів у будь-якому з двох локусів

Іл. 119. Патологічна довжина пальців за синдрому Марфана



Одним із найвідоміших людей із синдромом Марфана був видатний музикант Нікколо Паганіні

Перевірте це, порахувавши кількість домінантних і рецесивних алелів у наведених генотипах.

1. Назвіть випадки відхилень від менделівського успадкування в разі взаємодії алельних генів. **2.** Порівняйте неповне домінування та кодомінування. **3.** У чому полягає летальна дія гена? **4.** Як виявляється множинна дія гена? **5.** Опишіть випадки взаємодії неалельних генів.

§ 29. Зчеплене успадкування ознак

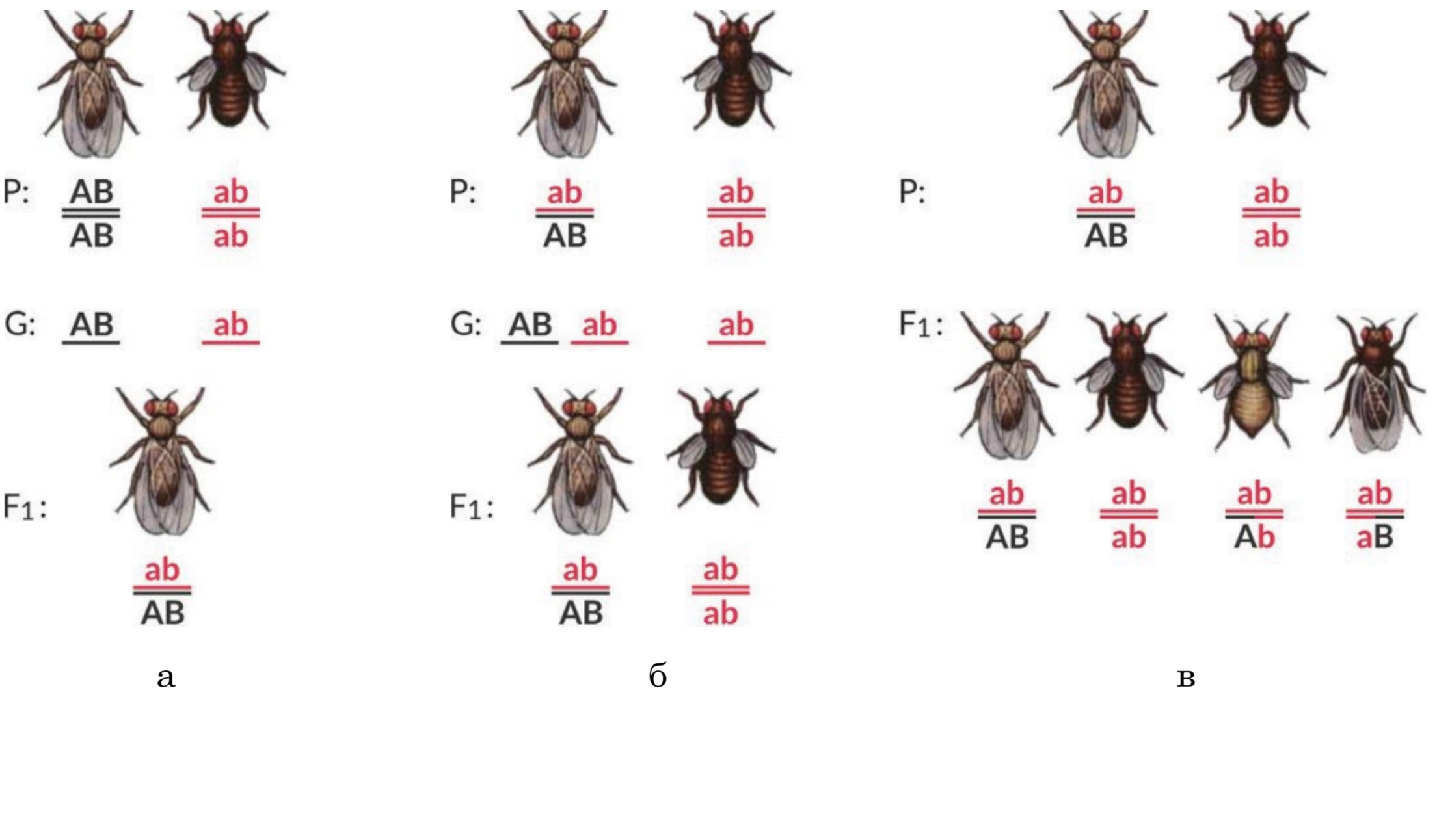


Що таке кросинговер?
Що таке первинні та вторинні статеві ознаки в людини?

Досі ми розглядали успадкування генів, локуси яких розташовані в різних хромосомах. Під час формування статевих клітин у процесі мейозу хромосоми передаються як одна цілісна одиниця. Це означає, що всі алелі, які містяться в одній хромосомі, передаються від батьківського до наступного покоління єдиною групою, а не по одному гену. Таку особливість називають ***зчепленим успадкуванням***. Ознаки, зумовлені зчепленими генами, успадковуватимуться не незалежно, як це відбувається згідно з третім законом Менделя.

Зчеплене успадкування. Феномен зчепленого успадкування та його закономірності встановив американський біолог Томас Морган. Об'єктом його досліджень була муха дрозофіла. Вона має всього 4 пари хромосом, у яких містяться близько 14 000 генів. Це означає, що велика кількість ознак має успадковуватися зчеплено. Морган вибрав дві: колір тулуба (сірий — домінантний, чорний — рецесивний) і довжину крил (нормальна — домінантна, недорозвинуті — рецесивна). Локуси генів, що відповідають за наведені ознаки, містяться в одній хромосомі й позначаються AB (іл. 120а). Схрестивши сіру муху з нормальними крилами та чорну з недорозвиненими, він отримав гібриди, які мали обидві домінантні ознаки (іл. 120а). Наступне схрещування було проведено з організмом, гомозиготно рецесивним за обома генами (ви пам'ятаєте, що таке схрещування називається аналізувальним).

Іл. 120. Схеми схрещувань, які проводив Т. Морган

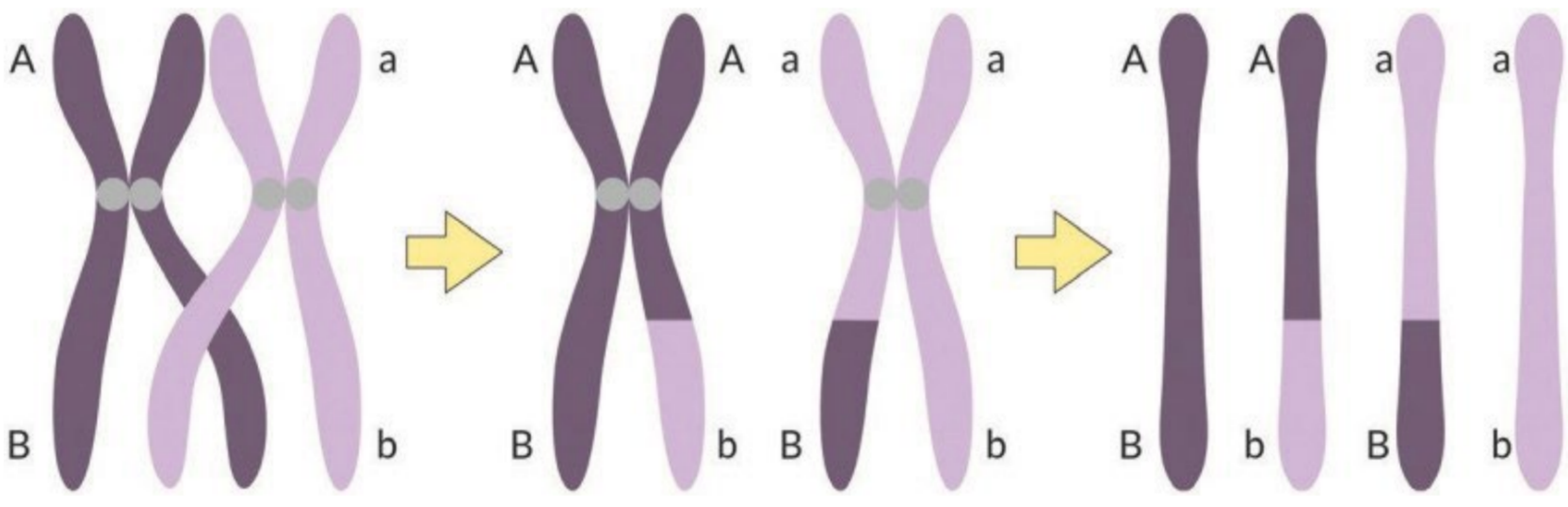


а б в

Утворений у результаті попереднього схрещування гібрид має дві хромосоми: в одній містяться два домінантні алелі, в іншій — два рецесивні (іл. 120б). Гомозиготний організм продукує лише один тип гамет. Отже, можна було б очікувати в поколінні від наступного схрещування появу мух із двома фенотипами — сірих із довгими крилами й чорних із короткими крилами у співвідношенні 1:1 (іл. 120б). Але реальність виявилася дещо іншою: крім описаних двох фенотипів, з'являлися мухи із сірим тілом і короткими крилами, а також із чорним тілом і нормальними крилами (іл. 120в). У таких мух мають бути хромосоми з комбінаціями алелів (Ab) і (aB), яких немає в батьківських організмів (іл. 120в). Ці хромосоми формуються під час кросинговеру (іл. 121). Кросинговер відбувається випадково в довільному місці хромосоми, тому в кожному конкретному випадку це не обов'язково буде на ділянці між генами A та B — частина утворених гамет залишиться незміненою. В описаному експерименті (іл. 120в) сумарна кількість несхожих на батьківські організми мух становить 17 %. Імовірність того, що кросинговер відбудеться між двома конкретними генами, залежить від відстані між їхніми локусами: що вона більша, то вища ймовірність кросинговеру. Тому в генетиці прийнято вимірювати відстань між генами у відсотках кросинговеру. Цю одиницю виміру називають ***сантиморган***. На основі таких відстаней будують ***карти хромосом***, на які наносять послідовності локусів різних генів і відстані між ними (іл. 122).

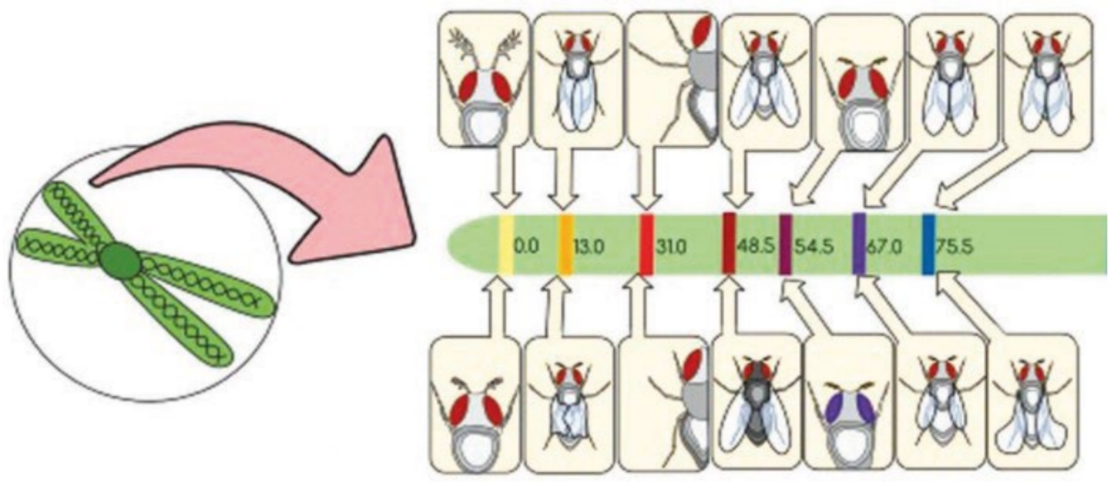
Успадкування, зчеплене зі статтю. Закономірності зчепленого успадкування, що їх ми розглянули вище, стосуються генів, розташованих в аутосомах. На відміну від них, статеві хромосоми різняться за набором генів. Y-хромосома має найменший розмір (у ній близько 50 генів). Її гени кодують білки, які регулюють розвиток ембріона за чоловічим типом,

Іл. 121. Схема утворення гамет унаслідок мейозу



Утворюються такі хромосоми: одноколь-рові — ідентичні материнським, різноколь-рові — утворені в результаті рекомбінації

Іл. 122. Генетична карта фрагмента однієї з хромосом дрозофіли

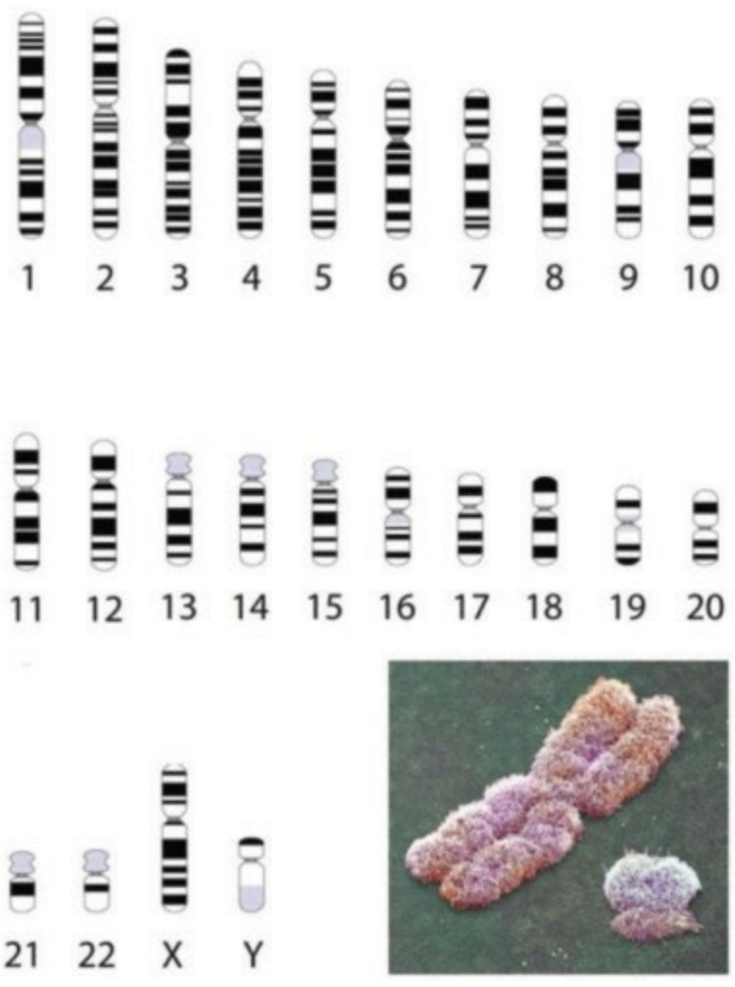


Верхній ряд — домінантні ознаки, нижній — рецесивні

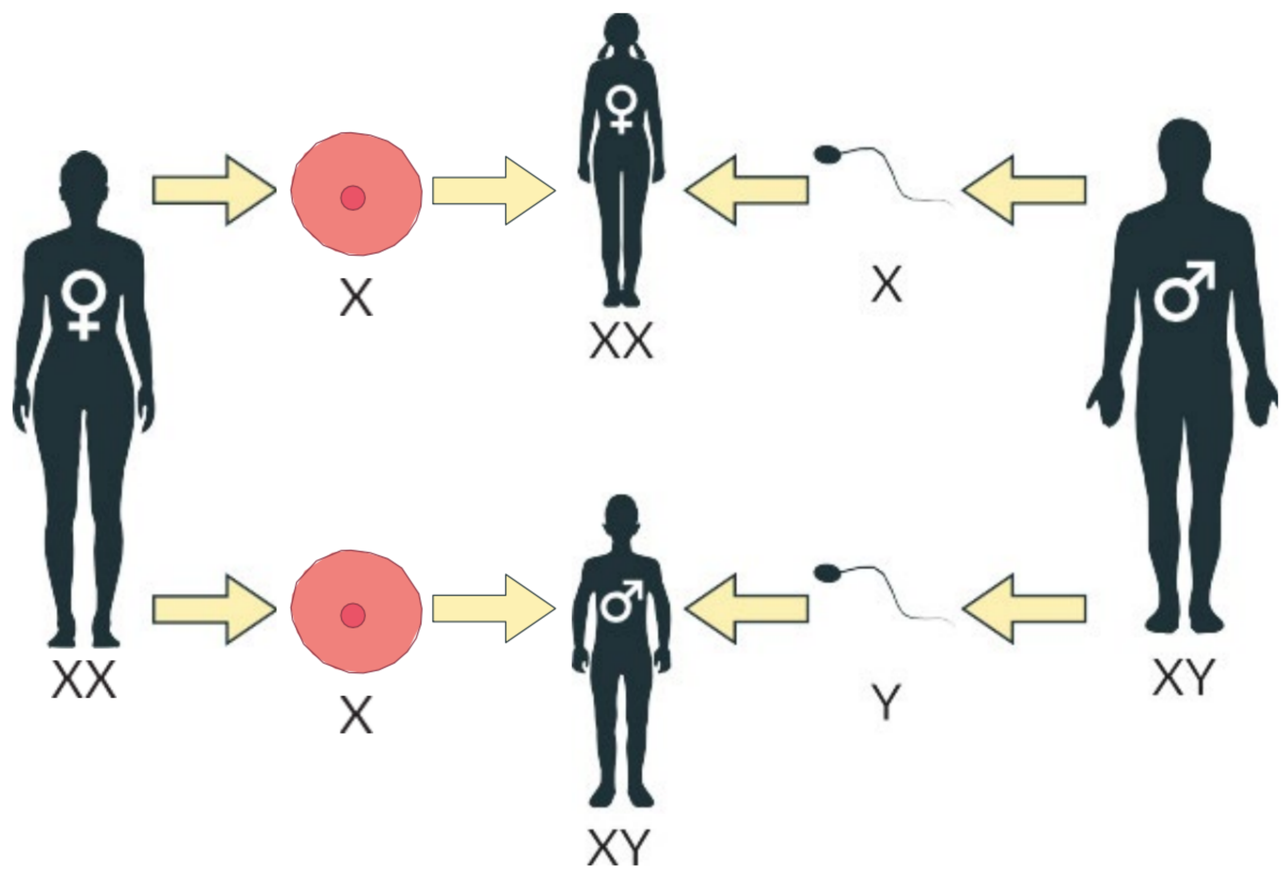
а також низку білків, необхідних для утворення сперматозоїдів. Гени в складі Х-хромосоми (~800) мають більш різноманітні функції. Наприклад, у ній є гени, які кодують два з трьох світлочутливих білків фоторецепторів ока; деякі білки, необхідні для згортання крові, та інші ферменти. Оскільки наявність тих чи інших хромосом зумовлює не лише вияв ознак, які забезпечуються наявними в них генами, а й стать організму, успадкування таких ознак є більш складним. Воно називається ***зчепленим зі статтю***. Для розуміння його особливостей передусім проаналізуємо механізми визначення статі під час запліднення та ембріонального розвитку в людини.

Хромосомне визначення статі в людини. Ви знаєте, що в разі статевого розмноження багато видів мають морфологічно та фізіологічно відмінні статі. Це ж стосується і людини. Формування організмів різної статі відбувається по-різному ще в періоді ембріонального розвитку. Вирішальне значення при цьому має пара особливих хромосом, які називають статевими. У людини вони об'єднуються в 23-ю пару (іл. 123). Як зазначалося вище, виокремлюють Х- та Y-хромосоми. Жінки мають дві Х хромосоми, а чоловіки по одній Х і Y-хромосомі (іл. 124). У людини жіноча стать називається ***гомогаметною***, оскільки під час мейозу в організмі формуються яйцеклітини, які містять лише Х-хромосому. Чоловіча ж стать є ***гетерогаметною***: одна половина сперматозоїдів містить Х, а інша — Y-хромосому. Теоретична ймовірність народження хлопчика або дівчинки становить 50 % і 50 % відповідно, а стать нового організму визначається під час запліднення тим, яку статеву хромосому має сперматозоїд, що бере в ньому участь. Цікаво, що на практиці ця ймовірність є дещо іншою: на 106 хлопчиків народжується 100 дівчаток. Причини цього явища остаточно не з'ясовані. Подібний (XY) механізм визначення статі притаманний і іншим ссавцям.

Іл. 123. Схематичне зображення каріотипу людини та мікрофотографія статевих хромосом



Іл. 124. Хромосомний механізм визначення статі в людини

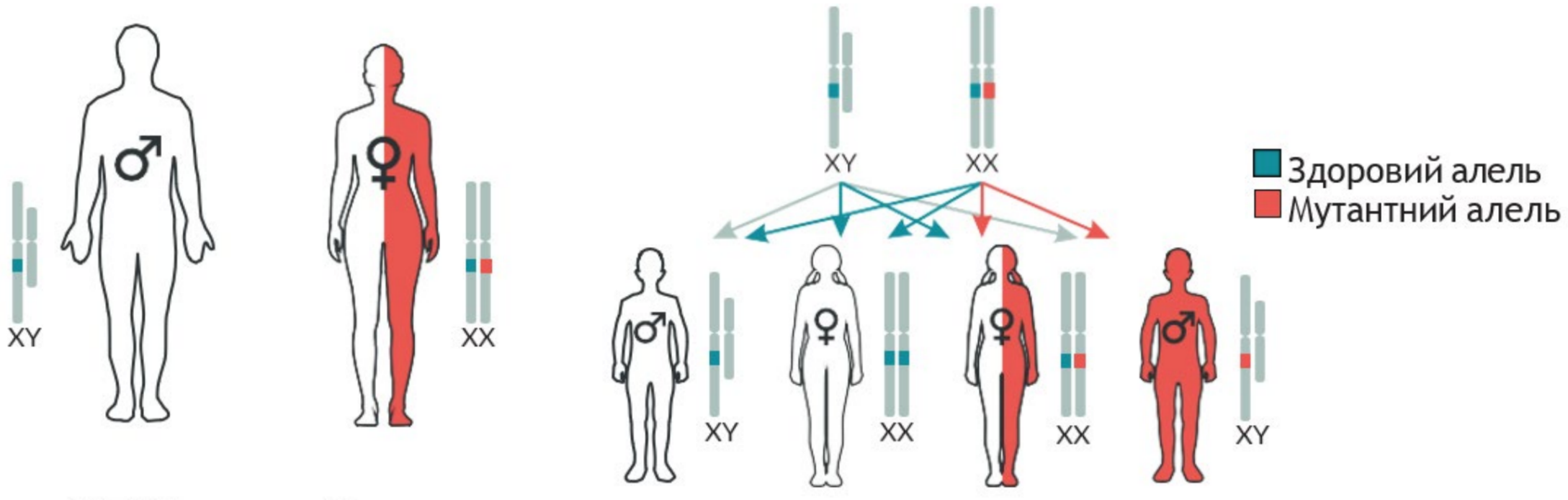


Інші ж види можуть мати відмінні механізми визначення статі. Так, існують види, у яких гетерогаметною статтю є жіноча (деякі птахи, рептилії тощо)

Закономірності зчепленого зі статтю успадкування. Мутації в генах, локуси яких розташовані в Х-хромосомі людини, можуть призводити до розвитку дальтонізму, гемофілії тощо. За таких умов жінки мають два алелі таких генів, а чоловіки — лише один. Тому в чоловіків ознака, за яку відповідає той чи інший алель, виявлятиметься відразу, незалежно від того, який він — домінантний чи рецесивний. Як приклад розглянемо успадкування дальтонізму (іл. 125). Х-хромосома містить гени червоно- та зеленочутливих рецепторів ока. Рецесивна мутація в одному з них призводить до втрати відповідної чутливості, і людина погано розрізняє кольори в червоно-зеленій ділянці спектра. Наявність мутантного алеля в чоловіка призводить до розвитку в нього дальтонізму. Для того щоб хвороба виявилася в жінки, у неї мають бути два такі алелі, імовірність чого є набагато меншою.

У гетерозиготному стані, коли жінка має одночасно нормальний і мутантний алелі, вона не хворіє, але є носієм хвороби. Що буде, якщо здоровий чоловік одружиться зі здоровою жінкою, яка є носієм хвороби? Діти різної статі отримають від батьків різні хромосоми. Так, дівчата отримають від батька Х-хромосому з нормальним алелем, тому вони всі будуть здоровими. Другу хромосому вони отримають від матері, і в 50 % дівчат вона матиме нормальний алель, а в 50 % — мутантний. Тому половина дочок у цьому шлюбі будуть носіями хвороби, але не хворітимуть. Інша ситуація з хлопцями: від батька вони отримають Y-хромосому, у якій немає такого гена. Х-хромосому вони отримають від матері, й у половині випадків вона міститиме мутантний алель. Половина синів, народжених у цьому шлюбі, успадкують дальтонізм. У здорового подружжя, в якому мати є носієм хвороби, у 25 % випадків може народитися дитина, хвора на дальтонізм, і вона буде виключно чоловічої статі.

Іл. 125. Успадкування рецесивної ознаки, зчепленої зі статтю



1. Дайте означення поняття *зчеплене успадкування*. **2.** Опишіть експерименти Т. Моргана. **3.** Яким є механізм визначення статі в людини? **4.** Поясніть закономірності зчепленого зі статтю успадкування.

§ 30. Цитоплазматична спадковість



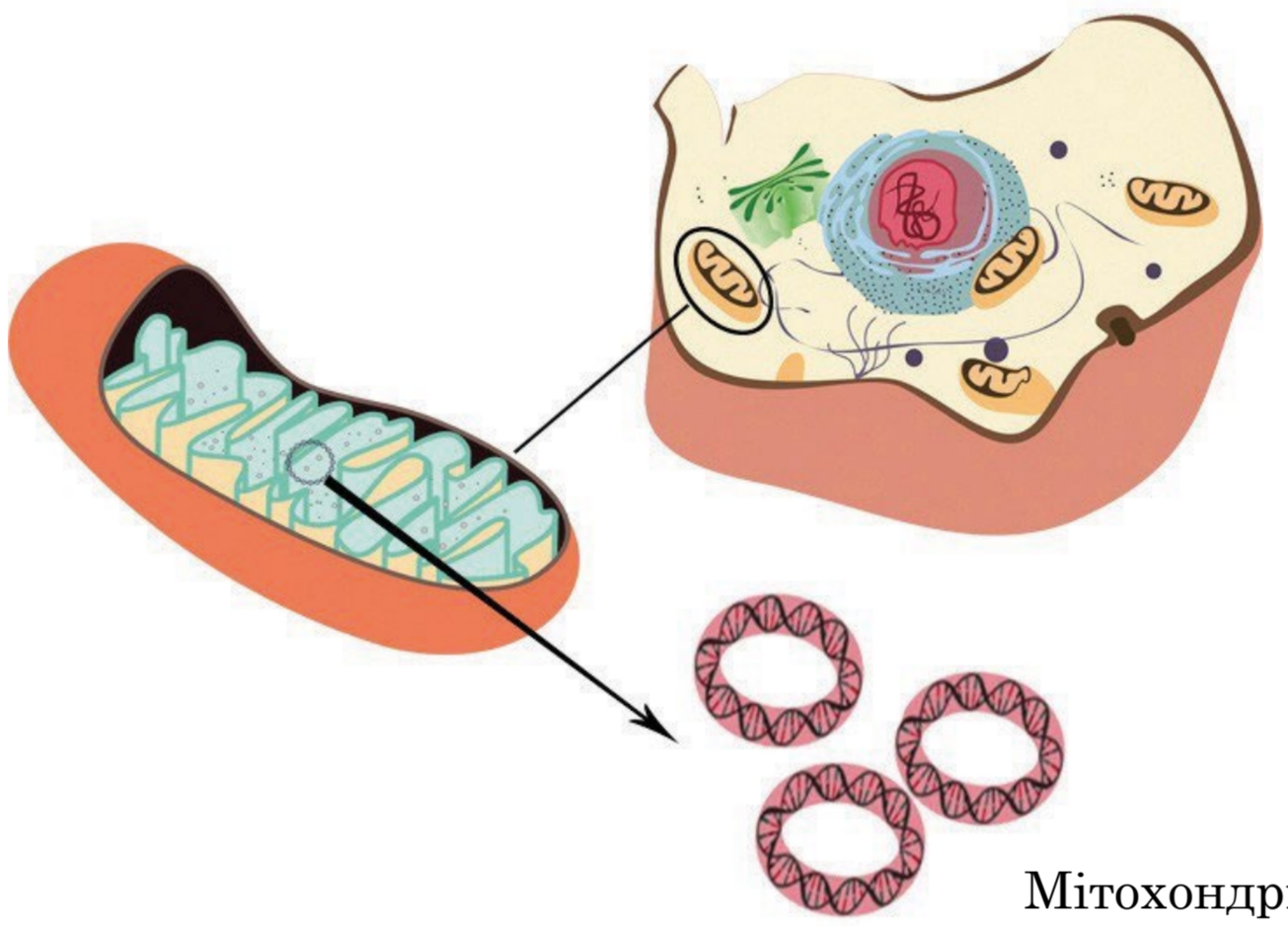
Чому мітохондрії та хлоропласти називають напівавтономними органелами?
Які функції притаманні мітохондріям і пластидам?
Яку будову мають статеві клітини людини?

У попередніх параграфах ми з'ясували, як гени, що містяться в хромосомах ядра, можуть визначати різні ознаки, як ці гени передаються від покоління до покоління та до яких закономірностей успадкування ознак це призводить. Проте ви пам'ятаєте, що не весь геном евкаріотичних клітин міститься в ядрі — частина ДНК зберігається в мітохондріях і пластидах. Така ДНК також містить гени, які можуть зумовлювати певні ознаки (іл. 126).

Успадкування ознак, за які відповідають гени, що містяться в ДНК мітохондрій або пластид, називають **цитоплазматичним,** або **позаядерним**.

Особливості цитоплазматичного успадкування. Геном мітохондрії складається з кількох кільцевих молекул ДНК (мтДНК). Розмноження цих органел відбувається шляхом простого поділу, а метаболічно активні клітини можуть мати сотні таких органел. Тому в разі виникнення в мтДНК мутації, у клітині швидко може накопичитися значна кількість копій ушкодженого гена, що негативно вплине на роботу мітохондрій, а отже — на енергетичний обмін у клітині. Це може супроводжуватися розвитком патологій. Їхнє успадкування відрізняється від того, що ми розглядали раніше. Ви пам'ятаєте, що в багатьох організмів, включаючи людину, статеві клітини мають суттєво різну будову. Сперматозоїди є невеликими клітинами, що

Іл. 126. Розташування в клітині позаядерної ДНК





Порівняйте ядерну та мітохондріальну ДНК.

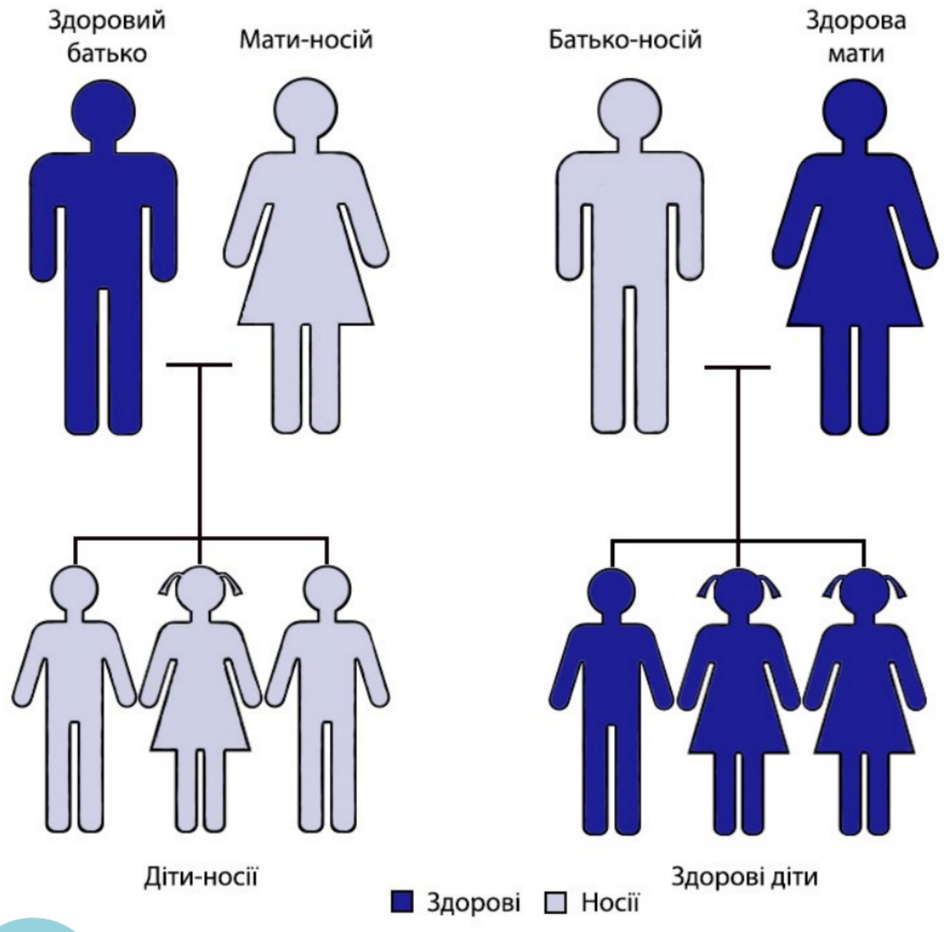
містять мало цитоплазми та мітохондрій (у людини це одна спіральна органела). Натомість яйцеклітини мають порівняно великий об'єм цитоплазми зі значною кількістю мітохондрій (сотні або тисячі).

Під час запліднення всередину яйцеклітини проникає лише ядро, а відтак мітохондріальні гени батьківського організму не передаються до зиготи. Навіть якщо мітохондрія зі сперматозоїда й проникне в цитоплазму яйцеклітини, вона буде зруйнована. Отже, дитина отримує мітохондріальні гени лише від своєї матері (іл. 127). Відповідні ознаки будуть виявлятися незалежно від статі. Іншими словами, якщо мати має мітохондріальне захворювання, його матимуть усі її діти. Від батька ж такі гени дітям не передаються.

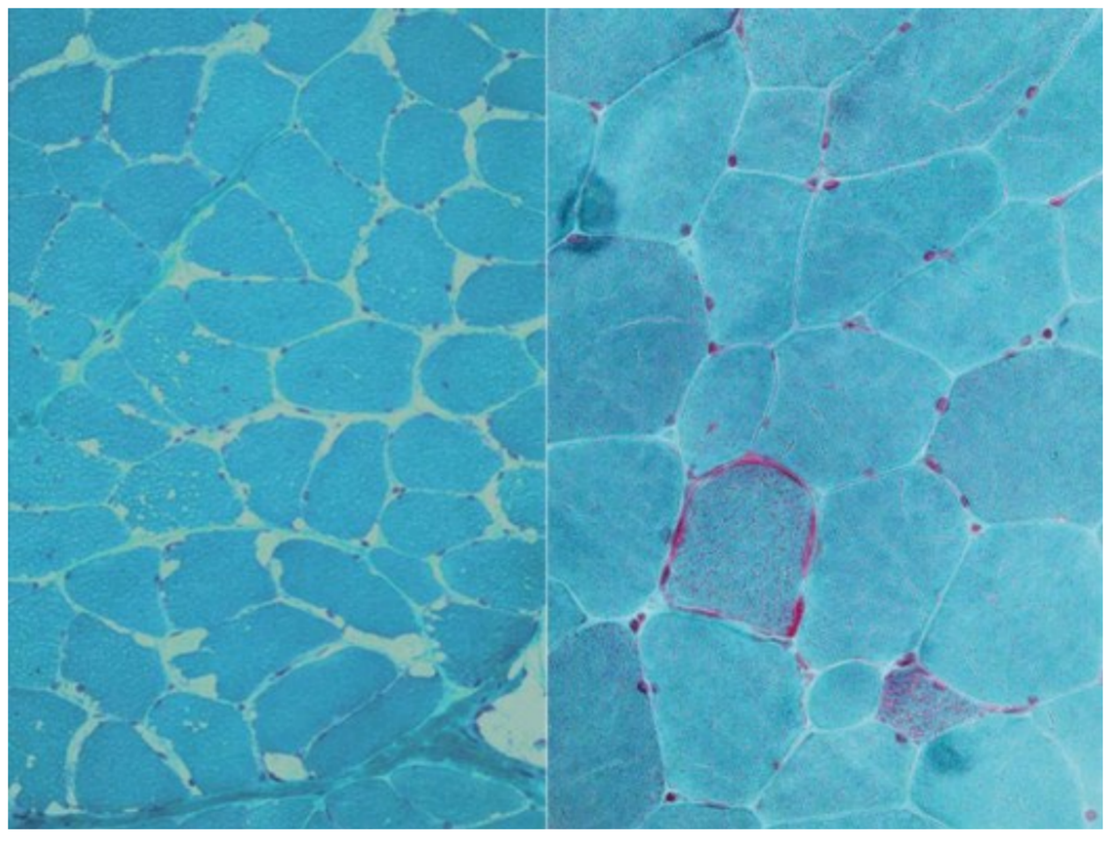
У рослин, окрім мітохондрій, є пластиди, які також мають власну ДНК. Успадкування ознак, зумовлених наявними в ній генами, має подібні закономірності.

Цитоплазматична спадковість у людини. У людини позаядерна ДНК міститься лише в мітохондріях. Вони мають 37 генів, які кодують деякі потрібні для функціонування цих органел білки, а також необхідні для біосинтезу білків тРНК та рРНК. Розлад роботи мітохондрій може призвести до порушення синтезу ними АТФ, а відтак — впливати на енергетичний обмін клітин і функціонування всього організму. Із цього випливає, що люди з ураженнями мітохондріальних функцій матимуть такий набір симптомів: уповільнений ріст, м'язова слабкість, підвищена втомлюваність, серцева недостатність і низка проблем із функціонуванням нервової системи, нирок і дихання — ураженими будуть усі органи, які потребують значної кількості енергії для своєї роботи. Прикладом є синдром MERRF (***M****yoclonic Epilepsy with* ***R****agged* ***R****ed* ***F****ibers*). Він пов'язаний із мутацією у гені, що кодує одну з тРНК (переносить лізин). Це призводить до порушення синтезу білків, до складу яких входить відповідна амінокислота (іл. 128).

Іл. 127. Особливості мітохондріального успадкування в людини



Іл. 128. Перерізи нормального (зліва) та ураженого (справа) м'язів за синдрому MERRF



1. Дайте означення поняття *цитоплазматичне успадкування*. **2.** Наведіть приклади цитоплазматичної спадковості в людини. **3.** Поясніть її біологічну роль.

§ 31. Поняття про мінливість. Спадкова мінливість



Як гени визначають ознаки?
Що таке надлишковість генетичного коду?

Протягом попередніх років ви ознайомилися з різноманітністю живої природи, вивчивши будову та функціонування бактерій, грибів, рослин і тварин.

Мінливість — властивість організмів набувати нових ознак у межах виду.

Мінливість відіграє важливу роль у забезпеченні еволюційного процесу. Зумовлена мінливістю різноманітність форм організмів має вирішальне значення для стійкості екосистем. За особливостями передавання від покоління до покоління розрізняють ***спадкову*** та ***неспадкову*** форми мінливості (іл. 129). Спадкова (генетична) мінливість зумовлена зміною генетичного матеріалу: нуклеотидної послідовності генів, структури певних хромосом, набору хромосом у ядрі тощо. Розрізняють комбінативну та мутаційну форми спадкової мінливості (іл. 129).

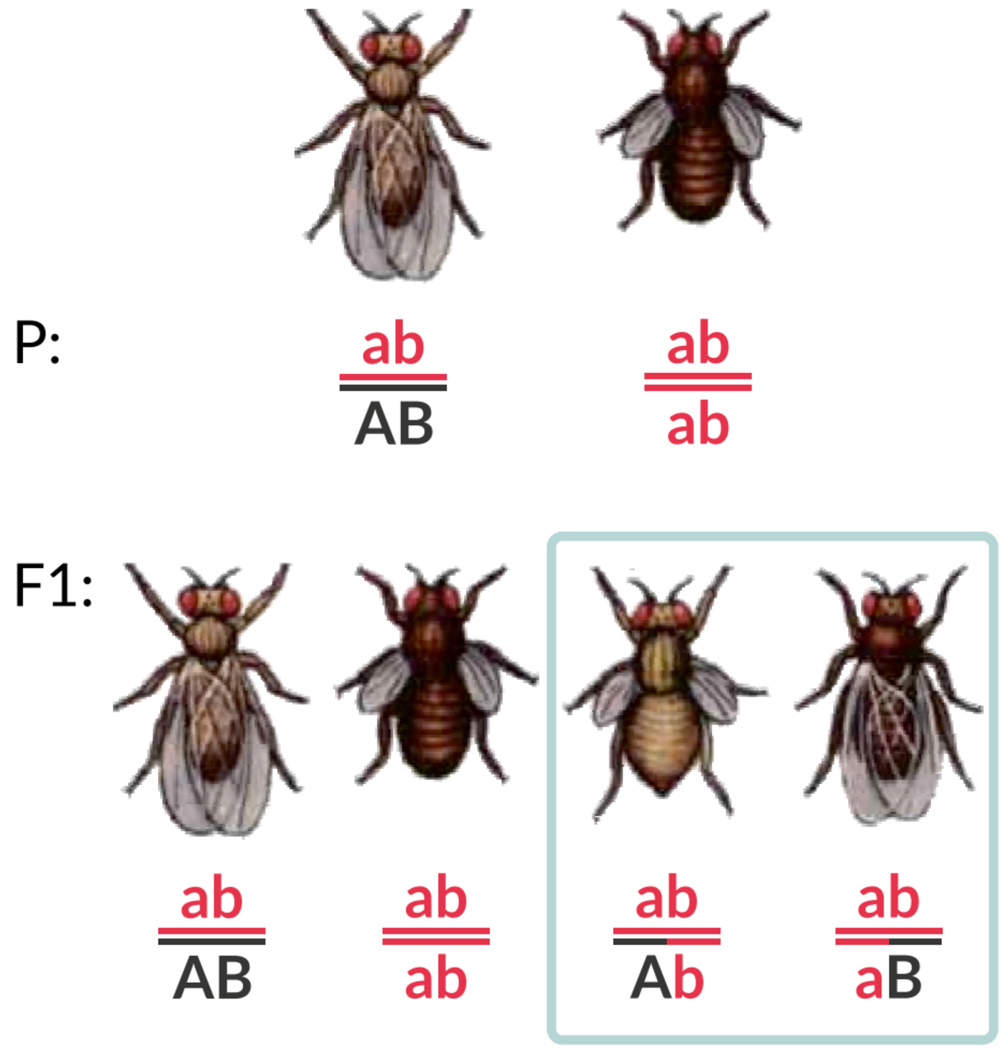
Комбінативна мінливість зумовлена утворенням різних наборів, комбінацій наявних алелів (без зміни структури генів, тобто без появи нових алелів). Її причинами можуть бути кросинговер, незалежне розходження хромосом до дочірніх клітин під час мейозу й випадкове об'єднання гамет під час запліднення (іл. 130).

Мутаційна мінливість. ***Мутації*** — це стійкі (які не проходять із часом) зміни спадкової інформації, що призводять до появи нових або зміни наявних ознак і можуть передаватися наступним поколінням.

Іл. 129. Класифікація форм мінливості



Іл. 130. Формування нових комбінацій алелів унаслідок кросинговеру



Процес виникнення мутацій називають **мутагенезом**. Мутації можуть виникати ***спонтанно*** (мимовільно) або спричинюватися різними чинниками — ***мутагенами***. Мутагени залежно від їхньої природи поділяють на ***хімічні*** (йони важких металів, деякі органічні сполуки тощо), ***фізичні*** (йонізувальне та ультрафіолетове випромінювання тощо) та ***біологічні*** (віруси). Вони можуть чинити більш інтенсивний вплив на людину, якщо вона живе на екологічно забруднених територіях або недбайливо ставиться до власного здоров'я. Так, дим, який вдихає людина під час куріння цигарок, містить речовини, що посилюють мутагенез, а це може призвести до розвитку онкологічних захворювань. Шкідливою звичкою є надто тривале перебування «на сонці» влітку. Удень сонячне випромінювання містить велику кількість ультрафіолетових променів, які поглинаються шкірою і можуть спричинити негативні зміни (іл. 131). Швидкість спонтанного виникнення точкових мутацій є порівняно стабільною. Сучасні дослідження свідчать, що в людей за покоління виникає зазвичай 5–10 мутацій, які відрізняють їх від батьків.

Типи мутацій. Залежно від характеру змін генетичного матеріалу виокремлюють такі типи мутацій: генні, хромосомні та геномні.

Генні, або ***точкові***, мутації стосуються структури лише одного гена. Часто це заміна одного нуклеотиду (іл. 132). Якщо мутація припадає на інтронні ділянки генів, які не кодують структуру білків, вона, можливо, зовсім не матиме наслідків. Заміна нуклеотиду в кодувальній частині гена може мати різні наслідки. Однією з властивостей генетичного коду є надлишковість: деякі амінокислоти кодуються більше ніж одним триплетом. Зміну кодону ДНК, унаслідок якої кодована амінокислота не змінюється, називають **синонімічною**. Тобто надлишковість генетичного коду є одним із механізмів захисту від шкідливого впливу мутацій.

Іл. 131. Вплив ультрафіолетового випромінювання



Іл. 132. Механізм виникнення точкової мутації



Вироблення шкірою меланіну під час засмагання є захисною реакцією від негативної дії ультрафіолету. Яку форму мінливості ілюструє цей приклад?

Опишіть генні мутації, використавши схему.

Проте більшість замін змінює зміст мутованого кодону порівняно з оригінальним. За таких умов у синтезованому білку з'явиться інша амінокислота, що може спричинити погіршення або повну втрату його функціональності. Такий тип мутації називають ***міссенс*** (або несинонімічною). Наприклад, мутація в гені однієї із субодиниць гемоглобіну: тимідиловий нуклеотид триплету ЦТЦ замінюється на аденіловий і утворюється триплет ЦАЦ. Це призводить до заміни в білку глутамінової кислоти на валін (переконайтеся в цьому за допомогою таблиці генетичного коду, § 26). Унаслідок цього синтезований гемоглобін набуває відмінної від нормальної структури, погано транспортує кисень, а в людини розвивається серпоподібноклітинна анемія (іл. 133). Гіршою є ситуація, коли через мутацію триплет, що кодує амінокислоту, перетворюється на стоп-кодон (***нонсенс-мутація***). Тоді синтез поліпептидного ланцюга припиняється раніше, а утворений короткий білок, імовірно, буде нефункціональним. Отже, така мутація призведе до ураження певної функції клітини або організму, тобто розвитку хвороби. Точкові мутації спричиняють появу нових алелів наявних генів.

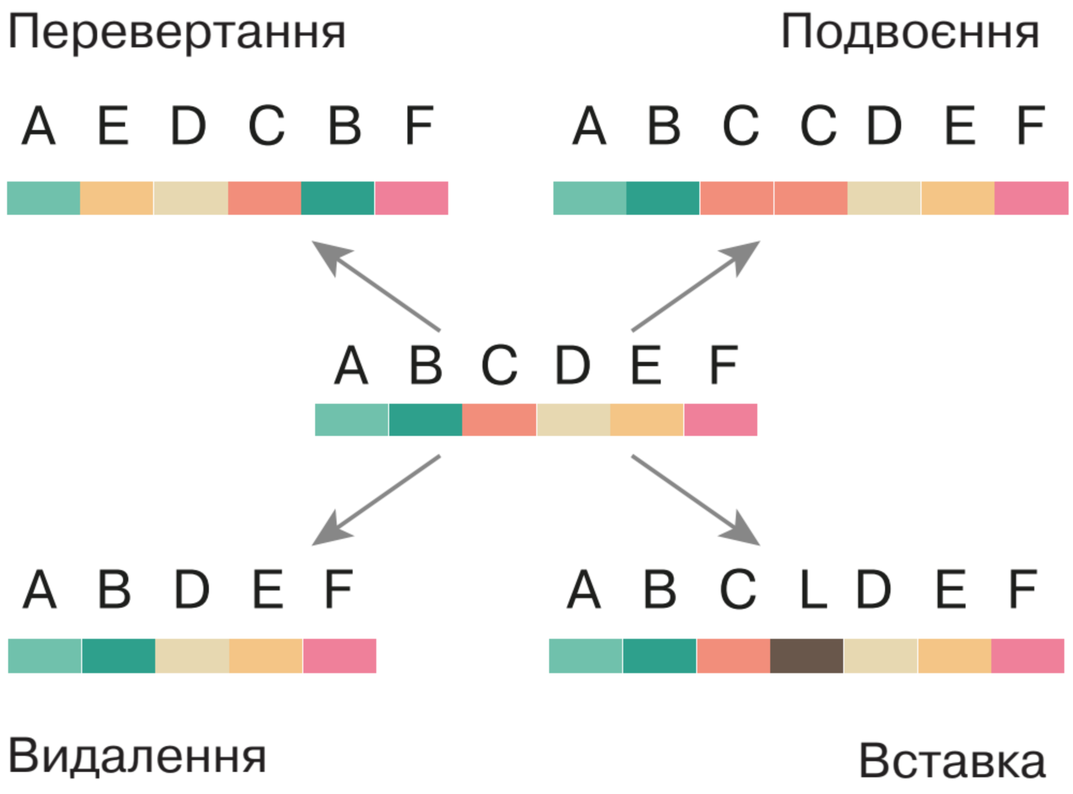
Хромосомні мутації пов'язані з перебудовами в структурі однієї чи кількох хромосом, коли зміни стосуються великих фрагментів ДНК. Такими перебудовами можуть бути втрати частин ДНК, перестановки ділянок, подвоєння фрагментів тощо. У такому разі частини хромосом можуть переміщатися до інших, негомологічних (іл. 134). У випадку втрати частини ДНК клітина втрачає функції, пов'язані з генами, локуси яких розміщувалися у втраченому фрагменті. Перестановки та подвоєння фрагментів ДНК також можуть мати наслідки у фенотипі.

Геномні мутації пов'язані зі зміною числа хромосом. Вони можуть виникати як наслідок помилок у розходженні хромосом під час анафази. У цьому випадку формуватимуться організми з порушеною чисельністю як

Іл. 133. Нормальний (праворуч) і серпоподібний (ліворуч) еритроцити



Іл. 134. Типи хромосомних перебудов





Поясніть, чому зміна гена гемоглобіну впливає на транспортування кисню.



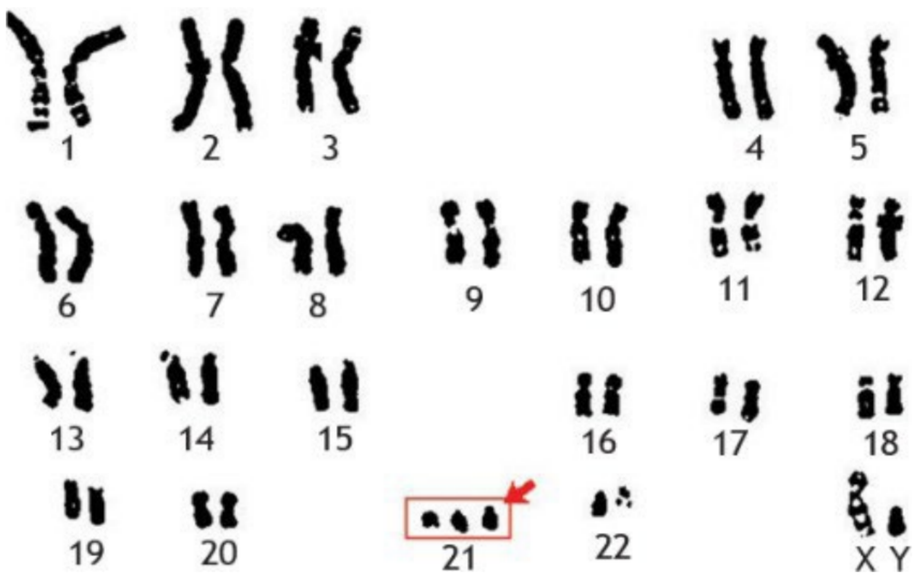
Знайдіть зміни в структурі хромосом, які відбулися внаслідок мутацій різного типу.

в одній парі хромосом, так і в усіх, тобто відбуватиметься кратне збільшення або зменшення. Розрізняють ***анеуплоїдію*** — зміну кількості окремих хромосом, і ***поліплоїдію*** — кратне збільшення всього хромосомного набору. Прикладом геномної мутації у людини може слугувати трисомія по 21-й парі хромосом — замість нормальної пари в каріотипі існують три такі хромосоми (іл. 135). Це призводить до збільшення кількості генів, що містяться в цих хромосомах, і супроводжується розбалансуванням роботи генетичного апарату. У фенотипі це виявляється як синдром Дауна, за якого люди мають специфічну зовнішність, порушення функцій внутрішніх органів тощо. Кратне збільшення кількості всіх хромосом може спричинити появу триплоїдних (х3), тетраплоїдних (х4) та інших організмів.

Геномні мутації не завжди є негативним явищем. Сучасні дослідження свідчать, що таке відбувалося під час еволюції деяких видів, зокрема часто в рослин. Наприклад, тетраплоїдними є деякі види пшениці. Поліплоїдизація може виникати й за умов об'єднання геномів представників різних видів, що може застосовуватися людиною під час створення нових сортів. Рослина тритикале виведена як міжвидовий гібрид пшениці та жита, її каріотип містить диплоїдні набори хромосом обох видів (іл. 136).

Наслідки мутацій для організмів. Виокремлюють такі типи мутацій: негативні (спричиняють захворювання, погіршення функціонування або загибель організму), нейтральні та корисні (надають більші переваги, ніж вихідні форми). Через те що мутації відбуваються не напрямлено, а випадково, більшість їх є негативними або нейтральними. Корисні мутації мають важливе значення для еволюції. Якщо мутація виникла в статевих клітинах, вона може передатися наступним поколінням. Мутації в соматичних клітинах не успадковуються.

Іл. 135. Хромосомний набір людини із синдромом Дауна



Іл. 136. Зерна пшениці, жита та тритикале



Зерна тритикале є більшими, ніж пшеничні; гібрид має продуктивність подібну до пшениці, а витривалість до несприятливих умов, як у жита



1. Дайте означення понять *комбінативна мінливість, мутаційна мінливість, мутації.* **2.** Порівняйте типи мутацій. **3.** Що таке мутагени? **4.** Які впливи навколишнього середовища вважають мутагенами? **5.** Поясніть наслідки мутацій.

§ 32. Модифікаційна мінливість



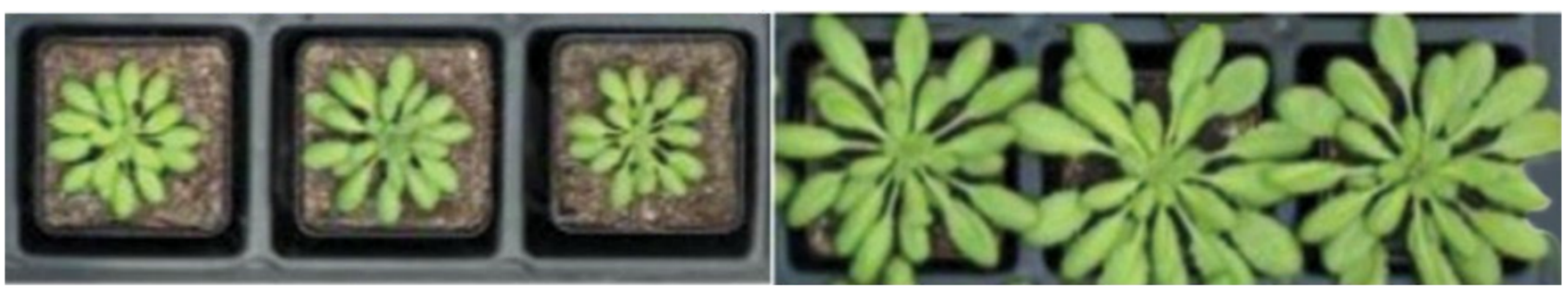
Що таке мінливість, які її форми розрізняють?
Як рослини та тварини пристосовуються до річних, сезонних, добових змін навколишнього середовища?

Як ви вже зрозуміли, не вся різноманітність ознак організмів має генетичне підґрунтя, деякі з варіантів ознак виникають або змінюються протягом індивідуального розвитку організмів.

Неспадкова мінливість — це зміни в будові чи функціонуванні організмів, що відбуваються впродовж їхнього індивідуального розвитку й не передаються наступним поколінням. Її називають також ***модифікаційною***, адже такі зміни є ніби модифікаціями певного типового, середнього значення. Графічне зображення залежності частот зустрічальності різних варіантів ознаки називають ***варіаційною кривою***. Після ознайомлення із навчальним матеріалом проведіть лабораторне дослідження із побудови варіаційної кривої.

Найбільш переконливим прикладом модифікаційної мінливості є залежність будови тіла від кількості поживних речовин, необхідних для нормального існування організму. Якщо генетично однакове насіння висадити в бідний на поживні речовини ґрунт і недостатньо поливати, то вирощені рослини відрізнятимуться від тих, що виростуть на ділянці з унесеними добривами та нормальним поливом (іл. 137). Модифікації можуть стосуватися і частин окремого організму. Наприклад, у рослини стрілиці форма листків залежить від середовища, у якому вони розвиваються: у воді вони мають видовжену ниткоподібну форму, на повітрі розвиваються листкові пластинки у формі стріли.

Іл. 137. Вплив рівня поливу на врожайність рослин





Визначте, які рослини вирощувалися за умов нестачі вологи.



Іл. 138. У кішок сіамської породи колір хутра залежить від температури шкіри

Модифікації як результат взаємодії середовища та генів. Ви вже знаєте, що модифікаційні зміни зумовлені впливом на організм середовища існування. Водночас вони частково обмежені генетичною програмою індивідуального розвитку. Деякі ознаки можуть суттєво змінюватися залежно від умов існування (зріст, маса, кількість і розміри листків тощо). Інші ознаки практично не залежать від них (наприклад, група крові в людини). Прикладом може слугувати характерний для сіамських кішок колір шерсті (іл. 138). Забарвлення волосся залежить від темного пігменту еумеланіну. Фермент, який синтезує цю сполуку в сіамських кішок, інактивується за звичайної для тіла температури та є активним за температури нижчої від 33 °С. Через те віддалені від центра тулуба, а отже, холодніші ділянки мають темніше забарвлення. Зміна температури навколишнього середовища також впливає на колір шерсті. Отже, власне можливість формування ознаки визначається структурою відповідного гена. Проте ступінь і характер вияву ознаки залежать від зовнішніх умов. Іншим механізмом формування змін у фенотипі є зміна рівня активності гена залежно від умов середовища.

Властивості модифікаційної мінливості. Ступінь модифікаційних змін різних ознак має певні межі, зумовлені його генотипом: широкими для одних ознак і вузькими — для інших. Так, змінюючи характер харчування людини в дорослому віці, зазвичай легко змінити масу тіла (наприклад, набрати зайву масу за незбалансованого харчування). Проте майже неможливо суттєво змінити зріст чи довжину кінцівок. Модифікаційні зміни є оборотними: у разі повернення умов існування до вихідних ознака змінюється відповідно. Так, переведення сіамської кішки в прохолодніше приміщення приведе до потемніння шерсті, а корекція раціону харчування людини з надлишковою вагою супроводжуватиметься схудненням.



Сформулюйте мету та виконайте лабораторне дослідження

ПОБУДОВА ВАРІАЦІЙНОГО РЯДУ Й ВАРІАЦІЙНОЇ КРИВОЇ

Обладнання та об'єкти дослідження: рослинні об'єкти (листки, бульби картоплі, насіння, суцвіття злакових рослин тощо), лінійка, олівець, ручна лупа.

Перебіг роботи:

1. Визначте ознаку, яку будете досліджувати в запропонованому об'єкті.
2. Полічіть загальну кількість запропонованих для дослідження об'єктів (n) і запишіть у таблицю.
3. Визначте довжину кожного листка (або кількість вічок бульби картоплі, квіток суцвіття тощо) — варіанту (V) ознаки.
4. Полічіть частоту зустрічальності кожної варіанти (P).
5. Побудуйте графік частоти зустрічальності кожної варіанти досліджуваної ознаки.
6. Проаналізуйте графік. Сформулюйте закономірності модифікаційної мінливості.



1. Дайте означення поняття *неспадкова мінливість.* **2.** Поясніть біологічну роль неспадкової мінливості. **3.** Наведіть приклади модифікаційної мінливості в людини. **4.** Які закономірності модифікаційної мінливості були виявлені вами під час дослідження?

§ 33. Медична генетика



Що таке генні, хромосомні та геномні мутації?

Одним із глобальних напрямів розвитку біології є з'ясування людиною особливостей будови й функціонування власного тіла, причин виникнення хвороб і способів їх лікування. З вивченого матеріалу попередніх параграфів ви зрозуміли, що чимала кількість ознак людини, зокрема й хвороб, має генетичне підґрунтя. Це обумовило розвиток **медичної генетики**, основними завданнями якої є визначення механізмів формування патологій, пов'язаних із порушеннями генетичного матеріалу, розроблення та впровадження методів діагностування спадкових хвороб, їх профілактика й лікування (іл. 139).

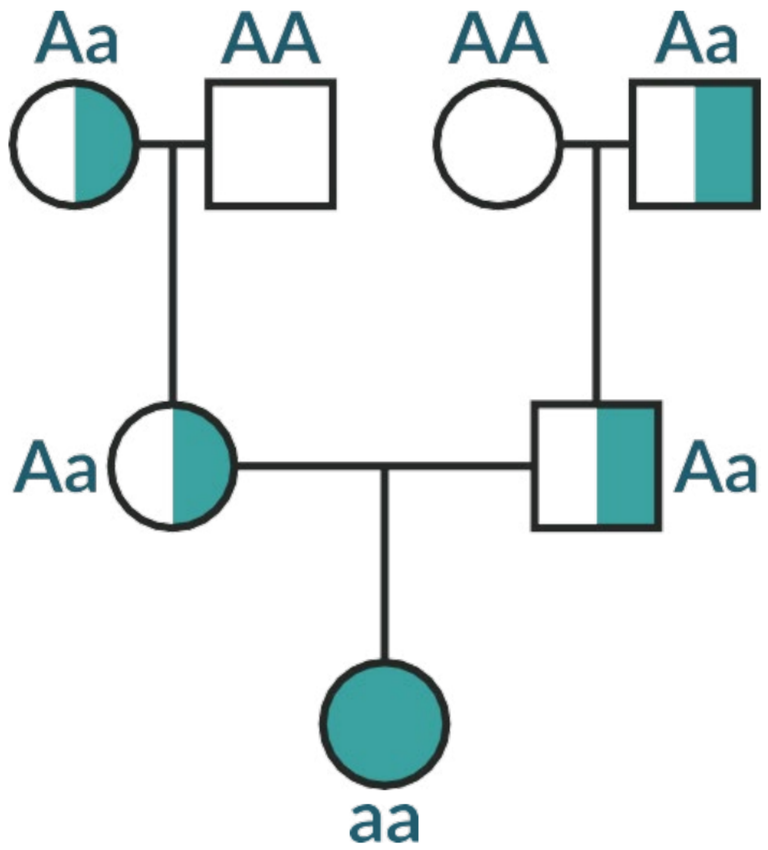
Класифікація спадкових захворювань людини. Спадкові захворювання людини поділяють на ***генні*** та ***хромосомні***. Генні хвороби пов'язані з наявністю патологічного алеля певного гена. Вони можуть успадковуватися за домінантним або рецесивним типом відповідно до законів Менделя. До них належить, зокрема, розглянута раніше серпоподібноклітинна анемія. Велику групу спадкових захворювань становлять ***ферментопатії*** — хвороби, за яких мутації відбуваються в генах, що кодують молекули ферментів. Поширеною ферментопатією є фенілкетонурія (один випадок на 10–25 тис. народжень), спричинена мутацією в гені одного з ферментів, необхідних для нормального перетворення амінокислоти фенілаланіну на тирозин (іл. 140).

Зазвичай такі патології успадковуються за рецесивним типом: у гетерозиготному організмі функціонування однієї копії нормального алеля забезпечує клітини достатньою кількістю «працездатного» ферменту,

Іл. 139. Завдання медичної генетики



Іл. 140. Принцип успадкування фенілкетонурії



Якою є ймовірність народження дитини з хворобою в родині, де батько й мати не хворіють, але батько має рецесивний алель гену, що зумовлює фенілкетонурію?

і мутантний алель себе не виявляє. Без цього ферменту в дитини з фенілкетонурією (яка є рецесивною гомозиготою) накопичується в надмірних кількостях фенілаланін, що утворюється під час перетравлювання білків, і токсичні продукти його обміну. Це викликає розлади функціонування нервової системи та як наслідок — порушення розумового розвитку. Цю хворобу успішно лікують шляхом правильно підібраної дієти з низьким вмістом фенілаланіну.

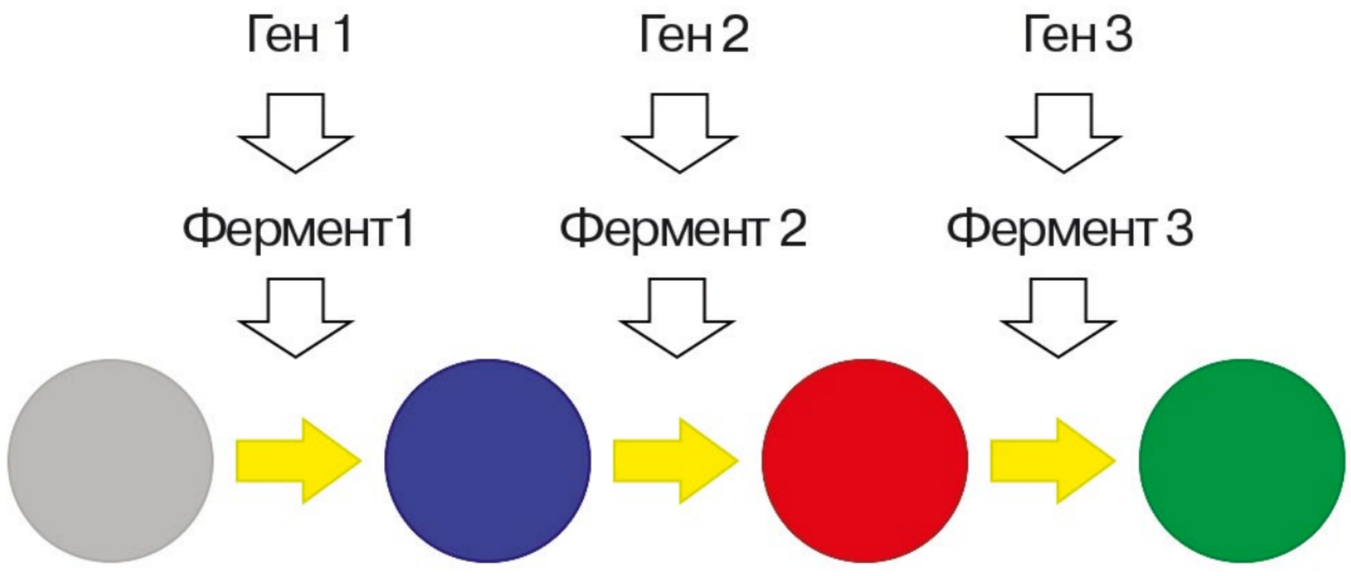
Ви пам'ятаєте, що ферментативні реакції часто формують каскадні ланцюжки: продукт однієї реакції стає субстратом наступної. Відтак у разі дефекту будь-якого з ферментів, які беруть участь у таких реакціях, синтез фінального продукту буде порушено. Тому причиною хвороби, яка зумовлена нестачею фінального продукту, можуть бути мутації у кількох різних генах (які кодують різні ферменти даного ланцюга). У такому випадку йдеться про генетичну гетерогенність захворювання (іл. 141). Наприклад, хвороба Шарко-Марі-Тута, за якої порушуються периферійні нерви, розвивається атрофія м'язів кінцівок і деформація стоп і кистей, пов'язана з мутаціями в більше ніж 20 генах.

Окрему групу становлять генні хвороби, зчеплені зі статтю. Як ви пам'ятаєте, гени, пов'язані з їхнім розвитком, розташовані в Х-хромосомі. До таких захворювань належать розглянута раніше колірна сліпота (дальтонізм), а також гемофілія (пов'язана з нестачею одного з білкових чинників, потрібних для згортання крові). Закономірності успадкування гемофілії такі ж самі, що й дальтонізму.

Частина хвороб людини пов'язана з мітохондріальною спадковістю, яку ми проаналізували в § 30.

Хромосомні хвороби людини пов'язані зі змінами в структурі хромосом або зі змінами хромосомного набору. ***Синдром котячого крику*** виникає

Іл. 141. Приклад формування гетерогенного захворювання



Кольорові круги позначають різні хімічні сполуки,
жовті стрілки — каталізовані трьома ферментами реакції.
Мутація хоча б в одному з трьох генів призведе до того,
що «зелена» сполука не буде синтезуватися



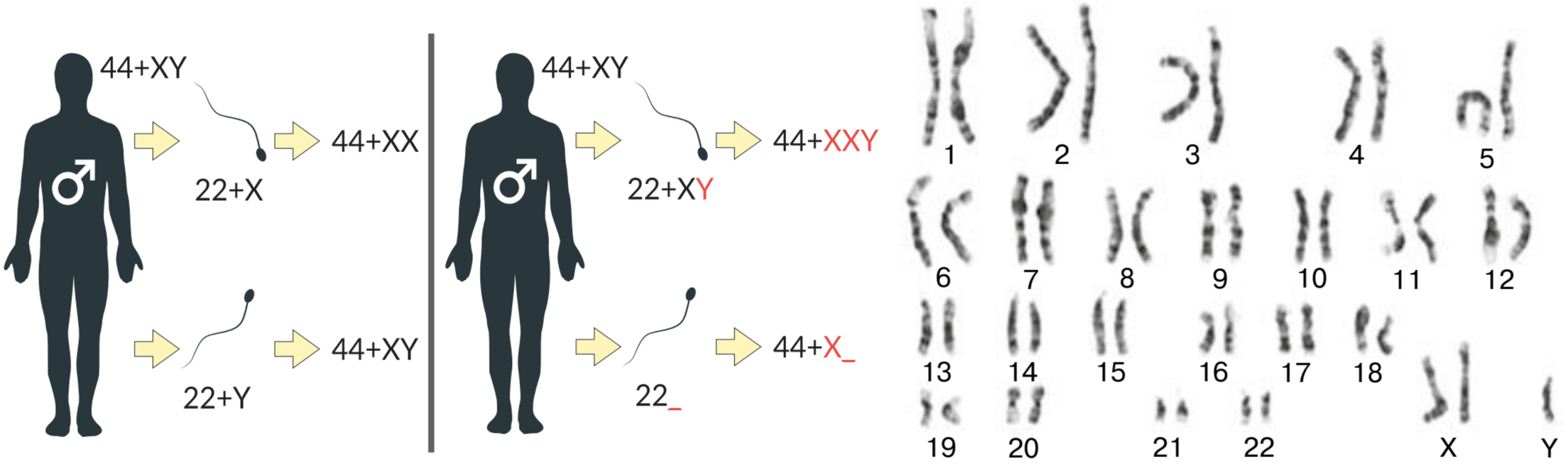
Як називають наведений на ілюстрації тип взаємодії генів?

внаслідок хромосомної мутації, пов'язаної із втратою частини 5-ї хромосоми з відповідними генами. У дитячому віці цей синдром має вияв у характерному плачі, що нагадує нявкання кішки. Іншими симптомами є затримка росту й розвитку, поведінкові розлади, порівняно невеликого розміру голова тощо. Причиною хромосомних хвороб також можуть бути геномні мутації, коли у хворої людини замість нормальної кількості (пари) наявна додаткова хромосома або ж навпаки — однієї бракує. Прикладом таких хвороб є описаний раніше синдром Дауна (трисомія за 21-ю парою хромосом). Відомі й інші трисомії: за 13-ю (синдром Патау) і 18-ю (синдром Едвардса). Описано порушення, пов'язані з наборами статевих хромосом: синдром Клайнфельтера (XXY замість XY), синдром Тернера (X замість XX) (іл. 142).

Лікування хромосомних хвороб нині є неможливим. Медицина може лише пом'якшити вияв негативних симптомів.

Хвороби зі спадковою схильністю. У попередніх параграфах ви прочитали, що ознаки формуються як результат активності одного гена лише в найпростіших випадках. Значна ж частина ознак формується внаслідок взаємодії генотипу та умов середовища існування організму. Оцінити внески генотипу та середовища у формування ознак у тварин чи рослин дослідники й дослідниці можуть, отримавши генетично одноманітне покоління, виростивши його в однакових умовах і проаналізувавши його фенотип. Зрозуміло, що це неможливо під час вивчення ознак людини. У цьому випадку застосовують ***близнюковий метод***. Близнята різняться за ступенем генетичної спорідненості. Якщо в матері одночасно дозріли дві яйцеклітини, які були запліднені двома сперматозоїдами, народжені діти будуть мати генотипи, спільні настільки ж, як у братів чи сестер, народжених у різний час (дизиготні близнята).

Іл. 142. Помилки в розходженні хромосом



Нормальний поділ Мейоз з помилками

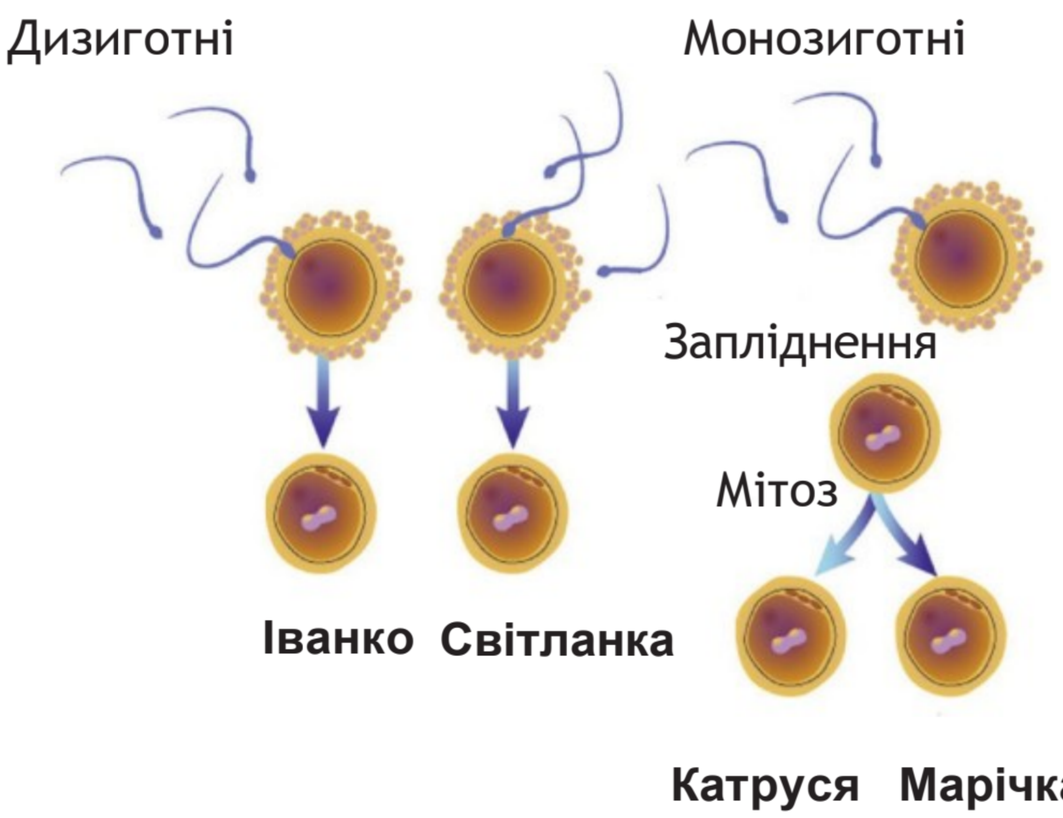
Визначте, якому синдрому відповідає зображений каріотип.

Буває, що після початку поділу зиготи дочірні клітини розходяться і починають розвиватися незалежно (іл. 143). У такому випадку народжуються діти, які мають ідентичні генотипи (монозиготні близнята). Проаналізувавши ступінь схожості ознак у моно- та дизиготних близнят, можна порахувати ***показник спадковості***: якщо він становить 100 %, ознака повністю визначена генотипом, якщо 0 % — повністю визначена дією чинників навколишнього середовища. Високу залежність від генотипу мають такі ознаки, як група крові в системі АВ0 (100 %) і колір очей (99 %). У розвитку деяких хвороб, зокрема шизофренії, умови життя створюють істотний ефект, тому ми говоримо, що успадковується не хвороба, а ***схильність*** захворіти.

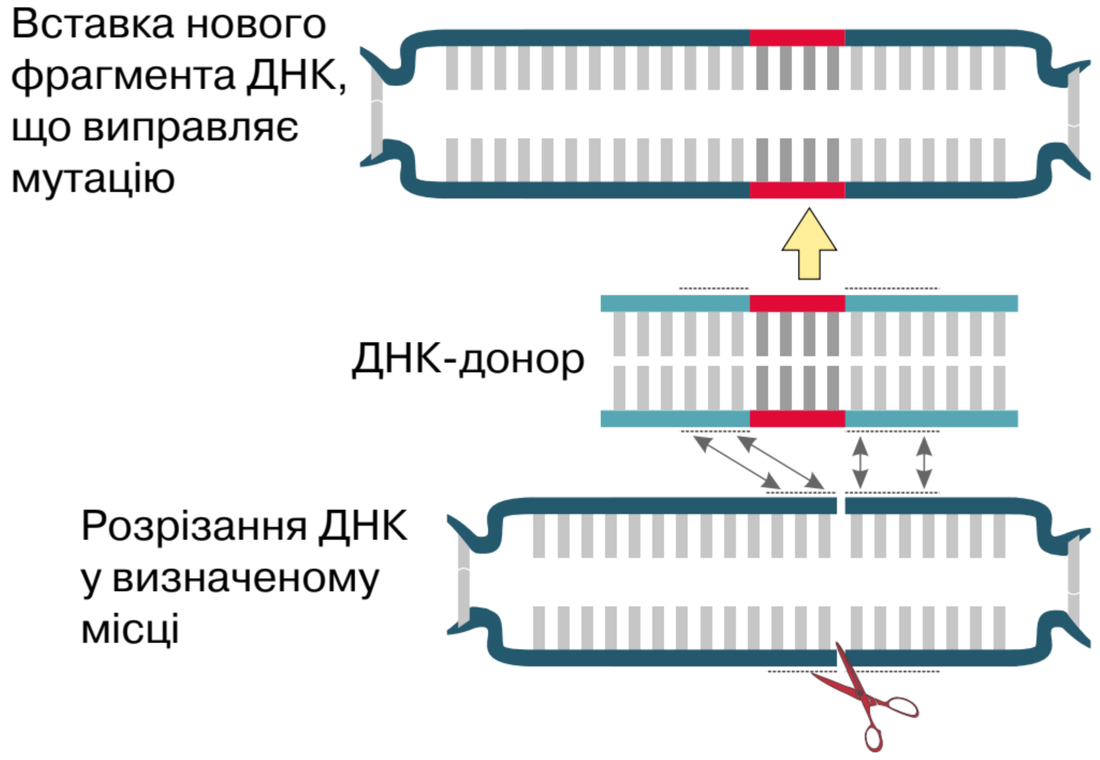
Перспективи лікування спадкових хвороб. Методи генної терапії, спрямовані на внесення змін до геному пацієнтів і пацієнток зі спадковими хворобами, розробляють з 1980-х років. Існує багато методів, за допомогою яких можна внести потрібну молекулу ДНК в ядра клітин, проте проблема полягає в точності. Наразі такі маніпуляції було проведено з понад 2000 людей.

Усі ці спроби є лише етапами тестування способів, а не готовим методом лікування. В останні роки велику надію покладають на нещодавно відкриту ферментативну систему прокаріотів, названу CRISPR-Cas9 (іл. 144). Особливістю технології, створеної на її основі, є можливість украй точно вирізати заданий фрагмент молекули ДНК й заміняти його на новий. Отже, ми можемо встановити місцем розрізання початок потрібного гена (адже ми знаємо його нуклеотидну послідовність), після чого замінити його на наперед синтезовану виправлену послідовність. Дослідження щодо генетичної модифікації людських клітин, попри їх потенційну важливість для створення лікувальних технологій, мають суттєві законодавчі обмеження. Однак сучасна біологія дає надію на прогрес у цій галузі.

Іл. 143. Розвиток моно- та дизиготних близнят



Іл.144. Принцип роботи CRISPR-Cas9



1. Дайте означення поняття *медична генетика*. **2.** Що таке спадкові хвороби людини?. **3.** Порівняйте генні й хромосомні хвороби людини. **4.** Оцініть перспективи лікування спадкових хвороб.

§ 34. Медико-генетичне консультування



Які методи дослідження організму людини вам відомі?

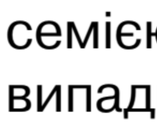
Оскільки причиною спадкових хвороб є порушення в структурі генетичного матеріалу, повне вилікування їх поки що неможливе. Тому потрібно якомога раніше діагностувати патологію і починати профілактичні та корегувальні заходи.

Медико-генетичне консультування. Одним зі шляхів профілактики розвитку спадкових хвороб є медико-генетичне консультування подружньої пари, яка хоче мати дитину. В ідеальній ситуації за такою консультацією повинні звертатися всі майбутні батьки. Проте серйозними приводами для звернення є випадки хвороб у їхніх родинах, близькоспоріднений шлюб, вплив шкідливих чинників (наприклад, на виробництві, унаслідок проживання на забруднених територіях) на організм майбутньої матері. Під час медико-генетичного консультування на основі інформації про стан здоров'я подружжя та їхніх родичів лікарі й лікарки будують родовід, визначають генотипи майбутніх батьків і надають прогноз щодо ймовірності народження дитини з певними спадковими захворюваннями. Якщо ймовірність є досить високою, подружжя може відмовитися від народження дитини (іл. 145).

Додаткову інформацію надають сучасні методи молекулярної генетики. Звісно, читання та аналізування повного геному батьків є надто складним і витратним, тому зважають лише на певні ключові гени, пов'язані з найбільш імовірними хворобами.

Іл. 145. Медико-генетичне консультування дає змогу уникати ризиків, пов'язаних зі спадковими хворобами





Уявіть, що ви працюєте в закладі медико-генетичної консультації. До вас звернулося подружжя. У їхніх родинах траплялися випадки таласемії — аутосомно-рецесивної хвороби, що пов'язана з порушенням синтезу гемоглобіну. Чоловік і жінка не хворіють, але генетичний аналіз виявив у чоловіка рецесивний алель гена α-субодиниці гемоглобіну.

Батьки хвилюються, що в них може народитися дитина з таласемією. Оцініть імовірність такого випадку.

Нині під час вагітності лікарі мають змогу отримати значну кількість інформації про стан здоров'я плода. Так, ультразвукове дослідження допомагає виявляти анатомічні порушення його будови (іл. 146); аналіз складу амніотичної рідини, що оточує плід, — виявляти біохімічні маркери певних захворювань; цитогенетичний або хромосомний аналіз клітин плода, які потрапляють в амніотичну рідину, — виявляти хромосомні порушення, а аналіз виділеної з них ДНК (секвенування) — мутації у ключових для деяких хвороб генів.

У разі пренатальної (допологової) діагностики спадкового захворювання медики можуть запропонувати батькам програму заходів щодо поліпшення стану народженої дитини.

Генетичні маркери. Аналіз генів має сенс не лише впродовж вагітності. Наразі є відомості (і обсяг цієї інформації зростає дуже швидко) щодо зв'язків певних алелів із імовірністю розвитку деяких хвороб. Асоційовані із хворобами варіанти генів або інших ділянок ДНК називають ***генетичними маркерами***. Наприклад, деякі мутації генів BRCA1 та BRCA2 суттєво збільшують ризик розвитку в жінки раку молочної залози та яєчників. У разі виявлення мутантного алеля (їх відомо понад 500) пропонують програму профілактичних заходів. Також відомі гени, мутації яких збільшують ризик розвитку цукрового діабету. Люди з такими алелями повинні дотримуватися відповідної дієти. Варіанти інших генів пов'язані з ризиком розвитку хвороб Альцгеймера, Паркінсона та інших. Дослідження та використання генетичних маркерів суттєво розширює арсенал сучасних лікарів і лікарок. Прогрес у молекулярній біології робить такий аналіз більш дешевим і доступним.

Отже, сучасна біомедицина дає людству можливості для істотного покращення якості життя та подовження його тривалості.

Іл. 146. Ультразвукове дослідження плода



Підготуйте повідомлення про використання генетичних маркерів.

1. Що таке медико-генетичне консультування? **2.** Які методи використовують для дослідження стану здоров'я плоду? **3.** Оцініть використання генеалогічного методу під час медико-генетичного консультування. **4.** Поясніть застосування генетичних маркерів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА

Розв’язування елементарних вправ з реплікації, транскрипції та трансляції

Мета: навчитися розв’язувати вправи з реплікації, транскрипції та трансляції; навчитися використовувати таблицю генетичного коду.

Завдання 1. Розв’язування вправ з реплікації.

Ділянка одного із ланцюгів молекули ДНК має наведену послідовність нуклеотидів:

Т Ц А Т Г Г Ц Т А Т Г А

Напишіть послідовність нуклеотидів комплементарного ланцюга молекули ДНК, яка утворюється під час реплікації наведеної ділянки.

Завдання 2. Розв’язування вправ із транскрипції.

Ділянка одного із ланцюгів молекули ДНК має наведену послідовність нуклеотидів:

Ц А Ц А Г Т А А Ц Г А Г

Напишіть послідовність нуклеотидів ланцюга молекули мРНК, яка утворюється під час транскрипції наведеної ділянки молекули ДНК.

Завдання 3. Визначення будови мРНК за будовою молекули білка.

Ділянка молекули гемоглобіну містить амінокислоти, розташовані в наведеній послідовності:

валін — аланін — глутамінова кислота — тирозин — серин

Напишіть можливий варіант послідовності нуклеотидів ланцюга молекули мРНК, яка кодує наведену послідовність амінокислот.

Завдання 4. Визначення будови молекули білка за будовою молекули ДНК.

Один із екзонів гена, який кодує один із поліпептидних ланцюгів гемоглобіну, складається з нуклеотидів:

А Ц Ц А А Т Т Г А Ц Ц А

Напишіть послідовність амінокислот у поліпептидному ланцюзі, яка утворюється внаслідок реалізації спадкової інформації.

Завдання 5. Визначення будови молекули білка за будовою молекули мРНК.

Ділянка молекули мРНК має наведену послідовність нуклеотидів:

А У Г Г У У Ц У Ц У Ц А

Напишіть послідовність амінокислот у поліпептидному ланцюзі, яка транслюється з наведеної ділянки молекули мРНК.

ПРАКТИЧНА РОБОТА

Розв’язування елементарних вправ із генетики

Мета: навчитися розв’язувати генетичні задачі; закріпити здобуті знання.



1. У гороху фіолетовий колір пелюсток домінує над білим. Дослідники й дослідниці провели схрещування рослини з фіолетовими квітками та рослини з білими квітками. Отримане покоління мало рівну кількість рослин із квітками обох кольорів. Визначте генотипи батьківських рослин. Як називається такий тип схрещування?



2. Користуючись решіткою Пеннета (§ 27), визначте генотипи та фенотипи покоління від схрещування організмів AaBB x Aabb.



3. Схрестили дві рослини нічної красуні, що мали білі та червоні квітки. Усі рослини отриманого покоління мали пелюстки рожевого кольору. Відомо, що за вияв цієї ознаки відповідає один ген. Як називається такий тип успадкування? Яким буде фенотип покоління від схрещування рослин з рожевими та білими квітками?



4. У подружжя чоловік має четверту групу крові, а жінка — другу. Відомо, що батько жінки має першу групу крові. Визначте генотипи чоловіка та жінки. Яку групу крові можуть мати їхні діти?



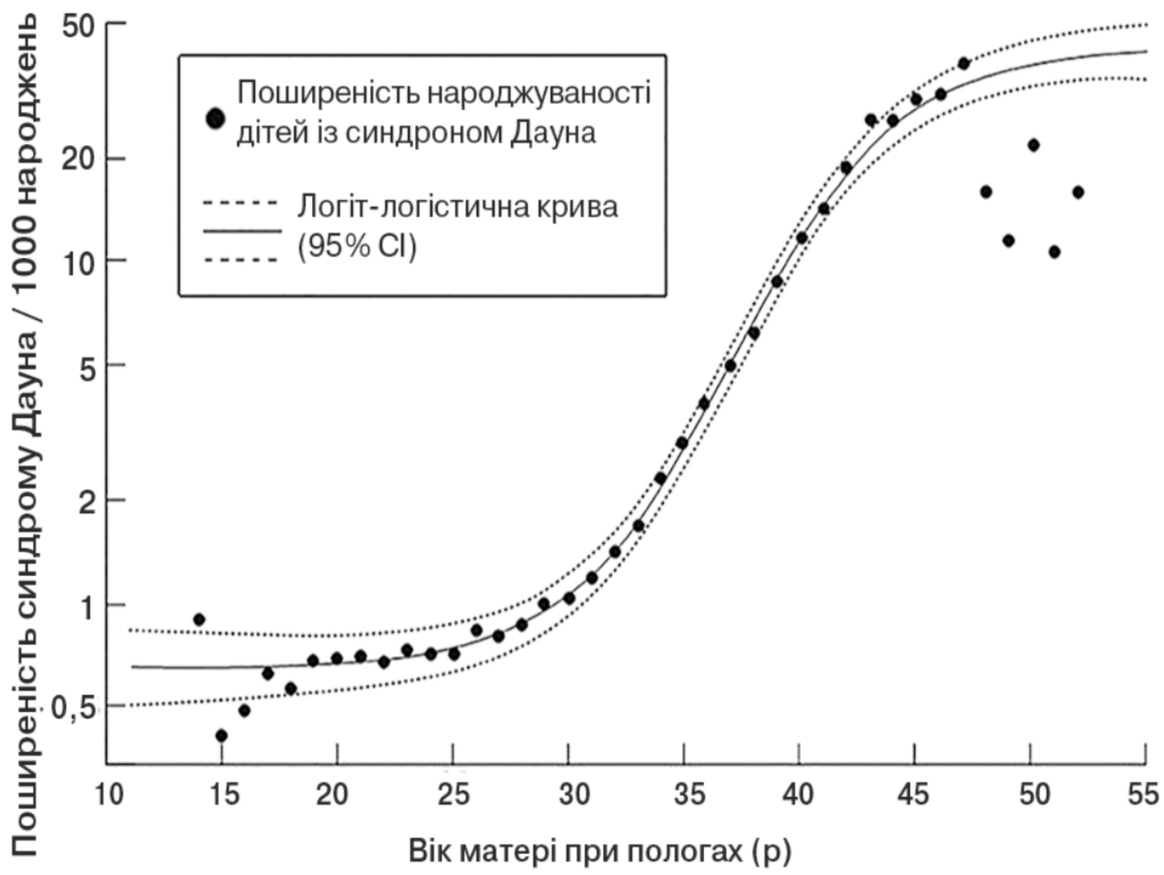
5. Sonic hedgehog (shh, «їжачок Сонік») — це назва білка (і відповідного гена), що регулює розвиток кінцівок. Він перебуває під впливом гена LMBR1, локус якого міститься в 7-й хромосомі. Мутація хоча б в одній копії LMBR1 призводить до порушення нормальної експресії гена shh, унаслідок чого на кінцівці розвиваються додаткові пальці (полідактилія). Визначте характер успадкування такої форми полідактилії. Чи можливе народження дитини із захворюванням у здорового подружжя?

Аналізуємо інформацію, робимо висновки

Ознайомтеся з інформацією та виконайте завдання

Синдром Дауна

Синдром Дауна є найпоширенішою хромосомною аномалією у людини. У середньому частота народження дітей із цим синдромом становить 1:1000, проте існує залежність від віку матері, яка представлена на графіку. Безпосередньою причиною є наявність додаткової, третьої хромосоми в 21-й парі. Зазначена мутація виникає спонтанно. Практично завжди батьки дитини, що має це захворювання, є здоровими.



Наразі не виявлено жодного чинника поведінки людини або ж навколишнього середовища, який би значущо впливав на ймовірність виникнення цієї мутації. Люди із синдромом Дауна мають ряд проблем зі здоров'ям. За умови врахування індивідуальних особливостей людей із цим синдромом, вони можуть досягати успіхів у навчанні, успішно соціалізуватися. Сто років тому середня тривалість життя таких людей становила 12 років. Зараз у розвинутих країнах цей показник становить більше 50 років за умови належного медичного супроводу.

Завдання 1. Яке з поданих тверджень можна сформулювати на основі аналізування наведеної інформації?

А нині науковцями та науковицями не винайдено ефективних ліків проти синдрому Дауна

Б імовірність народження дитини із синдромом Дауна в 45-річної жінки майже в 10 разів вища, ніж у жінки в 35 років

В тютюнопаління, надмірна вага тіла або вживання наркотичних речовин удвічі збільшують ризик народження дитини із синдромом Дауна

Г порушення здоров'я при синдромі Дауна є настільки серйозним, що дорослі люди із цим діагнозом повинні жити лише в спеціалізованих закладах

Завдання 2. Учень й учениця аналізували наведену діаграму, на якій представлено ймовірність вияву в людей із синдромом Дауна тих чи інших симптомів. Учень зазначив, що найпоширенішими вадами є вади серцево-судинної системи. Учениця зауважила, що 90 % пацієнтів притаманна затримка росту.

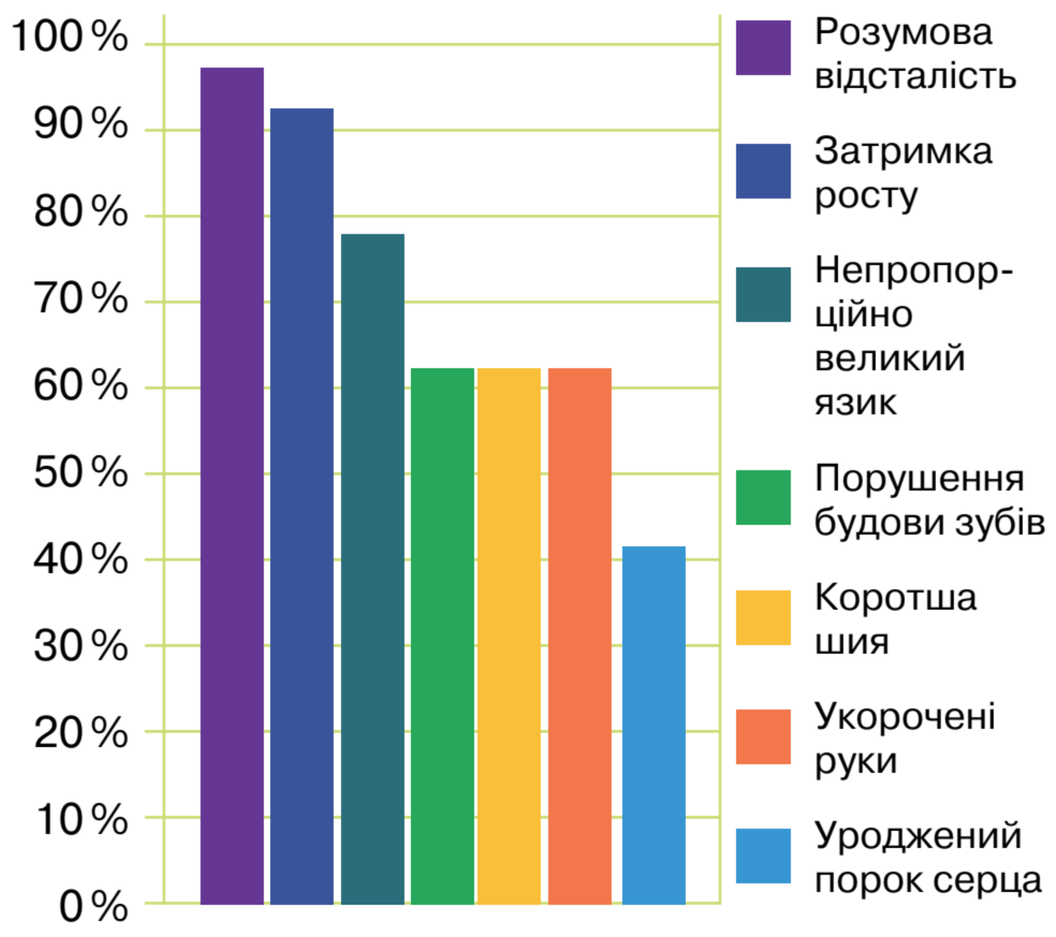
Чи має хтось із них рацію?

А лише учень

Б лише учениця

В обоє мають рацію

Г обоє помиляються



Самоконтроль рівня навчальних досягнень

Тестові завдання з однією відповіддю (0,5 бала)

1. Ділянка молекули ДНК, у якій закодована інформація про певну ознаку організму, — це

   А генотип В інтрон
   Б геном Г ген

2. Процес синтезу молекули РНК з використанням молекули ДНК як матриці називають

   А транскрипцією В реплікацією
   Б трансляцією Г репарацією

3. Учні й учениці правильно склали схему схрещування. Ознаку, успадкування якої вивчалося, позначили буквою D. Як вони позначили гомозиготну за домінантною ознакою особину?

   А D В Dd
   Б DD Г dd

4. Який процес відображено на ілюстрації?



   А транскрипцію
   Б трансляцію
   В реплікацію
   Г репарацію

5. Спосіб успадкування певної ознаки, коли за її формування відповідають кілька неалельних генів, а ступінь вияву її залежить від кількості алелів цих генів, називають

   А епістазом В домінуванням
   Б полімерією Г плейотропією

6. У сіамських кішок інтенсивність темного забарвлення змінюється відповідно до температури навколишнього середовища. Вияв якої форми мінливості зілюстровано цим прикладом?



   А геномної
   Б мутаційної
   В комбінативної
   Г модифікаційної

Тестові завдання з однією відповіддю (1 бал)

7. Молекула ДНК містить триплет АГТ. Який триплет буде йому комплементарним у молекулі мРНК?

   А АГТ В УЦА
   Б ТЦА Г ТГА

8. Позначте імовірність (%) народження дитини з рецесивною ознакою, якщо батько є гомозиготним за рецесивним алелем, а мати — гетерозиготною.

   А 0 В 50
   Б 25 Г 100

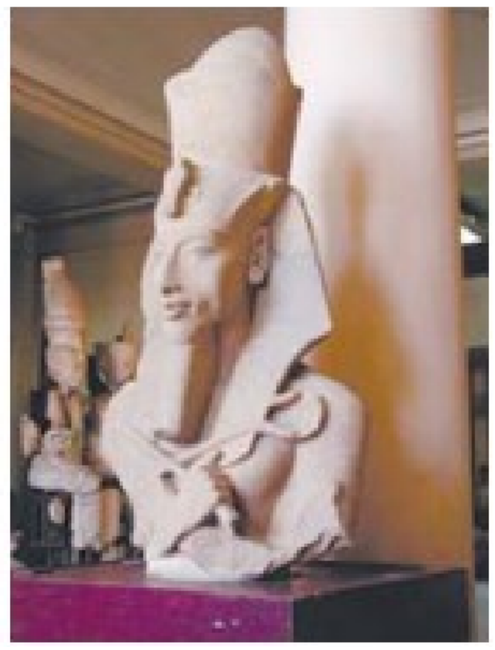
9. Який із наведених прикладів ілюструє мутаційну, а не модифікаційну мінливість?
   А збільшення кількості хромосом у каріотипі людини
   Б зменшення об'єму хутра в білки влітку та збільшення взимку
   В зменшення кількості молока в копитних у посушливий період
   Г збільшення вмісту гемоглобіну в крові людини під час сходження в гори

Тестові завдання з однією відповіддю (1,5 бала)

10. Проаналізуйте твердження щодо геному прокаріотичної та евкаріотичної клітини.
    I. Геном прокаріотичної клітини зазвичай містить меншу кількість генів, ніж евкаріотичної.
    II. У геномі людини лише 3 % ДНК містить інформацію про будову білків або РНК.
    Чи є поміж них правильні?
    А правильне лише I
    Б правильне лише II
    В обидва правильні
    Г немає правильних

11. Результати археологічних досліджень свідчать, що в єгипетського фараона Аменхотепа IV був синдром Марфана, який характеризується, зокрема, довгими пальцями. Цей синдром виявляється внаслідок
    А епістазу
    Б полімерії
    В плейотропії
    Г комплементарності



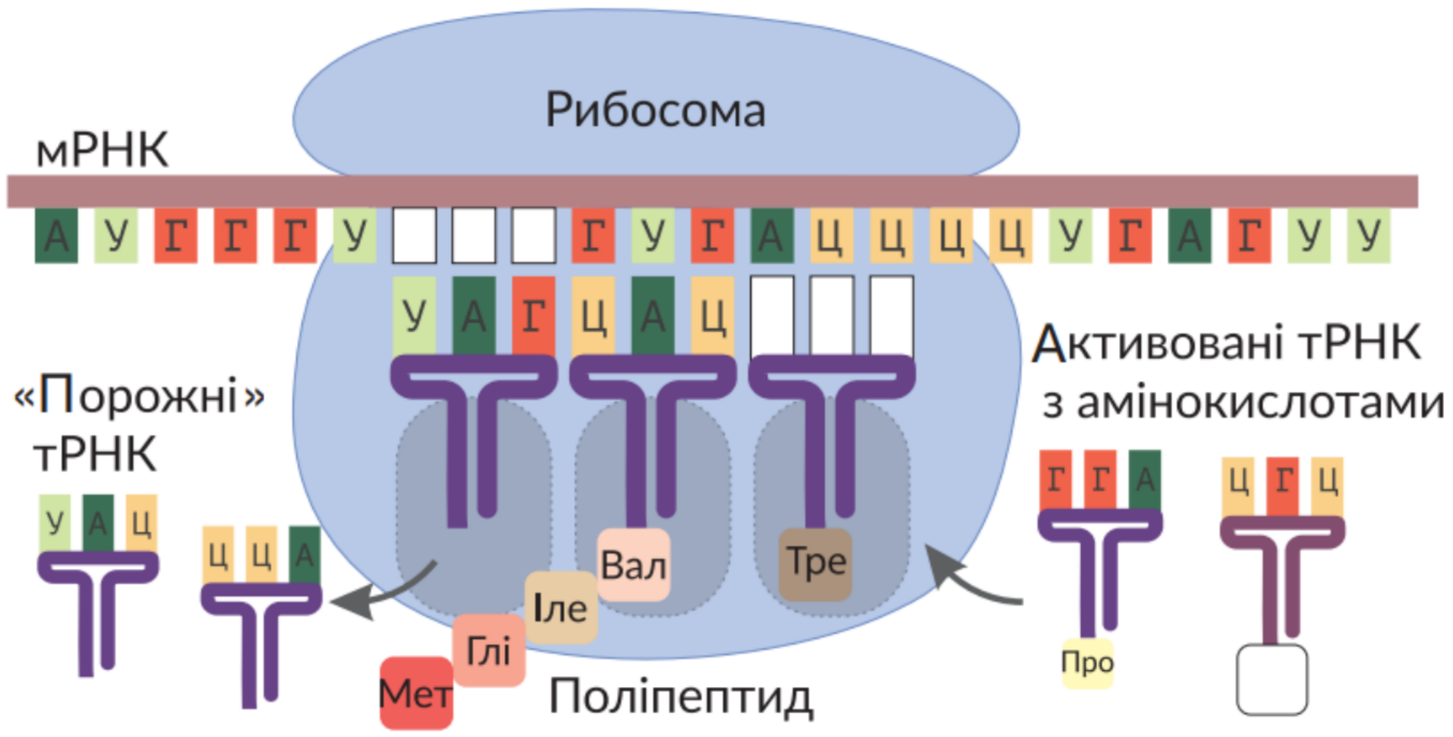


Тестове завдання з однією відповіддю в кожному стовпчику (3 бали)

12. Розгляньте схему трансляції. Виявіть правильні варіанти для заповнення пропусків.

Триплет мРНК
1 АУЦ
2 АТЦ
3 УАГ

Антикодон тРНК
1 АЦЦ
2 УГГ
3 ТГГ



Скорочена назва амінокислоти
1 Ала
2 Арг
3 Вал

ЧИ ДОСЯГНУТО РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ?

Тема 1–3

Досліджую природу

1. На уроці біології учні й учениці вивчали рівні організації живого. Для цього вони розглядали ілюстрацію, на якій окремі біологічні об'єкти позначено цифрами (1–5).



Ознайомтеся із твердженнями, які було сформульовано під час аналізування ілюстрації:

I. Об'єкти, позначені цифрами 1, 4 й 5, знаходяться на одному рівні організації живого.

II. Об'єкти, які позначено цифрами 2 й 3, можна розглядати одночасно на двох різних рівнях організації живого. Чи є поміж них правильні?

А правильне лише I В обидва правильні
Б правильне лише II Г немає правильних

2. На уроці досліджували вплив ферменту каталази рослинних клітин на гідроген пероксид. Цей фермент каталізує розщеплення гідроген пероксиду на воду та кисень. До першої пробірки поклали шматочок сирої картоплі, а до другої — вареної. У кожну пробірку добавили по 6–7 краплин гідроген пероксиду.

Ознайомтеся з описом очікуваних результатів дослідження (1, 2, 3) та їх поясненнями (4, 5).

№	Очікувані результати дослідження	№	Пояснення результатів дослідження
1	у першій пробірці спостерігали виділення кисню	4	активність ферменту зростає внаслідок дії температури понад 100 °C
2	у другій пробірці спостерігали виділення кисню	5	за температури понад 40 °C молекула білка зазнає денатурації
3	у другій пробірці виділення кисню не спостерігали		

Правильну комбінацію результату дослідження та його пояснення позначено буквою

А 1, 4 Б 2, 4 В 2, 5 Г 3, 5

3. Розпізнайте одноклітинні організми, зображення яких (А–Г) отримані за допомогою оптичного мікроскопа.

А



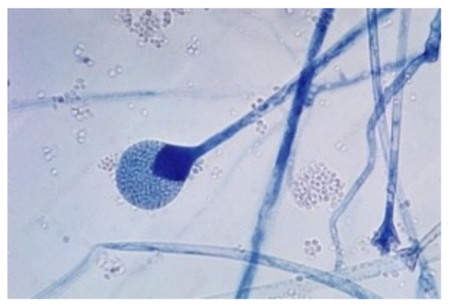
Б



В



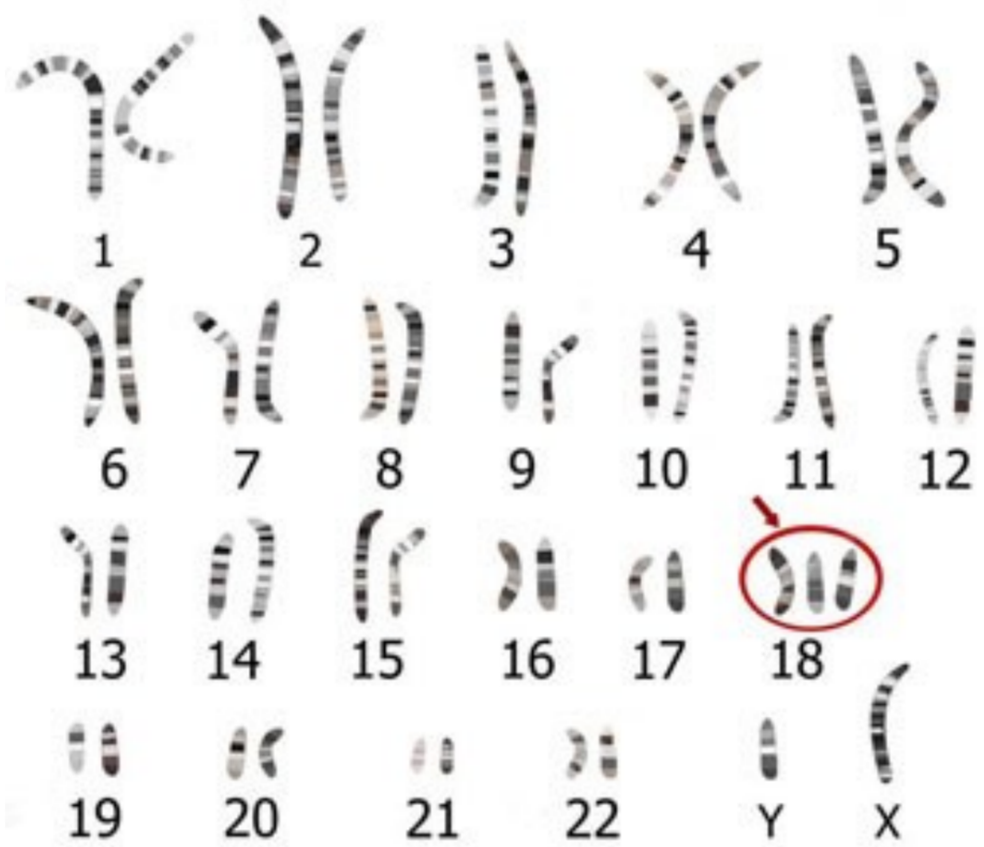
Г



Зображення організма, клітина якого містить хлоропласти, позначено буквою

А Б В Г

4. Під час дослідження каріотипу людини було отримано зображення її хромосомного набору, який наведено на ілюстрації.



Яке з поданих тверджень можна сформулювати, проаналізувавши наведену на ілюстрації інформацію?

А хромосомний набір містить 46 хромосом

Б на ілюстрації наведено хромосомний набір жінки

В під час дослідження виявлено геномну мутацію

Г отримані результати свідчать про генне захворювання

5. Проаналізуйте дослідження: «*У томатів куляста форма плоду (А) домінує над грушоподібною (а). Від схрещування батьківських форм у першому поколінні гібридів виявилося кулястих і грушоподібних плодів порівну. Надалі в результаті схрещування отриманих рослин із кулястими плодами між собою було отримано друге покоління томатів: 118 із них дали грушоподібні плоди, а 363 — кулясті*».



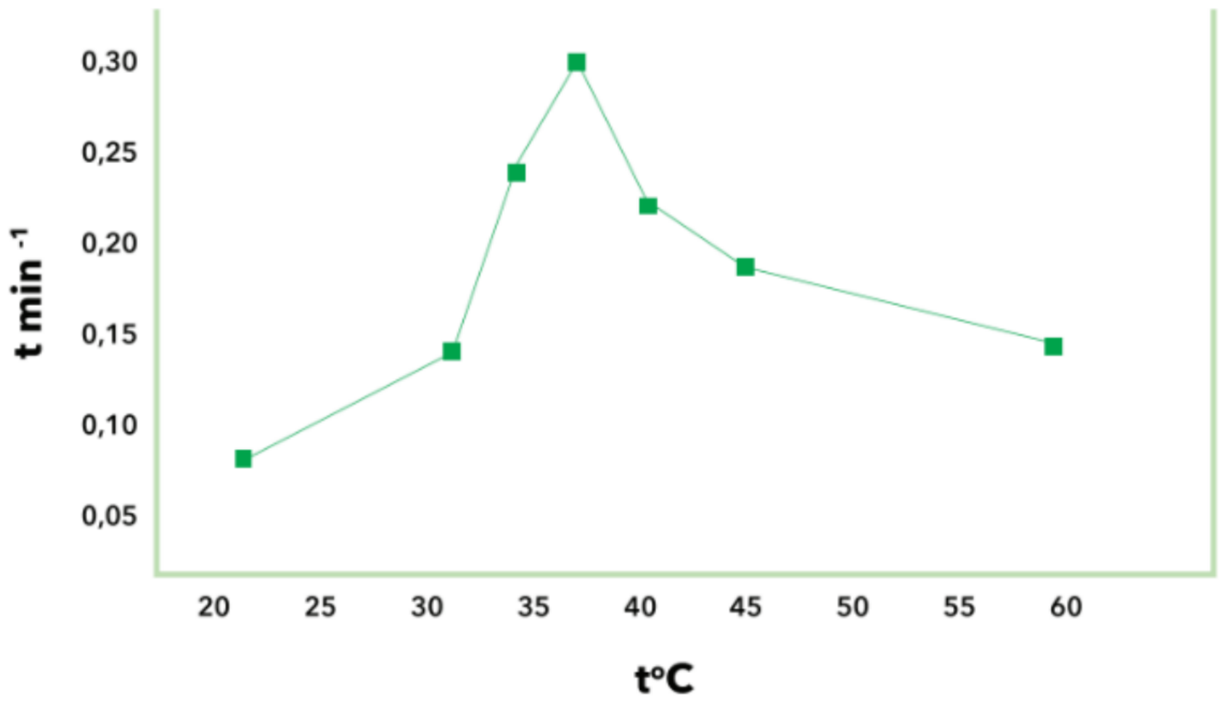
Доберіть правильне продовження кожного наведеного речення.

Можливий варіант генотипів батьківських рослин —	*Поміж нащадків другого покоління гетерозигот виявилося близько*	*Кількість рослин із грушоподібними плодами в другому поколінні томатів буде складати*
1 Aa x aa	1 363	1 25 %
2 AA x aa	2 245	2 50 %
3 Aa x Aa	3 59	3 75 %

6. Сформулюйте мету, доберіть об’єкти та складіть план дослідження модифікаційної мінливості в рослин.

Здійснюю пошук та опрацьовую інформацію

7. На графіку представлені результати дослідження залежності швидкості розщеплення крохмалю амілазою від температури.



Унаслідок аналізування результатів були сформульовані твердження.

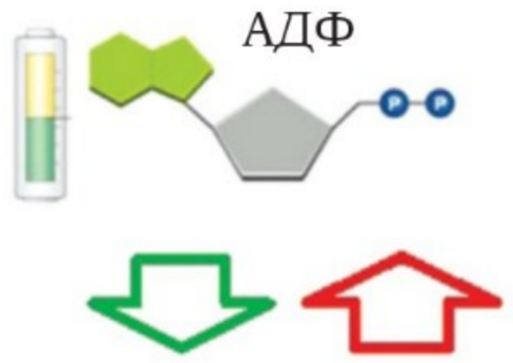
I. Швидкість розщеплення завжди прямо пропорційна змінам температури.

II. Швидкість розщеплення максимальна за температури близько 37 °С.

Чи є поміж них правильні?

А правильне лише I
Б правильне лише II
В обидва правильні
Г немає правильних

8. Середня тривалість життя молекули АТФ у клітинах з активним метаболізмом — близько 1 хв. Ресинтезування АТФ — утворення молекули АТФ шляхом приєднання залишку ортофосфатної кислоти до молекули АДФ.



Розв'яжіть задачу та вкажіть правильну відповідь.

У людини загальна маса АТФ у кожен момент часу — близько 100 г, але протягом доби її сумарно використовується 50 кг.



Скільки разів кожна молекула ресинтезується в клітині протягом доби?

А 5 Б 50 В 500 Г 5000

9. Розпізнайте органели (А–В) на електронних мікрофотографіях, використавши інтернет-джерела. Доберіть продовження кожного наведеного речення.

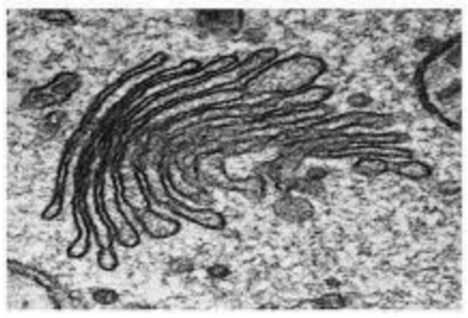
А



Органелу, яка утворена двома мембранами, позначено буквою

1 А
2 Б
3 В

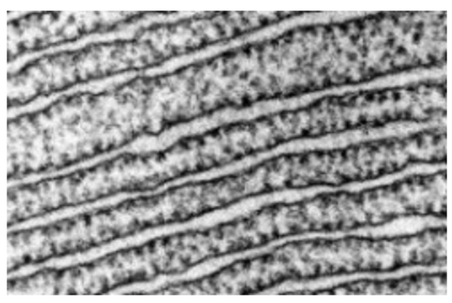
Б



Відмінною ознакою органели, яку позначено буквою Б, є

1 розмноження шляхом поділу
2 здатність синтезувати молекули АТФ
3 формування на її мембранах лізосом

В



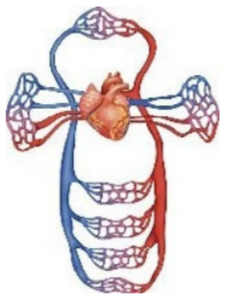
Усі зображені органели є складниками

1 лише прокаріотичних клітин
2 лише евкаріотичних клітин
3 прокаріотичних та евкаріотичних клітин

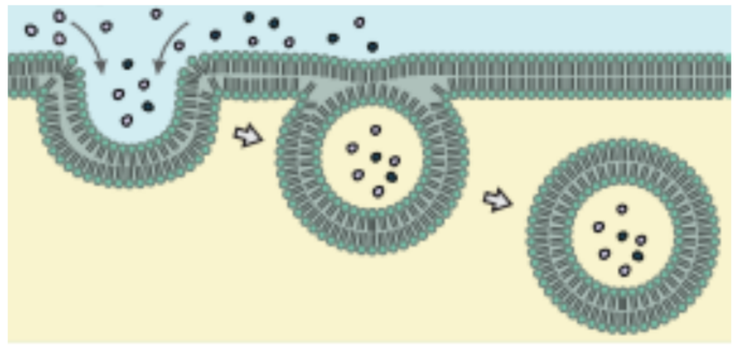
10. Підготуйте повідомлення про проєкт «Геном людини».

Усвідомлюю закономірності природи

11. Якою буквою позначено складник біологічної системи клітинного рівня?

А  Б  В  Г 

12. На ілюстрації зображено один зі способів транспортування за участі плазматичної мембрани. Який процес забезпечується в такий спосіб?



А дифузія кисню
Б дифузія вуглекислого газу
В поглинання клітинами бактерій
Г підтримання концентрації йонів Na^+ у клітині

13. На уроці біології учень та учениця обговорювали значення фотосинтезу. Учень зазначив, що внаслідок фотосинтезу акумулюється світлова енергія в хімічних зв'язках органічних речовин. Учениця висловила судження про те, що на нашій планеті органічні речовини утворюються з неорганічних лише під час фотосинтезу. Чи має хтось із них рацію?

А лише учень
Б лише учениця
В обоє мають рацію
Г обоє помиляються

14. Ознайомтеся із переліком (1–4) процесів реалізації спадкової інформації. Їхню послідовність у клітині наведено в рядку

1 трансляція	2 сплайсинг
4 функціонування білка	3 транскрипція

А 1 — 2 — 3 — 4
Б 3 — 1 — 2 — 1
В 2 — 4 — 1 — 3
Г 3 — 2 — 1 — 4

15. Доберіть правильне продовження кожного наведеного речення.

Під час енергетичного обміну частина енергії запасається в молекулах	*В евкаріотичних клітинах цей процес пов'язаний із функціонуванням*	*Одним із процесів, який відбувається під час енергетичного обміну, є*
1 глюкози	1 комплексу Гольджі	1 цикл Кребса
2 кисню	2 клітинного центру	2 фотоліз води
3 АТФ	3 мітохондрій	3 виділення кисню

16. Оцініть значення розшифрування генетичного коду для розвитку біології.

Оцінювання роботи

Група результатів	№ завдання	Кількість балів за завдання	Максимальна кількість балів
Досліджую природу	1, 2, 3, 4 5 6	0 або 1 0, 1, 2 або 3 5	12
Здійснюю пошук та опрацьовую інформацію	7, 8 9 10	0 або 1 0, 1, 2 або 3 7	12
Усвідомлюю закономірності природи	11, 12, 13,14 15 16	0 або 1 0, 1, 2 або 3 5	12

ТЕМА 4

РОЗМНОЖЕННЯ ТА ІНДИВІДУАЛЬНИЙ РОЗВИТОК ОРГАНІЗМІВ

З історії відкриттів

Проблеми репродукції та онкологічних захворювань, становлення та розвиток трансплантології неможливо було розв'язати без успіхів молекулярної біології та біології розвитку.

Розвиток молекулярної біології пов'язаний із винаходом методу визначення нуклеотидної послідовності ДНК, за який американський учений *Вільям Гілберт* і англієць *Фредерік Сенгер* у 1980 р. отримали Нобелівську премію з хімії. Це привело до нових відкриттів у галузі досліджень будови й функціонування генів. На початку XXI ст. було отримано дані про первинну структуру всієї ДНК людини й низки інших організмів, найбільш важливих для медицини, сільського господарства та наукових досліджень. У 2003 році було повідомлено про майже повне розшифрування структури ДНК людини. Нерозшифрованою залишалася лише перша хромосома, найбільша з-поміж усіх. 1 травня 2006 року дослідники Інституту Сенгера — геномного дослідницького центру в Англії — разом з американськими колегами оголосили про закінчення етапу роботи з розшифрування повного геному людини. Першу хромосому утворюють майже 250 млн пар нуклеотидів (близько 8 % від геному людини). У ній записано інформацію про 2000 генів. Це майже 10 % від усього генотипу людини.

Велику кількість відкриттів було зроблено й у галузі біології розвитку. У 1898 р. професор Київського університету Св. Володимира Сергій Гаврилович Навашин відкрив подвійне запліднення в рослин. У XX ст. Нобелівською премією відзначено кількох видатних науковців і науковиць: *Ханс Шпеман* розкрив механізм індукції розвитку одних частин ембріона іншими (1935 р.), *Стенлі Коен* та *Рита Леві-Монтальчіні* виявили ростові чинники — речовини, що регулюють ріст і розвиток різних частин організму (1986 р.), *Едвард Льюїс*, *Крістіана Нюсляйн-Фольхард* та *Ерік Вішаус* розкрили механізми генетичної регуляції ембріогенезу (1995 р.)



Сергій Гаврилович Навашин (1857–1930)



Рита Леві-Монтальчіні (1909–2012)

§ 35. Репродукція — універсальна властивість організмів

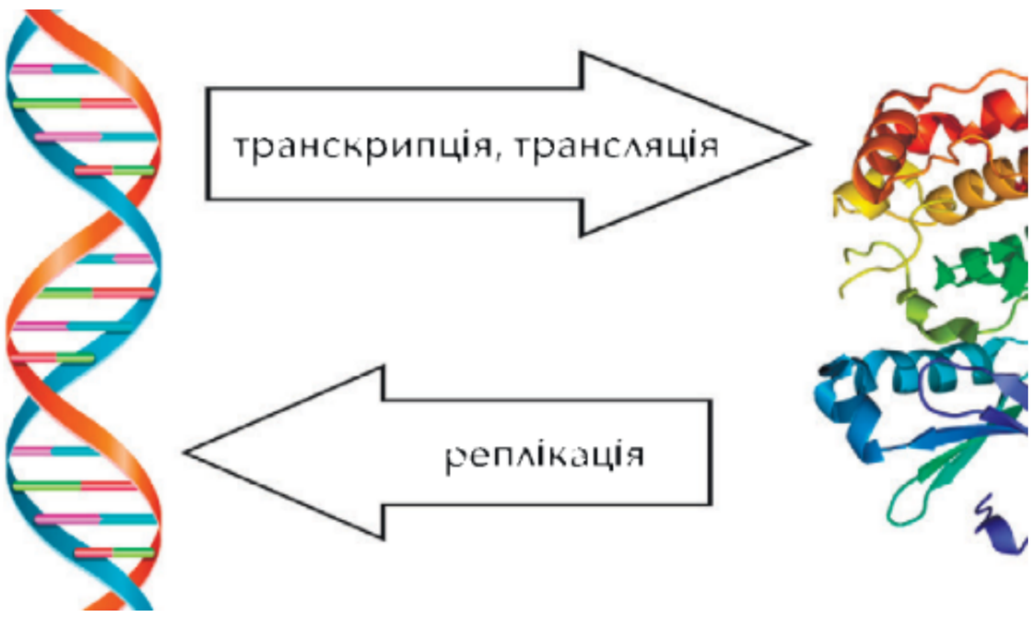


Пригадайте головні властивості життя.
Як генетична інформація передається до наступних поколінь організмів?

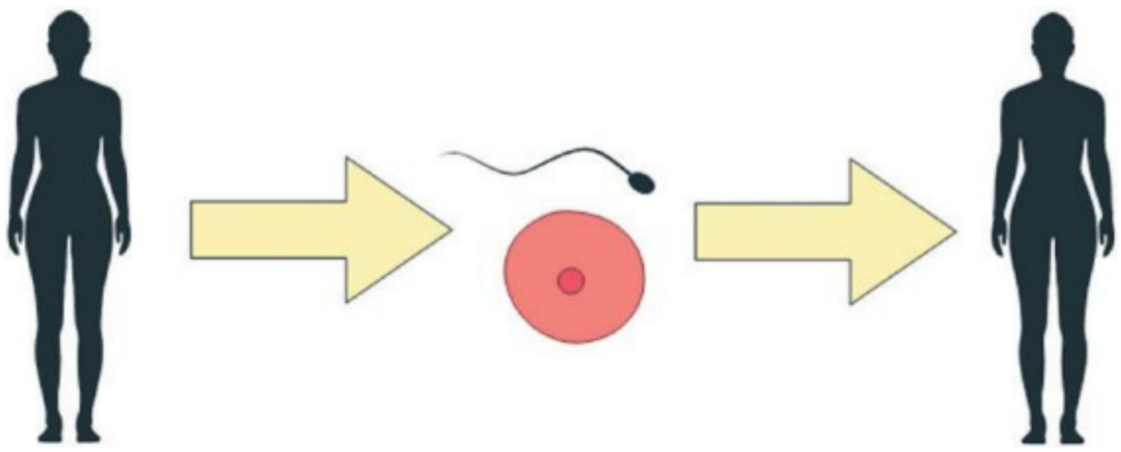
Здатність до самовідтворення або репродукції є однією з ключових властивостей життя. Вона властива не лише живим системам, проте ці системи мають притаманні виключно живому механізми самовідтворення.

Репродукція як ознака живого. Здатність до репродукції виявляється на всіх рівнях організації живого. На молекулярному рівні вона забезпечена механізмами реплікації нуклеїнових кислот і пов'язаним із цим синтезом білків. Ключову роль у цьому відіграє принцип комплементарності. На основі інформації, записаної в ДНК, синтезуються молекули РНК та білки. Деякі ферменти забезпечують процес подвоєння молекул ДНК — ***реплікацію***. Інші білки беруть участь у клітинному поділі, забезпечуючи передавання молекул ДНК дочірнім клітинам, у результаті чого цикл молекулярної репродукції замикається (іл. 147). На клітинному рівні основою самовідтворення є процес поділу. Ви пам'ятаєте, що утворення нових клітин відбувається лише шляхом поділу наявних. Клітинний поділ безпосередньо пов'язаний з описаними вище молекулярними процесами, адже йому завжди передує подвоєння генетичного матеріалу. На організмовому рівні репродукція пов'язана з утворенням нових організмів у процесі розмноження. У багатьох видів розмноження відбувається статевим шляхом, тобто пов'язано з обміном між різними організмами генетичною інформацією за допомогою спеціалізованих статевих клітин (іл. 148).

Іл. 147. Самовідтворення на молекулярному рівні



Іл. 148. Репродукція людини, пов'язана з утворенням спеціалізованих статевих клітин



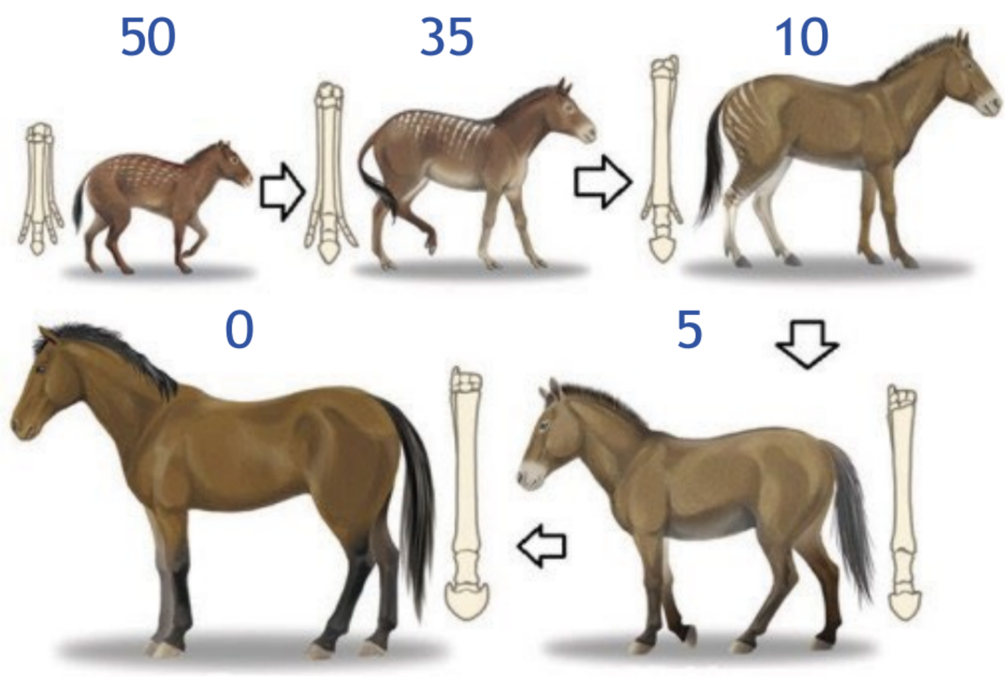


Поясніть зв'язок процесів репродукції на молекулярному рівні з розмноженням людини.

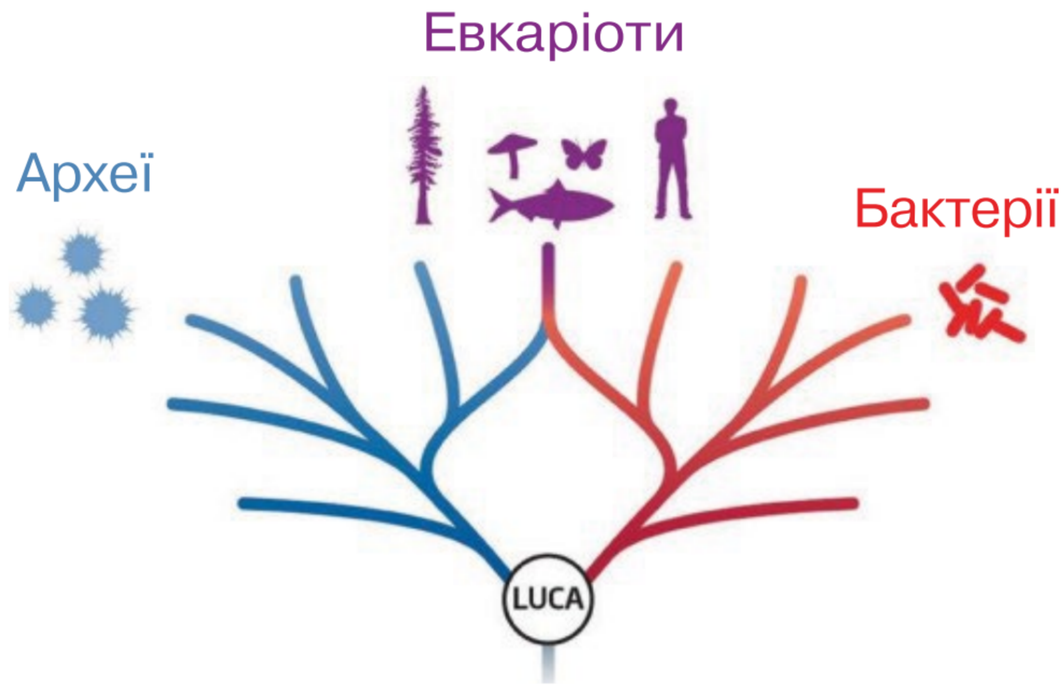
Важливим наслідком цього є формування описаної раніше комбінативної мінливості. Альтернативою є нестатеве розмноження, зокрема вегетативне (за допомогою частин організму). У цьому випадку організми наступного покоління будуть мати генотип, ідентичний батьківському. Значення репродукції організмів полягає у підтримці чисельності популяцій, що є важливим для підтримки їхньої стійкості та існування видів загалом. Стійкість популяцій забезпечує стійкість екосистем, до складу яких вони входять. Відтак репродукція організмів є неодмінним складником та запорукою тривалого існування життя.

Репродукція та еволюція. Репродукція забезпечує відтворення та підтримку живих систем. Проте не треба розуміти цей процес лише як копіювання наявних форм. За змін умов існування живі форми також змінюються, адаптуючись під них. Механізмом цього є природний добір, матеріалом для якого є спадкова мінливість, зокрема мутаційна. Шляхом накопичення від покоління до покоління змін організми можуть стати настільки відмінними від вихідної форми, що ми починаємо розглядати їх як різні види. Такі зміни відбуваються дуже поступово, їх можна побачити лише на великих часових проміжках (іл. 149). Не існує дискретних моментів, коли один вид перестає бути ним і стає іншим. Учені детально дослідили становлення багатьох груп організмів, зокрема і нашого біологічного виду — Людина розумна, що ви вивчали в минулому році. Зібравши разом наявні відомості про еволюційні зміни, науковці й науковиці здатні реконструювати процес поступових змін живих форм — від сучасних форм до спільних предків різних груп, ніби «прокручуючи назад» еволюційний процес, спостерігаючи процес переходу одних видів у інші в оберненому напрямку. У результаті такого аналізу сформовано уявлення про останнього універсального спільного предка сучасних організмів, який існував 3,5–3,8 млрд років тому (іл. 150).

Іл. 149. Поступове перетворення форм предків сучасних коней. Цифри — час існування, млрд років тому



Іл. 150. Зв'язок гіпотетичного останнього універсального предка (LUCA) із сучасними живими формами



1. Дайте означення поняття *репродукція*. **2.** Поясніть механізми, які вможливлюють репродукцію на різних рівнях живого. **3.** Поясніть взаємозв'язок репродукції з еволюційними процесами.

§ 36. Способи розмноження організмів



Що таке конденсація хроматину, хромосома, хроматида, центромера?
Як відбувається нестатеве розмноження?
За рахунок чого відбувається ріст?

Статеве й нестатеве розмноження. Ви вже знаєте, що розмноження організмів — це процес відтворення собі подібних, який забезпечує неперервність та спадковість життя.

Виділяють дві основні форми розмноження — **статеве** та **нестатеве**. Під час статевого розмноження відбувається обмін генетичною інформацією між різними організмами за допомогою спеціалізованих статевих клітин. Нестатеве розмноження здійснюється без участі статевих клітин і не пов'язане з обміном спадковою інформацією між різними особинами. Обидві форми розмноження є поширеними в різних групах організмів.

Форми нестатевого розмноження. У одноклітинних організмів єдиною формою розмноження є клітинний поділ. Прокаріотичні клітини діляться простим бінарним поділом, тоді як у евкаріотичних організмів основним типом поділу є мітоз.

Вегетативне розмноження відбувається шляхом природної або штучної фрагментації материнського організму з утворенням нових організмів. Це може бути брунькування (прісноводна гідра), фрагментація з подальшою регенерацією (кільчасті черви) або формування спеціалізованих частин організмів (бульби, цибулини, виводкові бруньки) (іл. 151).

У рослин поширене спороутворення — формування спеціалізованих складників — спор у спорангіях. Спороутворення притаманне також грибам.

Іл. 151. Приклади вегетативного розмноження: а — брунькування прісноводної гідри; б — виводкові бруньки на краях листків каланхое

а



б





Поміркуйте, які переваги надає вегетативне розмноження? Чи будуть нащадки тварини й рослини, яких зображено, генетично ідентичними з материнським організмом?

Виконайте інтерактивне завдання «Статеве та нестатеве розмноження в рослин».

Статеве розмноження. Під час статевого розмноження організм нового покоління зазвичай утворюється в результаті запліднення, тобто злиття гаплоїдних статевих клітин. Це є більш складним і еволюційно прогресивним механізмом. Його основною перевагою є збільшення рівня внутрішньо-видової генетичної мінливості, що забезпечує стійкість біологічних систем і є рушієм еволюції.

Механізми формування статевих клітин (гамет) можуть варіюватися. У **різностатевих** організмів гамети різного типу утворюються різними організмами, які належать до різних статей. Часто представники різних статей мають істотні відмінності в зовнішній та внутрішній будові. Альтернативою є **гермафродитизм** — коли сперматозоїди та яйцеклітини формуються одним і тим самим організмом (іл. 152). У такому випадку можливе як самозапліднення (злиття гамет, що продукуються тим самим організмом), так і перехресне запліднення (гамети походять від різних організмів). Запліднення може відбуватися всередині організму — внутрішнє, або ж у зовнішньому середовищі — зовнішнє.

Особливою формою статевого розмноження є **партеногенез**, при якому розвиток зародка з яйцеклітини відбувається без запліднення. Цей процес притаманний багатьом рослинам та безхребетним тваринам (попелиці, деякі види цвіркунів, метеликів та бджіл) та деяким хребетним (рибам, амфібіям, ящіркам). Партеногенез забезпечує високу швидкість розмноження та надає переваги за низької щільності популяцій. Існують види, в яких немає самців, а розмножуються лише самки шляхом партеногенезу (іл. 153).

Ще одним різновидом розмноження є **поліембріонія**. У цьому випадку з однієї зиготи розвивається кілька організмів. Прикладом цього є виникнення монозиготних («однояйцевих») близнят у людини.

Іл. 152. Розмноження дощових черв'яків — приклад гермафродитизму



Іл. 153. Партеногенетична ящірка *Aspidoscelis neomexicanaю*





Доберіть приклади різних способів розмноження в рослин і тварин.



1. Дайте означення понять *статеве розмноження, нестатеве розмноження, гермафродитизм, партеногенез, поліембріонія*. **2.** Назвіть форми нестатевого розмноження. **3.** Наведіть приклади вегетативного розмноження в рослин. **4.** Поясніть переваги й недоліки статевого та нестатевого розмноження.

§ 37. Статеві клітини й запліднення



Як генетична інформація передається до наступних поколінь організмів?
Які типи мутацій вирізняють за наслідками для існування організмів?

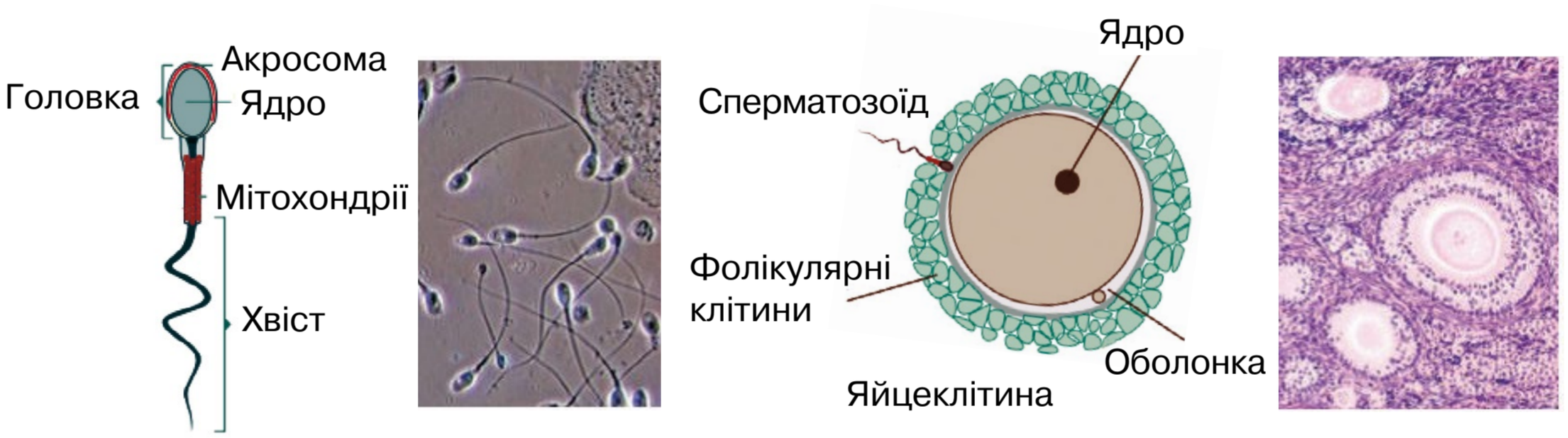
У рослин і тварин найпоширенішим способом розмножування є статеве, яке здійснюється за участі гамет.



Будова статевих клітин. *У більшості організмів виділяють різні за будовою чоловічі та жіночі статеві клітини. Невеликі чоловічі статеві клітини називають* ***сперматозоїдами*** *(якщо вони рухливі) або* ***сперміями*** *(якщо вони нерухливі). У ссавців сперматозоїди складаються з головки, основну частину внутрішнього вмісту якої займає ядро, шийки та хвоста. Основою хвоста є джгутик, що забезпечує переміщення в просторі (іл. 154). У головці сперматозоїдів ссавців є важлива мембранна органела — акросома. Вона заповнена ферментами, потрібними для розчинення захисних оболонок яйцеклітини. Жіночі статеві клітини називають* ***яйцеклітинами****. Вони містять багато цитоплазми, потрібної для забезпечення організму речовинами та енергією на ранніх стадіях ембріонального розвитку, а в деяких видів — упродовж усього цього періоду (іл. 154).*

Формування статевих клітин у людини. Процес утворення статевих клітин називається ***гаметогенезом***. Його основою є раніше проаналізований мейоз. Формування чоловічих статевих клітин називають ***сперматогенезом***. Виділяють три його стадії. На першій клітини попередники в сім'яних канальцях сім'яників розмножуються мітозом, після чого деякі з них вступають у мейоз. По закінченні обох його поділів формуються гаплоїдні клітини, що поки не є зрілими сперматозоїдами. Дозрівання є третьою

Іл. 154. Будова статевих клітин: а — схематичне зображення та мікрофотографія сперматозоїда; б — схематичне зображення та мікрофотографія яйцеклітини



а б



Сформулюйте мету та складіть план лабораторного дослідження будови статевих клітин тварин за допомогою оптичного мікроскопа.



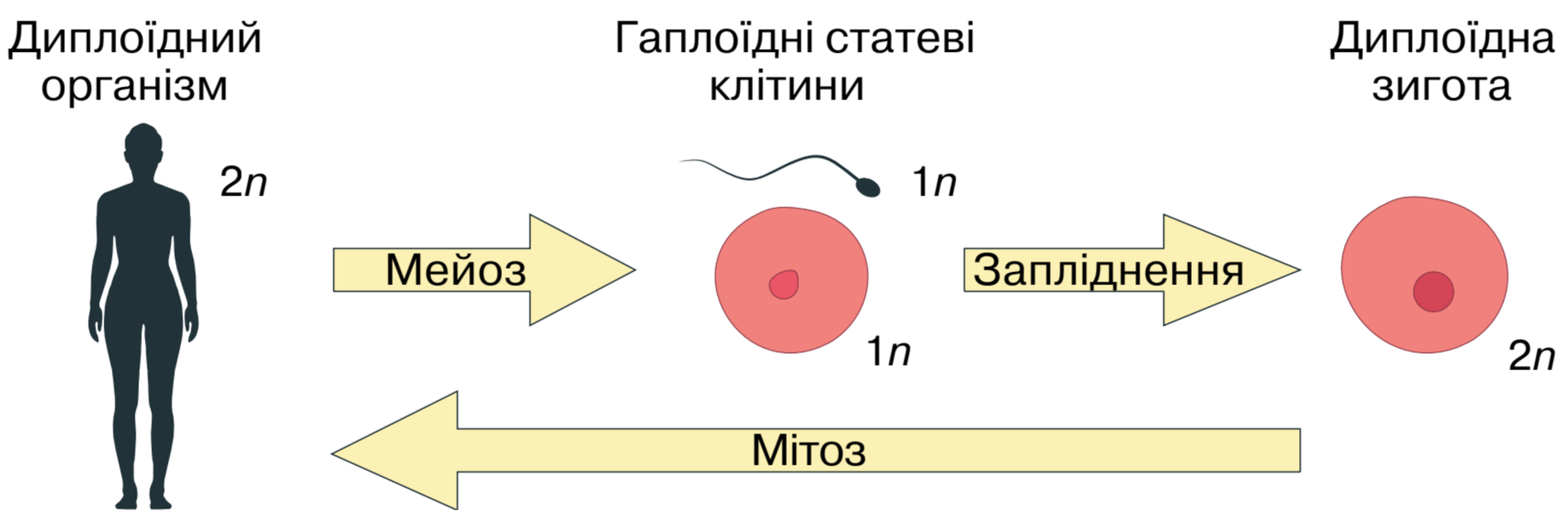
Згадайте особливості будови статевих клітин рослин і тварин, що ви вивчали. Які чинники обумовлюють подібність та відмінність у будові статевих клітин?

стадією: утворюються акросома та хвіст, конденсується хроматин. Після вивільнення в просвіт канальця клітини набувають рухливості та стають функціональними сперматозоїдами. Утворення яйцеклітин називають **оогенезом**. Він відбувається у фолікулах яєчників. Клітини-попередники також спочатку діляться мітотично, після чого вступають у мейоз. На відміну від сперматогенезу, мейоз розпочинається ще до народження дівчинки, але зупиняється на стадії профази I. Завершення поділу та дозрівання яйцеклітин відбувається після настання статевої зрілості регулярно кожні 25–30 діб (цей період називають менструальним циклом). Зазвичай за один цикл дозріває одна яйцеклітина. Зріла яйцеклітина виходить з фолікула та потрапляє до маткових труб — цей процес називають овуляцією. Утворення гамет контролюється статевими гормонами.

Запліднення. Формування нового організму відбувається в результаті злиття статевих клітин, яке називають **заплідненням** (іл. 155). У людини сперматозоїди під час статевого акту потрапляють до статевих шляхів жінки. За допомогою хвоста сперматозоїди рухаються до маткових труб. Якщо вони досягають яйцеклітини, то можуть запліднити її. За допомогою вмісту акросоми розчиняються захисні оболонки, і сперматозоїд уводить у неї своє ядро. Після цього в мембрані яйцеклітини відбуваються зміни, що внеможливлюють злиття з нею іншого сперматозоїда. Гаплоїдні ядра яйцеклітини та сперматозоїда зливаються. З цього моменту клітина називається зиготою. Вона просувається за допомогою війкових клітин епітелію труб матки до її порожнини, де починається ембріональний розвиток нового організму.

Біологічне значення запліднення. Поєднання хромосом різних організмів є одним з механізмів формування комбінативної мінливості. У процесі запліднення відновлюється диплоїдний набір хромосом, що важливо для підтримання сталості хромосомного набору певного виду.

Іл. 155. Зв'язок процесів гаметогенезу та запліднення



Кількість хромосом у гаплоїдному наборі в людини $n = 23$

Підготуйте повідомлення про відкриття подвійного запліднення в квіткових.

1. Дайте означення понять *статеві клітини, запліднення*. **2.** Порівняйте особливості будови яйцеклітини та сперматозоїда. **3.** Чим зумовлені відмінності в будові статевих клітин організму? **4.** Поясніть процес гаметогенезу в людини. **5.** Оцініть біологічне значення запліднення.

§ 38. Особливості репродукції людини



Як генетична інформація передається до наступних поколінь організмів?
Які типи мутацій вирізняють за наслідками для існування організмів?

Репродукція є важливим аспектом життя людини. Відтворення чисельності населення та підтримання його вікової структури є запорукою стабільного розвитку суспільства (іл. 156).

Особливості репродукції людини. Соціальна природа людини вносить істотні корективи у вроджені біологічні програми розмноження. Ви вже знайомі з багатьма їх аспектами: гаметогенез, функціонування статевих органів, запліднення, ембріональний розвиток і народження. Репродуктивну поведінку контролюють статеві гормони, які активують вроджені реакції. Проте в людини ці механізми не мають безумовної пускової функції, ми здатні стримувати сексуальний потяг залежно від умов оточення. Іншим важливим аспектом є здатність людини контролювати народжуваність. Сексуальні стосунки є важливим аспектом людського життя, але не завжди скеровані на зачаття дитини, чому можуть бути найрізноманітніші причини. Існує багато способів запобігти небажаній вагітності, що називають ***контрацепцією***, із яких найбільш поширеним є використання презерватива. Також людина здатна коригувати проблеми з вагітністю чи пологами за допомогою медицини, завдяки успіхам котрої за останні 25 років смертність під час пологів знизилася на 44 %, а лікарі та вчені продовжують працювати над подальшим зменшенням цього прикрого показника.

Порушення процесів репродукції. Буває так, що в людей виникають проблеми із зачаттям та народженням дитини. Цьому може бути низка причин.

Іл. 156. Зображення статуетки Венери Віллендорфської (24–22 тис років до н. е.)



Репродуктивна функція мала велике значення для виживання людства в давні часи. У фігурки відсутні риси обличчя, проте акцентована увага на статевій належності. Припускають, що ця статуетка слугувала символом родючості

У жінок ними можуть бути непрохідність маткових труб, гормональні розлади, які призводять до порушення овуляції або ж імунологічна несумісність, коли імунна система виробляє антитіла проти сперматозоїдів, унеможливлюючи їхнє функціонування. У чоловіків безпліддя може бути зумовлене порушеннями сперматогенезу, дефектами формування джгутика, через що сперматозоїди втрачають здатність рухатися, а також розладами процесів ерекції та/або еякуляції. Такі проблеми часто можна розв'язати за допомогою досягнень сучасної медицини.

Репродуктивне здоров'я. Здоров'я репродуктивної системи має важливе значення не лише для розмноження. Значну кількість фізіологічних процесів регулюють статеві гормони, а тому воно є запорукою тривалого нормального функціонування організму загалом (іл. 157). Зовнішні статеві органи мають чутливі слизові оболонки, тому за їх гігієною необхідно слідкувати більш ретельно, ніж за іншими ділянками шкіри. Значну проблему становлять хвороби, які передаються під час статевого контакту, збудниками яких можуть бути віруси (ВІЛ у випадку СНІДу, герпесвірус — генітального герпесу тощо), бактерії (гонокок у випадку гонореї, бліда спірохета — сифілісу, хламідії — хламідіозу), гриби (*Candida albicans* у випадку кандидозу) або найпростіші (трихомонади). Наслідками цих хвороб можуть бути втрата сексуальної функції (імпотенція), безпліддя та системні захворювання, які можуть закінчитися смертю. Для профілактики потрібно слідкувати за своїм сексуальним життям: уникати випадкових статевих контактів, завжди користуватися презервативом, який у багато разів зменшує ризик передавання збудника. Варто зауважити, що багато захворювань, які передаються статевим шляхом, мають тривалі приховані періоди, під час яких видимих симптомів ще немає, але ймовірність передання збудника (зараження) є високою. Тому використання презерватива повинно бути обов'язковим елементом статевого життя.

Іл. 157. Підтримка репродуктивного здоров'я — запорука здорової вагітності



1. Сформулюйте означення поняття *репродуктивне здоров'я*. **2.** Поясніть особливості репродукції людини. **3.** Які причини порушення репродуктивної функції? **4.** Які чинники впливають на репродуктивне здоров'я людини?

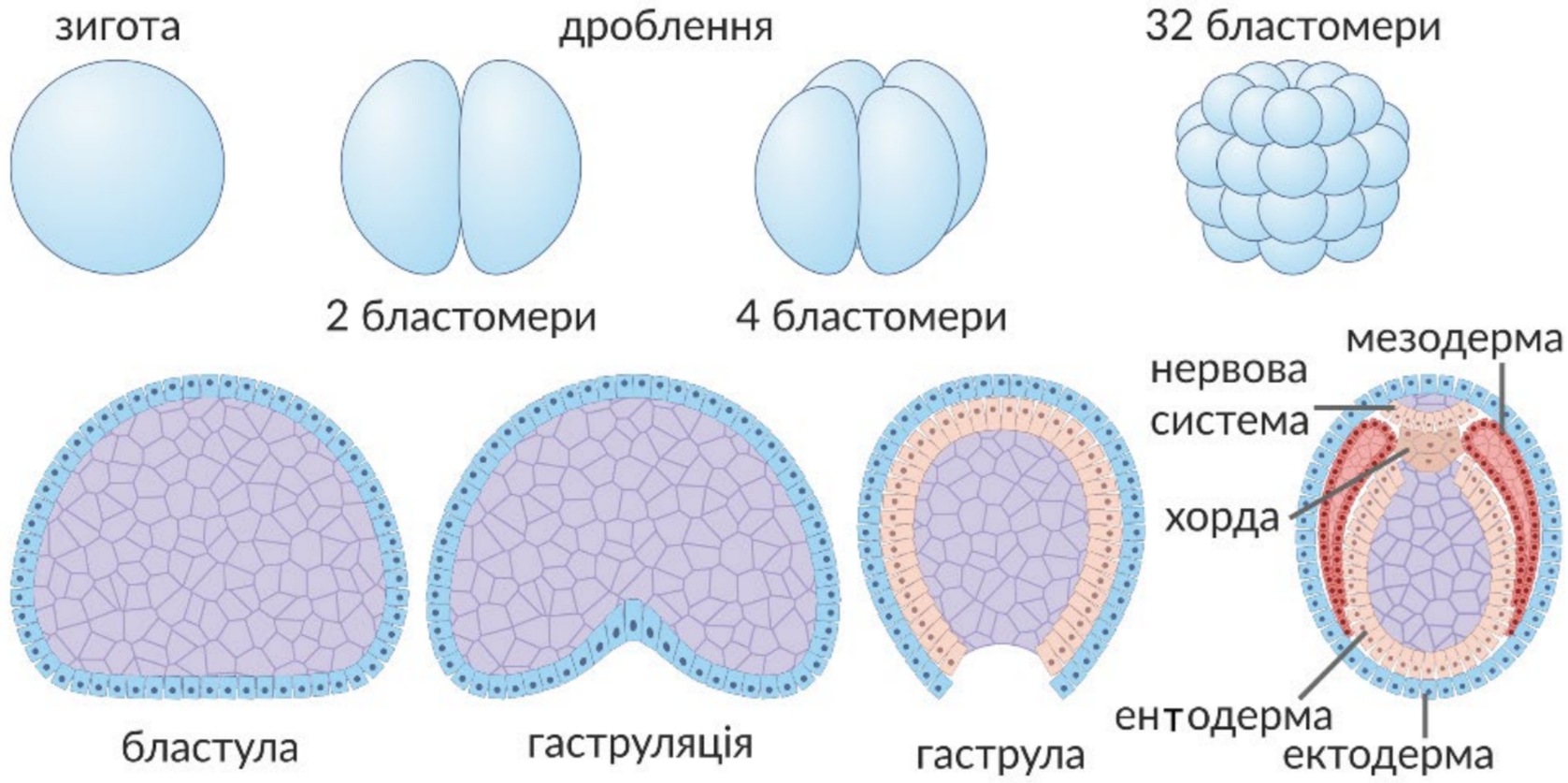
§ 39. Ембріогенез хордових тварин та його регуляція

Дайте означення понять онтогенез, ембріогенез.

Індивідуальний розвиток організму називають **онтогенезом**. Його перший етап — **ембріогенез** (ембріональний розвиток) — можна поділити на кілька періодів, із якими ми познайомимося.

Особливості ембріогенезу хордових тварин. *Перший етап ембріонального розвитку називають* ***дробленням****. У цей час зигота послідовно ділиться шляхом мітозу. Особливість цього процесу полягає в тому, що під час інтерфази утворені клітини (їх називають бластомерами) не збільшуються в об'ємі (іл. 158). Усі утворені клітини зазнають поділу водночас, а тому після першого поділу зародок складається з 2 бластомерів, далі їх стає 4, потім 8, 16 і т. д. Утворені бластомери зрештою розташовуються по периметру сфери. У цей час зародок складається з одного шару клітин, усередині якого є порожнина. Цю стадію називають бластулою, а процес її утворення —* ***бластуляцією****. На наступній стадії зародок стає двошаровим — частина бластомерів формує внутрішній шар. Це може відбуватися в різні способи, один із яких — впинання частини зародка всередину. Цю стадію називають гаструлою, а процес —* ***гаструляцією****. Утворені шари клітин називають зародковими листками, зовнішній листок — ектодермою, внутрішній — ентодермою. Далі формується третій зародковий листок — мезодерма. Ці етапи вивчимо під час лабораторного дослідження за допомогою оптичного мікроскопа (іл. 158).*

Іл. 158. Етапи ембріогенезу хордових тварин



Зображений процес притаманний іншим хордовим. Ембріогенез людини дещо складніший, проте послідовність і загальні особливості процесів збігаються

Сформулюйте мету та складіть план лабораторного дослідження етапів ембріонального розвитку за допомогою оптичного мікроскопа.

Наступний етап розвитку називають ***органогенезом***: формуються органи та системи органів. Різні зародкові листки дають початок різним частинам організму. З ектодерми розвиваються зовнішні покриви та нервова система, з ентодерми — епітелій і залози травного каналу і дихальна система, а клітини мезодерми утворюють скелет, м'язи та частину внутрішніх органів.

Основні події ембріогенезу людини. В ембріогенезі людини виокремлюють три послідовні періоди: початковий, зародковий і плодовий.

Початковий період триває перший тиждень ембріонального розвитку. Перший мітотичний поділ зиготи закінчується приблизно через 30 годин після запліднення. Надалі відбувається формування бластомерів (іл. 159), бластули та гаструли. Частина клітин формує ембріобласт — частину зародка, з якої буде розвиватися безпосередньо плід. Інші клітини формують трофобласт — те, з чого розвиватимуться зародкові оболонки. ***Зародковий період*** триває від початку другого й до закінчення восьмого тижня вагітності. На початку другого тижня розпочинається гаструляція, на третьому — розвиток хорди, нервової трубки, серця та мозку. Загалом до закінчення восьмого тижня завершуються основні події гістогенезу й органогенезу. Одна з ембріональних оболонок (амніон) формує заповнений рідиною пухир, у якому знаходиться зародок. Інша (хоріон) утворює важливий орган — плаценту. ***Плодовий період*** починається з дев'ятого тижня вагітності та завершується народженням. Зародок на цій стадії називають плодом. У цей час плід посилено росте й живиться за допомогою плаценти (іл. 160). Крім того, плацента захищає плід від проникнення токсичних речовин і більшості хвороботворних мікроорганізмів. Однак крізь плаценту можуть проникати деякі віруси (наприклад ВІЛ), бактерії (збудники

Іл. 159. Початковий період ембріогенезу людини



Електронна мікрофотографія зародку на стадії чотирьох бластомерів

Іл. 160. Плодовий період ембріогенезу людини



Плід, що росте й живиться за рахунок плаценти



Обґрунтуйте необхідність відповідального ставлення майбутньої матері до свого здоров'я під час вагітності.

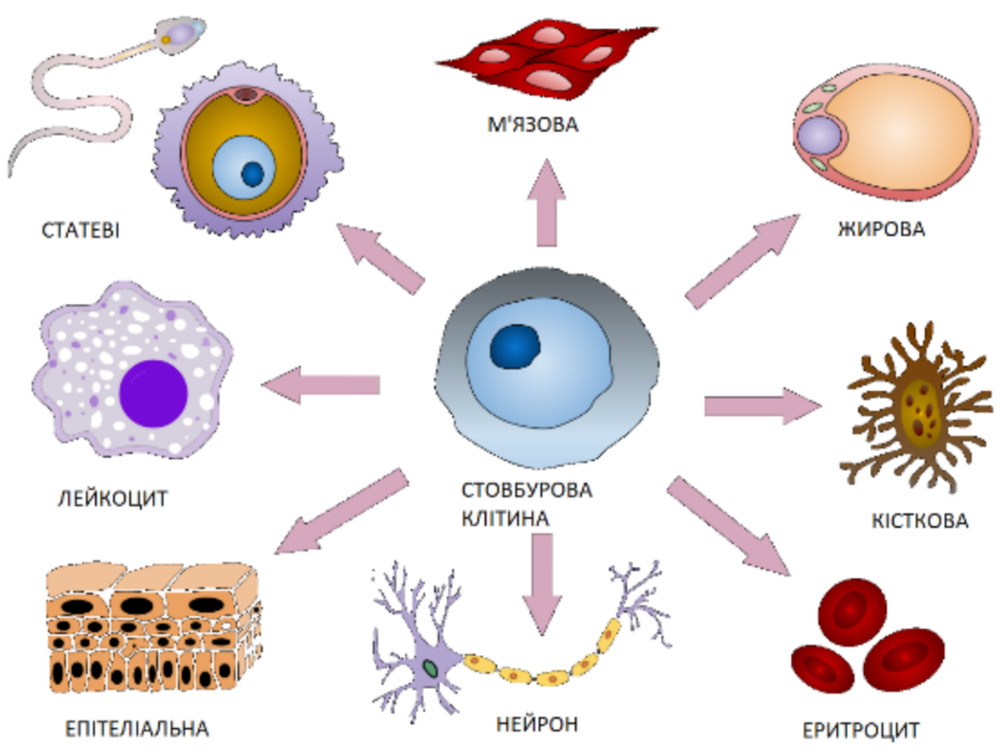
сифілісу тощо), одноклітинні (токсоплазма тощо) та багатоклітинні (різні види гельмінтів) паразитичні тварини — отже, захист плода материнським організмом не є абсолютним.

Наприкінці другого місяця довжина плода зростає до 20–25 мм, — майже половина тіла припадає на голову; формуються риси обличчя, повіки, ніс, губи, очні западини, кінцівки, розпрямляється спина. Якщо клітини ембріона містять Y-хромосому, активується наявний у ній SRY ген, і розпочинається формування плода за чоловічим типом. Наприкінці третього місяця розвиваються пальці. Упродовж шостого та сьомого місяців тривають ріст і збільшення маси. На п'ятому місяці плід починає рухатися. З початку останнього, дев'ятого місяця вагітності остаточно встановлюються пропорції плода. Перед пологами (38–40-й тиждень зародкового розвитку) доношений плід має довжину близько 45–60 см і масу 2,5–4 кг.

Під час розвитку існує небезпека передчасного переривання вагітності внаслідок дії несприятливих чинників. Зародок людини найбільш чутливий до негативних впливів на 7–8-му днях ембріогенезу, коли він занурюється в слизову стінки матки (перший критичний період). Другий критичний період — це час розвитку плаценти (3–10-й тиждень зародкового розвитку, який збігається з періодом формування зачатків органів). В останні два місяці зростає ризик передчасних пологів.

Регуляція ембріонального розвитку. Розвиток багатоклітинних організмів супроводжується спеціалізацією клітин — вони набувають різної будови та виконують різні функції в складі тканин і органів. На ранніх етапах розвитку основну частину клітин зародка становлять стовбурові клітини — це недиференційовані клітини, які мають здатність до поділу та можуть перетворюватися на різні типи клітин організму (іл. 161).

Іл. 161. Стовбурові клітини й диференціація



Іл. 162. Регуляція розвитку кінцівки



Регуляторна сполука, білок shh утворюється лише в одній частині закладки кисті. Градієнт його концентрації визначає формування пальців різної форми



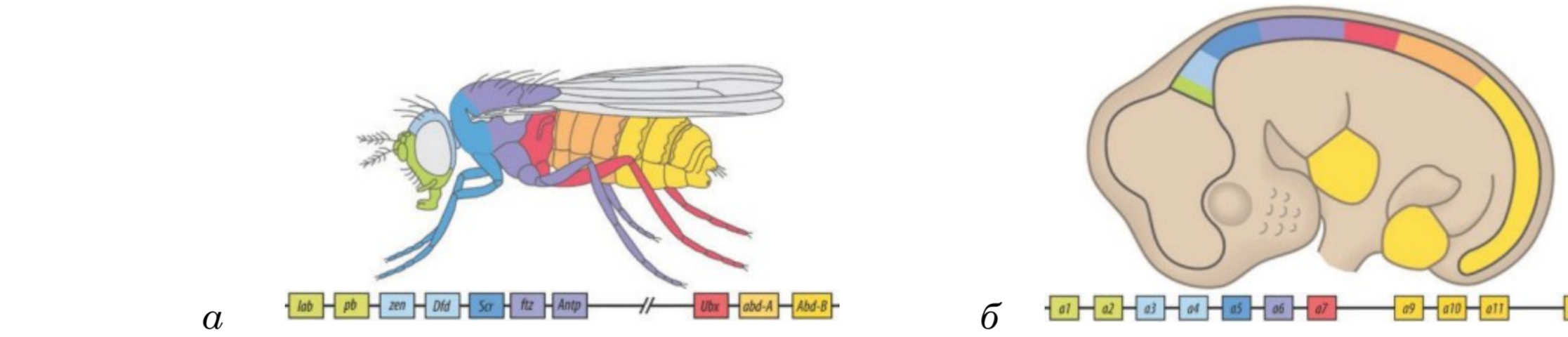
Поміркуйте, якими можуть бути наслідки мутації в цьому гені.

Процес перетворення стовбурових клітин на спеціалізовані називають **диференціацією**. Стовбурові клітини працюють не лише в ембріогенезі, у дорослих людей вони забезпечують утворення клітин крові, відновлення покривних епітеліїв тощо. Поділ, ріст та диференціація клітин визначають утворення різних частин організму. Ці процеси регулюються хімічними сигналами, якими обмінюються клітини. Одними з них є морфогени — сигнальні молекули, які виділяються певними клітинами. Вони дифундують крізь ембріональні тканини та визначають напрямок розвитку сусідніх клітин залежно від своєї концентрації. Таке скеровування шляху розвитку клітин за допомогою сигнальних молекул називають **ембріональною індукцією**. Прикладом є формування кінцівки (іл. 162). У процесі ембріонального розвитку утворюються різні ділянки, клітини яких виділяють морфогени. Через те, що вони керують розвитком сусідніх тканин, вони отримали назву організаторів.

Іншими важливими сигнальними молекулами є **фактори росту**, що регулюють ріст і розвиток клітин. На відміну від морфогенів, які працюють переважно в ембріогенезі, фактори росту потрібні для підтримки сталості тканин, регенерації, загоєнні ран тощо.

Клітинна доля або диференціація визначається тим, які гени в ній будуть активними, а які ні. Ви пам'ятаєте, що робота генів починається з транскрипції — зчитування ДНК. Морфогени та фактори росту, впливаючи на клітини, активують внутрішні регуляторні білки, які працюють як транскрипційні фактори, посилюючи або пригнічуючи активність окремих генів. Важливу роль у розвитку відіграють гени-організатори, зокрема hox-гени, що визначають загальний план тіла організму — наприклад, розташування голови, тулуба й хвоста (іл. 163).

Іл. 163. Генетична регуляція загального плану розвитку тіла мухи (*а*) та ембріона миші (*б*)



Кольорами позначено деякі гени хромосом мухи та миші, а також ділянки організмів, у яких ці гени є активними. Однакові кольори позначають подібні за структурою гени й ті місця організму, де вони активні. Як бачите, закономірність роботи різних генів є подібною



1. Дайте означення поняття *ембріогенез*. **2.** Схарактеризуйте етапи ембріогенезу хордових тварин. **3.** Як відбувається регуляція ембріонального розвитку? **4.** Опишіть особливості ембріогенезу людини. **5.** У чому полягає явище ембріональної індукції?

§ 40. Післязародковий розвиток та життєві цикли



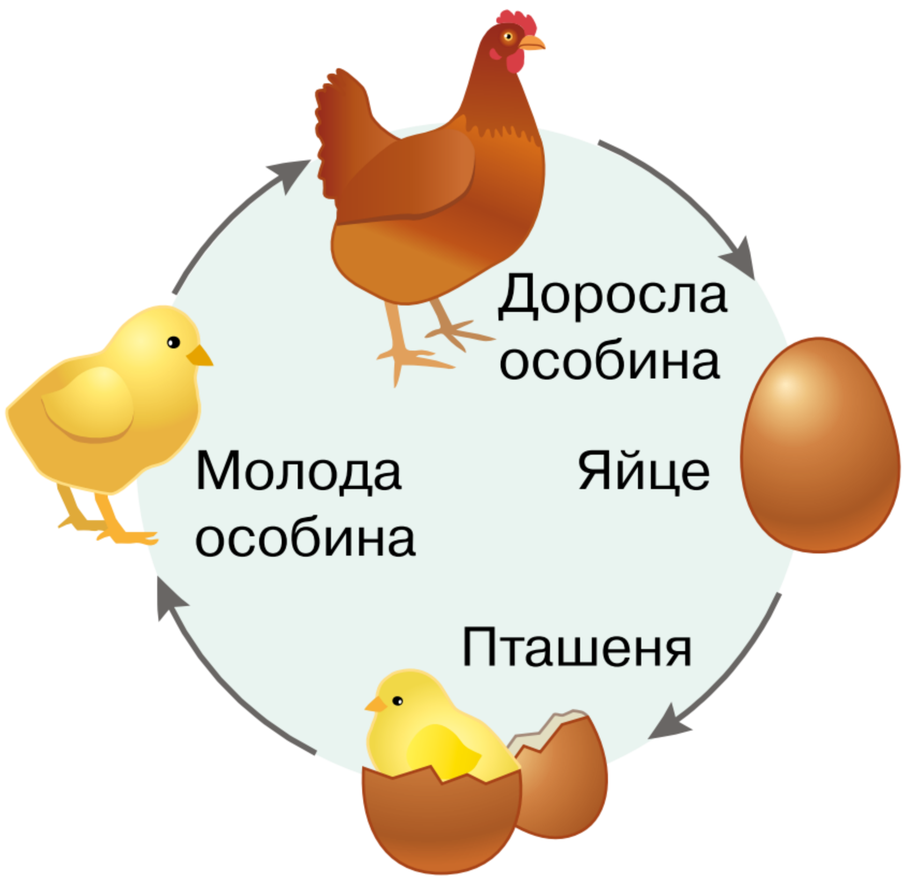
Пригадайте приклади регенерації у тварин.

Періодизація життя. Індивідуальний розвиток окремого організму або онтогенез починається формуванням організму нового покоління (в результаті поділу клітини або запліднення) та закінчується загибеллю організму або ж поділом (у одноклітинних). Отже, у одноклітинних організмах онтогенез співпадає із клітинним циклом. У багатоклітинних організмах онтогенез є більш складним та складається з певних періодів. **Ембріональний** або зародковий починається з утворення зиготи в результаті запліднення (або партеногенезу). Зародок може формуватися в статевих органах (наприклад, у людини), в яйцях (рептилії, птахи) чи ікрі (деякі безхребетні та риби, амфібії), зав'язі маточок (покритонасінні рослини) тощо. Цей період завершується *народженням* (вилупленням, проростанням), після чого розпочинається **постембріональний** або післязародковий період. Він може тривати від кількох годин до десятків років і завершується смертю організму.

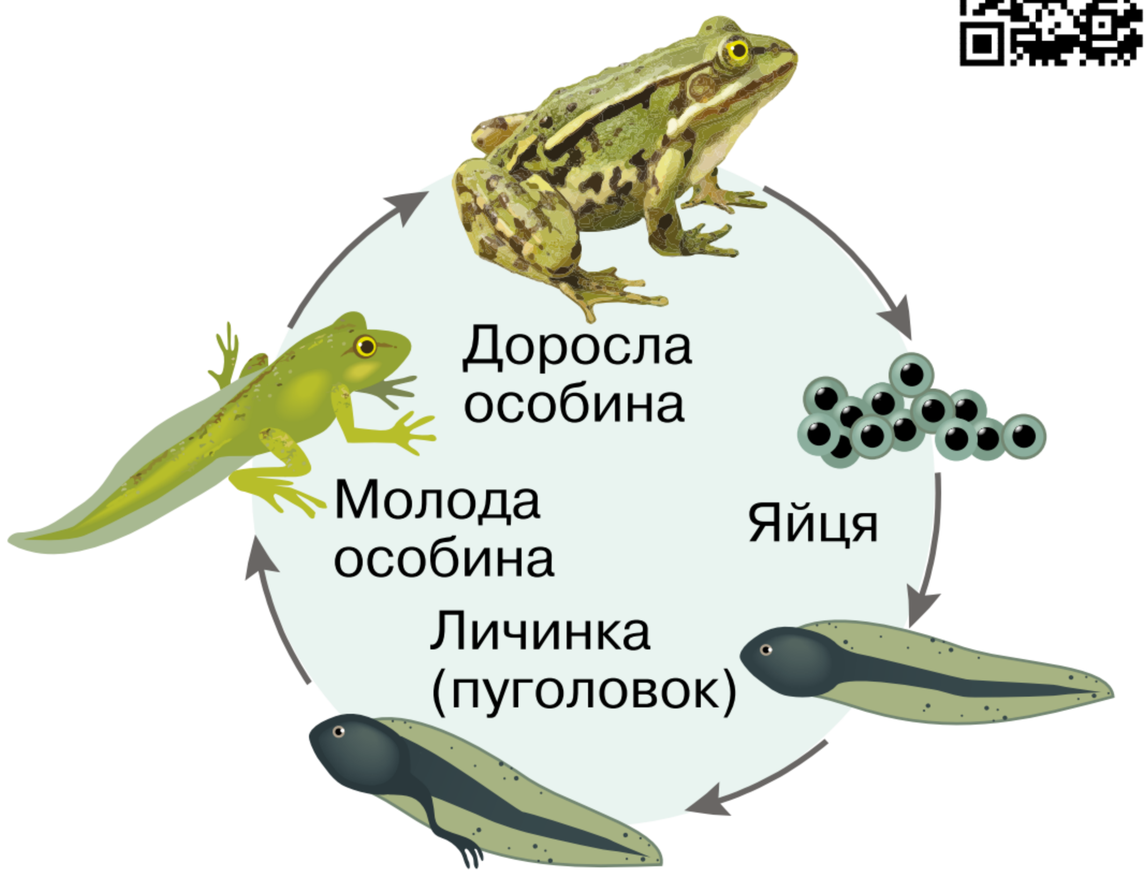
Життєві цикли. Життєвий цикл — це послідовність змін і стадій, які проходить організм від утворення до утворення наступного покоління. **Прості** життєві цикли включають у себе лише одне покоління — воно змінюється таким же. Простий життєвий цикл можна зрозуміти на прикладі курки (іл. 164).

Вилуплене з яйця курча відрізняється від дорослого організму розмірами та ступенем розвитку певних органів (наприклад, недорозвиненістю статевої системи). Такий тип постембріонального розвитку називають **прямим**.

Іл. 164. Життєвий цикл курки



Іл. 165. Життєвий цикл жаби



Складіть опис життєвих циклів тварин, наведених на ілюстраціях.

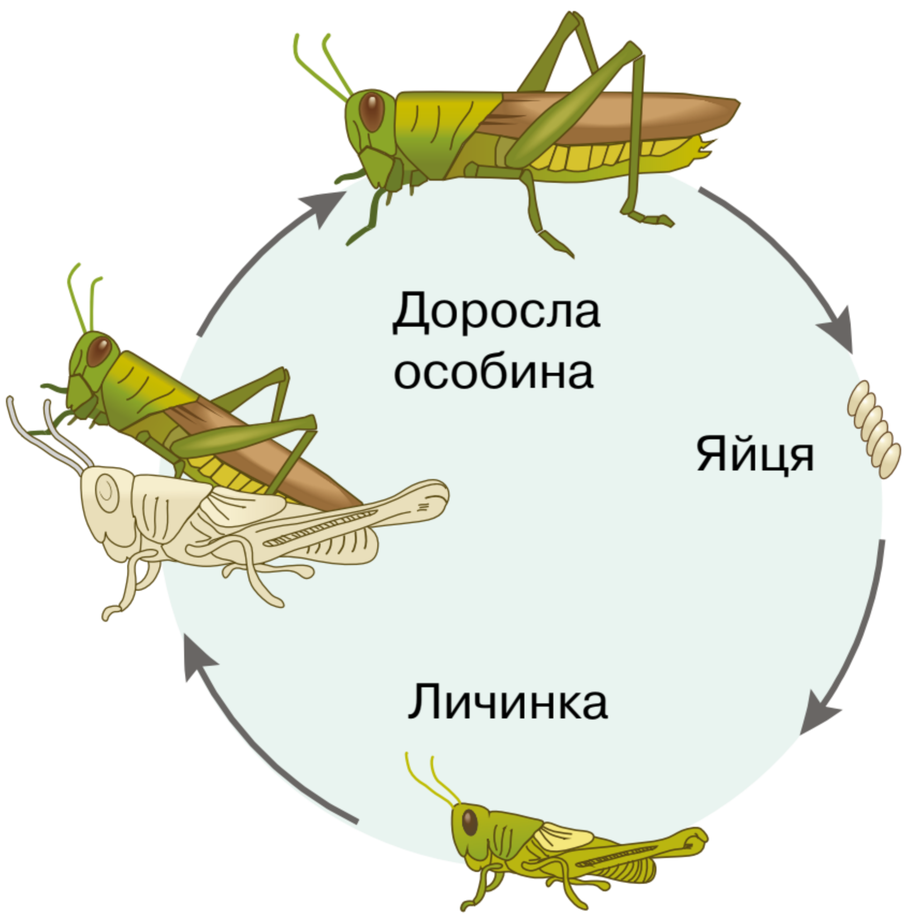
Непрямий тип постембріонального розвитку характеризується відмінністю будови та життєдіяльності організму на різних стадіях. Наприклад, пуголовок жаби спершу не має кінцівок, проте має тимчасовий хвіст (іл. 165). По мірі дозрівання в нього формуються кінцівки, а хвіст руйнується. Стадію існування, на якій організм істотно відрізняється від дорослого, називають **личинковою**, а процес перетворення личинки на дорослу особину — **метаморфозом**.

У комах розрізняють **повне** та **неповне перетворення**. Під час неповного перетворення личинка має подібну до дорослого організму будову. У процесі росту вона проходить низку линьок, під час яких збільшується в розмірах та наближається в будові до дорослої стадії. Це притаманне, зокрема, коникам (іл. 166а). У деяких видів метаморфоз пов'язаний зі значними перебудовами організму. Таке явище називається повним перетворенням та притаманне, наприклад представникам ряду Лускокрилі. Їхні дорослі особини — це метелики, і вони дуже несхожі на личинки, відомі нам як гусінь. Перетворення личинки на дорослу комаху відбувається через особливу стадію, що має назву лялечки, на якій в організмі відбуваються істотні перебудови (іл. 166б).

Незважаючи на відносну складність, усі розібрані вище життєві цикли є простими. У **складних** життєвих циклах відбувається **чергування поколінь**, які мають різну будову, функціонування та особливості розмноження. Таке відбувається в рослин, у яких виділяють статеве й нестатеве покоління.

Розглянемо варіант, притаманний мохам (іл. 167). Доросла рослина має стебло із зеленими фотосинтезувальними листками та ризоїди, якими вона кріпиться до ґрунту. Клітини організму цієї стадії є гаплоїдними, через що її називають гаметофітом. Стадія гаметофіту є статевим поколінням, яке утворює гаплоїдні статеві клітини.

Іл. 166. Життєві цикли: а — життєвий цикл з неповним перетворенням на коника; б — життєвий цикл з повним перетворенням на метелика



а



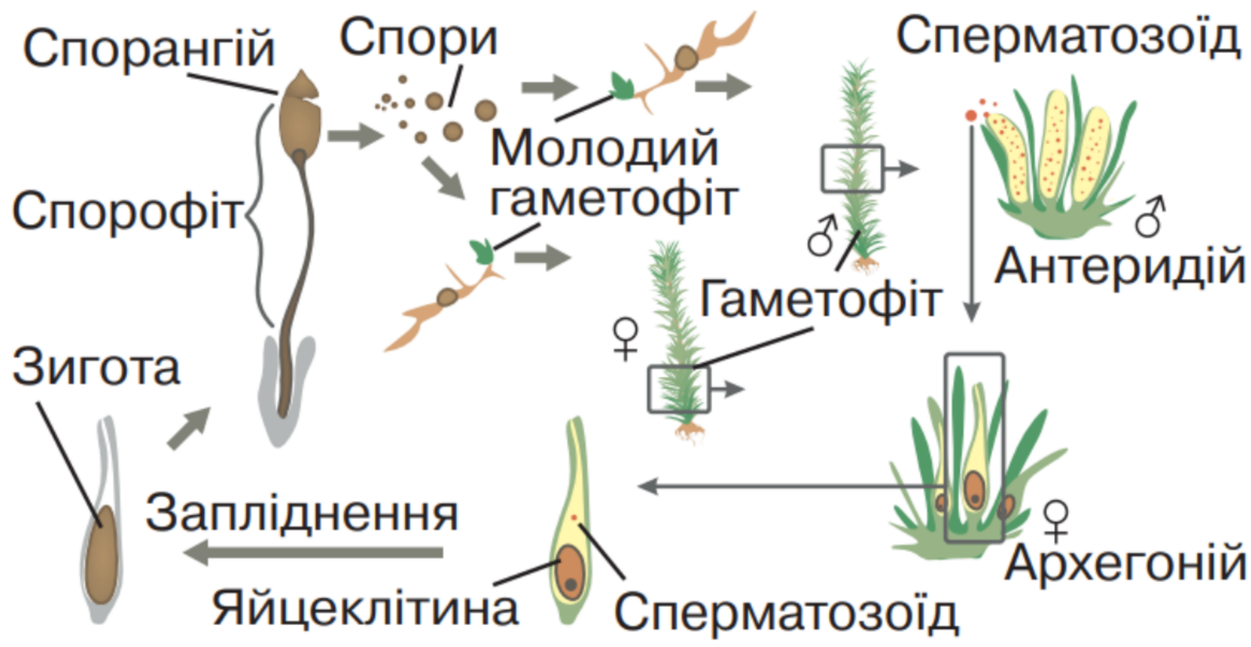
б

Які переваги надає комахам суттєва фізіологічна відмінність личинкової та дорослої стадій при повному перетворенні?

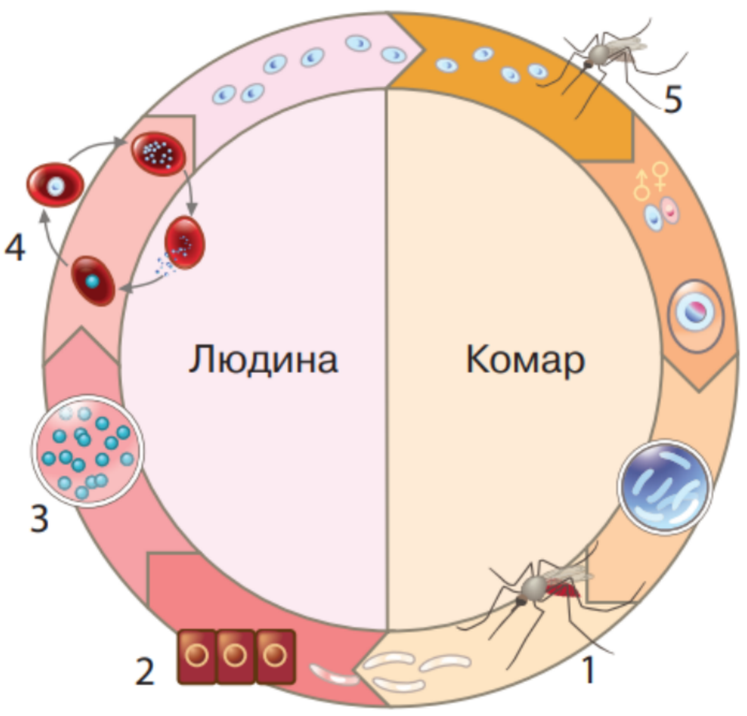
У результаті запліднення утворюється диплоїдна зигота, з якої розвивається рослина наступного покоління. Її клітини є диплоїдними. Це покоління є нестатевим, а його розмноження відбувається шляхом утворення спор — тому цю стадію називають спорофітом. «Коробочка» спорофіта є спорангієм, у ньому в результаті мейозу формуються гаплоїдні спори, з яких проростають рослини наступного покоління — гаметофіти (іл. 167). Подібне чергування гаметофіту та спорофіту притаманне більшості рослин. У мохів домінуючим (за тривалістю) поколінням є гаметофіт. У інших вищих рослин — папоротей, хвощів, плаунів, голонасінних та покритонасінних — домінує спорофіт, проте стадія гаметофіту також присутня.

Складні життєві цикли бувають і у тварин. У якості прикладу розглянемо малярійного плазмодія — одноклітинний евкаріотичний організм, що є збудником малярії. Він спрощено зображений на іл. 168. До організму людини збудник потрапляє зі слиною малярійного комара під час укусу (1). З кров'ю плазмодії потрапляють до печінки, де інфікують її клітини та живляться ними (2). Далі вони потрапляють у кров (3), де живляться червоними кров'яними тільцями. Саме з цим етапом життєвого циклу пов'язаний циклічний розвиток симптомів малярії (лихоманка, головний біль, озноб) — так організм реагує на вихід у кров нового покоління паразита (4). При укусах вони знов потрапляють в організм комара (5), де розмножуються в травній системі, і життєвий цикл замикається. Важливо відмітити, що комарі не лише переносять паразита, а й забезпечують важливі етапи його життєдіяльності (6). Якщо не почати лікування на першу добу, хвороба може призвести до смерті. Як бачимо, в описаному життєвому циклі також є чергування статевого та нестатевого поколінь. Процес ускладнюється тим, що різні стадії мають розвиватися в різних організмах-господарях. Така особливість життєвого циклу сприяє поширенню паразитичних організмів.

Іл. 167. Життєвий цикл рослин на прикладі мохів



Іл. 168. Життєвий цикл малярійного плазмодія



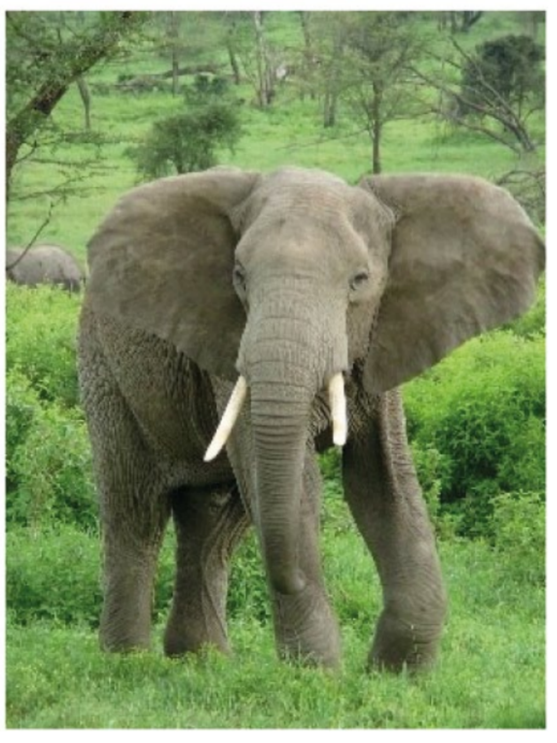


Пригадайте життєвий цикл покритонасінних рослин. Виявіть спільні й відмінні риси із наведеним життєвим циклом мохів.

Як можна бачити, у різноманітних життєвих циклах відбувається чергування ядерних фаз — організми можуть бути гаплоїдними або диплоїдними. У поширеному варіанті, притаманному в тому числі й людині, диплоїдний організм формує гаплоїдні статеві клітини, які, зливаючись, утворюють диплоїдну зиготу. В інших організмах доросла стадія є гаплоїдною, а диплоїдна зигота, що утворюється в процесі запліднення, одразу ділиться мейозом із утворенням гаплоїдних клітин.

Ріст організмів. У процесі онтогенезу багатоклітинних організмів відбувається ріст — збільшення маси та лінійних розмірів. У представників різних груп організмів цей процес може відбуватися дещо різним способом. Так, рослинам та грибам притаманний необмежений ріст. Під цим мається на увазі, що ріст організму відбувається настільки, наскільки це дозволяють умови існування та доступні ресурси незалежно від віку організму. Найбільшу висоту мають голонасінні рослини роду Секвоя (іл. 169). Найвищий екземпляр, що існує зараз, має 115 м заввишки, а його вік оцінюється від 600 до 800 років. Натомість, тваринам переважно притаманний обмежений ріст — він триває лише певний період в онтогенезі, а після досягнення дорослого віку припиняється. Тривалість життя та вік настання зрілості може істотно відрізнятися в різних видів. Загалом, чим більші розміри мають тварини, тим довше вони живуть. Приміром, у хатньої мухи від відкладання яєць до вилуплення з лялечки молодої комахи проходить менше тижня, а вже за три дні молода муха здатна сама відкладати яйця. У хатньої миші статева зрілість настає на 5–7 тиждень після народження, а тривалість життя становить до 4 років. У людини статеве дозрівання починається з 9–12 років, а очікувана тривалість життя становить більше 70 років. В африканських слонів вік статевого дозрівання 12–15 років, а тривалість життя до 86 років.

Іл. 169. Найбільші організми нашої планети: а) секвоя вічнозелена — найвище дерево, б) синій кит — найбільша тварина, в) африканський саванний слон — найбільший ссавець на суходолі

а  б  в 

1. Дайте означення понять *життєвий цикл*, *метаморфоз*. **2.** Схарактеризуйте прямий та непрямий тип розвитку. **3.** Поясніть відмінності простого та складного життєвих циклів. **4.** Складіть схему життєвого циклу організму на ваш вибір.

§ 41. Чинники, що впливають на ріст і розвиток людини



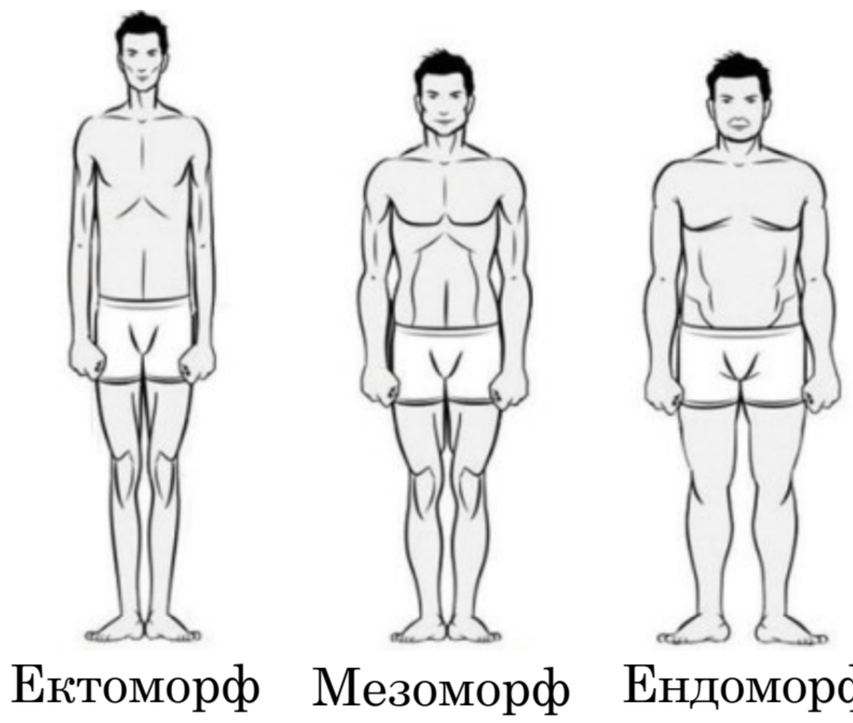
Що називають онтогенезом, ембріогенезом, постембріональним розвитком?

Вам уже відомо, що під час онтогенезу відбуваються зміни в організмі. Є чинники, що впливають на ріст і розвиток людини. Деякі з них мають спадковий характер. Інші є чинниками навколишнього середовища та впливають лише протягом періоду своєї дії.

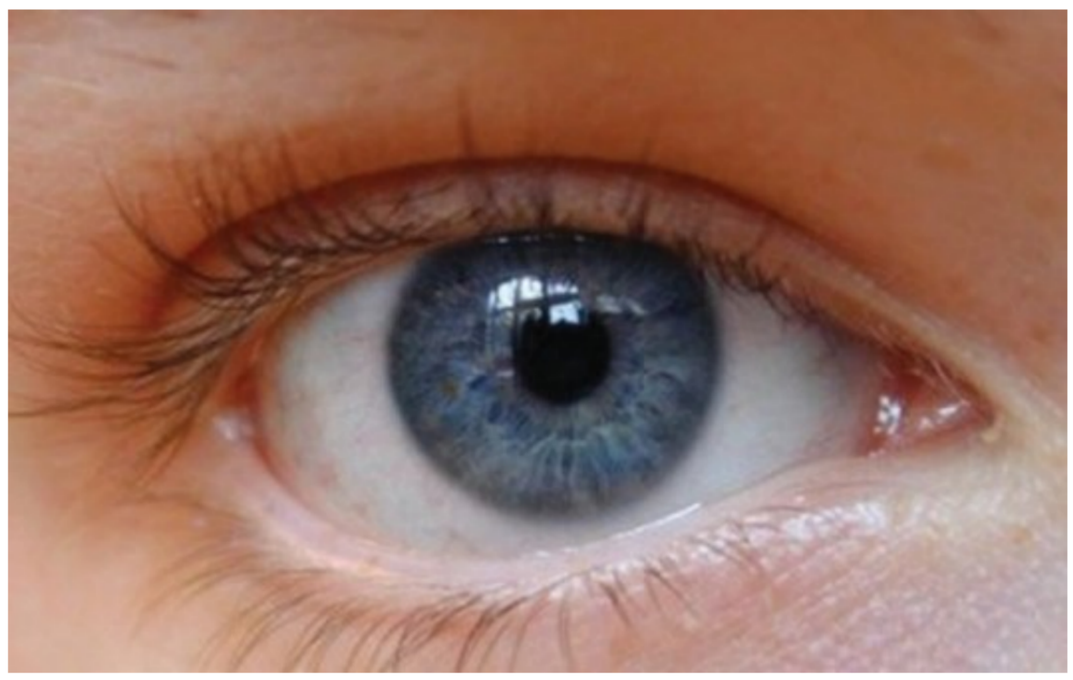
Роль спадкових чинників. Для людини справедливі закони спадковості. Багато ознак (тип статури, колір очей, волосся, група крові тощо) визначається ще до народження (іл. 170). Ці ознаки називають жорстко детермінованими. На їх формування в процесі розвитку організму зовнішнє середовище майже не впливає. Однак більшість ознак не детермінована, і на її формування умови середовища впливають суттєво. Мають спадкову схильність, але визначаються значною мірою впливом зовнішнього середовища такі ознаки людини, як інтелект, зріст і маса тіла, сила й спритність м'язів, схильність до деяких захворювань тощо.

Вплив негативних чинників на розвиток плода. Формування органів і функціональних систем дитини в процесі ембріонального розвитку визначається генотипом, а плід відносно добре захищений від багатьох зовнішніх впливів і отримує крізь плаценту все необхідне для існування. Проте багато чинників, що впливають на материнський організм, можуть впливати і на організм дитини, що розвивається. Деякі приклади цього ми наводили у параграфі 39.

Іл. 170. Ознаки людини, які не змінюються: а — статура ; б — забарвлення райдужної оболонки ока



а



б



Створіть просвітницький проєкт «Негативний вплив алкоголю та нікотину на розвиток плода».

Вплив харчування на процеси росту та розвитку людини. На темпи росту та розвитку людини впливає характер харчування. Збалансоване за калорійністю й білковим складом харчування не тільки сприяє оптимальному темпу росту в дитячому та підлітковому віці, але й сповільнює процеси старіння. Натомість обмеження в харчуванні, особливо білкове голодування, призводить до затримки росту, а надлишкове харчування прискорює старіння та сприяє розвитку хвороб.

Роль психологічних чинників, виховання та навчання. Затримка росту дитини може бути зумовлена психологічними чинниками. Хронічний емоційний стрес призводить до порушення секреції гормону росту, унаслідок чого знижуються показники росту дитини. Підтвердження цьому — менші розміри тіла дітей, які виросли в умовах асоціальних сімей і жорстокого виховання.

У постембріональному розвитку дитини вплив чинників зовнішнього середовища зростає. Особливості характеру, властивості пам'яті, довільної уваги, мислення визначаються не лише природними задатками, але й умовами виховання і навчання. Під час формування багатьох функцій існують критичні періоди, коли навчання є найбільш ефективним. Це стосується, наприклад, опанування в ранньому віці мов — по завершенні оптимального періоду навчання відбувається складніше й за участі дещо інших мозкових структур. Підтвердженням цьому є випадки дітей, що виросли в незвичайних умовах. Робота мозку підлітків оптимізована для швидкого засвоєння нової інформації. У результаті цього формуються нейронні зв'язки, які є підґрунтям для ефективної роботи дорослого мозку.

Отже, існують спадково детерміновані можливості фізичного та психічного розвитку людини, натомість рівень їх реалізації залежить від чинників навколишнього середовища (іл. 171).

Іл. 171. Ілюстрація впливу чинників на розвиток людини





Розпізнайте, як на ілюстрації подано спадкові чинники та чинники навколишнього середовища? Поясніть їхнє значення для розвитку дитини.



Зображення Мауглі з видання «Книги джунглів» Редьярда Кіплінга (1893)



1. Назвіть спадкові чинники, які впливають на розвиток організму. У чому полягає їх вплив? **2.** Який вплив харчування на ріст і розвиток людини? **3.** Оцініть роль психологічних чинників, виховання та навчання в розвитку дитини.

ПРАКТИЧНА РОБОТА

Характеристика різних способів вегетативного розмноження рослин і тварин

Мета: навчитися розпізнавати вегетативні органи рослин, закріпити знання щодо способів вегетативного розмноження рослин і тварин.

Завдання 1. Розгляньте зображення видозмін вегетативних органів рослин, за допомогою яких вони розмножуються. Доберіть до зображення видозміни (1–4) її назву (А–Д).

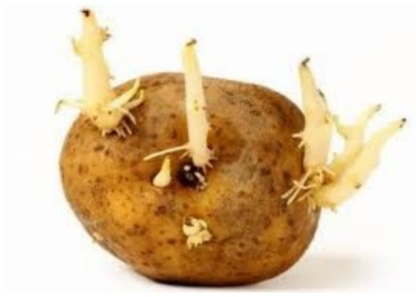
1



2



3



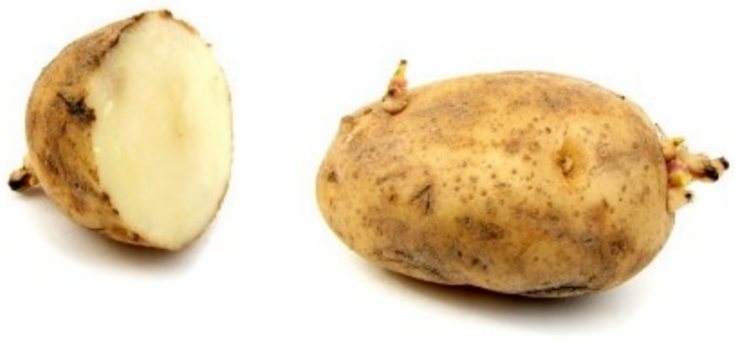
4



А вуса
Б ягода
В бульба
Г цибулина
Д кореневище

	А	Б	В	Г	Д
1					
2					
3					
4					

Завдання 2. Розпізнайте складники зображених видозмінених органів рослин (а, б). Доведіть, що зображені органи є видозміною пагона.



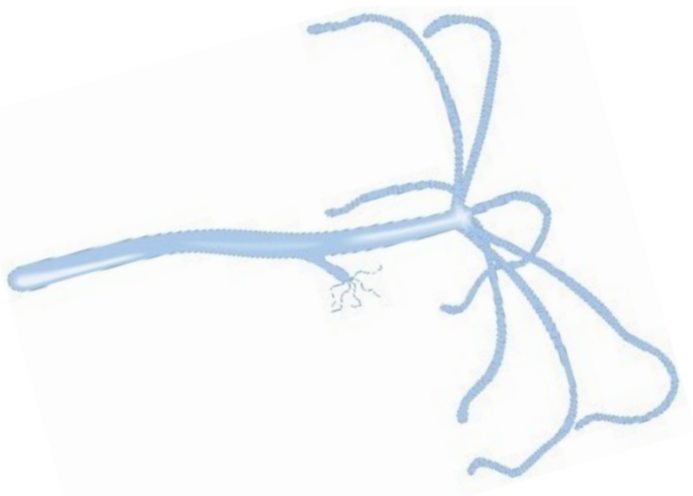
а



б

Завдання 3. Розпізнайте зображених тварин. Опишіть способи вегетативного розмноження цих організмів .





Завдання 4. Визначте видозміни вегетативних органів, якими можуть розмножуватися зображені на ілюстрації рослини. Опишіть розмноження рослин за допомогою цих органів.



Хрон



Батат



Конюшина



Ірис

Завдання 5. Ознайомтеся з інформацією: *«Штучне вегетативне розмноження — це метод отримання нових рослин із їхніх частин (живців, бруньок, коренів), який здійснюється людиною для збереження сортових якостей і прискорення розмноження. Основні способи штучного вегетативного розмноження: живцювання (стеблові, листкові, кореневі живці), відсаджування, поділ куща, а також щеплення (окулірування, копулювання)».*

Доповніть свої знання щодо кожного способу, використавши інтернет-джерела.

Визначте способи штучного вегетативного розмноження (а–в), які зображено на світлинах.



а



б



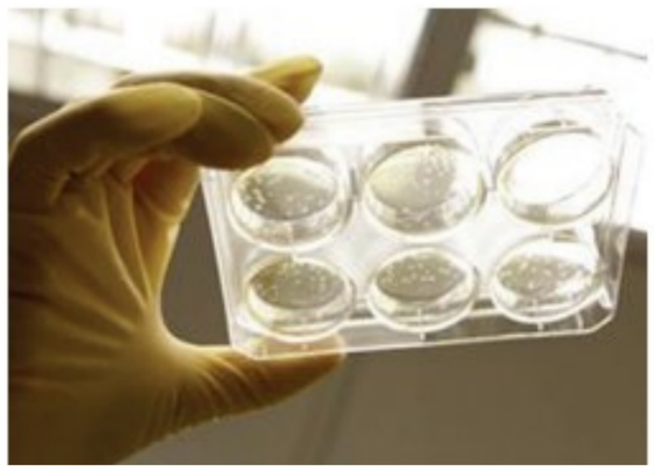
в

Аналізуємо інформацію, робимо висновки

Ознайомтеся з інформацією та виконайте завдання

Перепрограмування стовбурових клітин





Нобелівську премію з фізіології або медицини 2012 року отримали британець Джон Гердон і японець Сін'я Яманака. Почесна нагорода була присуджена дослідникам за відкриття в перепрограмуванні стовбурових клітин. У 1962 р. Джон Гердон замінив ядро яйцеклітини жаби ядром із диференційованої клітини кишківника. Модифікована яйцеклітина, яка має потенціал до поділу, розвинулася в нормального пуголовка. Тривалий час наука не мала відповіді на запитання: чи можна повернути диференційовану клітину в плюрипотентний стан, за якого клітини здатні перетворюватись на будь-який тип клітин організму? На це запитання зміг відповісти Сін'я Яманака. Він провів дослідження на культурі in vitro стовбурових клітин мишей, ізольованих Мартіном Евансом (Нобелівська премія 2007 р.) У цих клітинах японський учений визначив гени, які вможливлювали перебування клітини в плюрипотентному стані. Відтак він спробував використовувати їх для повернення зрілої клітини в плюрипотентний стан. Для цього різні комбінації цих генів уводили у фібробласти (зрілі диференційовані клітини) сполучної тканини. У результаті була знайдена комбінація чотирьох генів, здатних перетворювати фібробласти на стовбурові клітини. Це відкриття вможливило появу методу створення індукованих стовбурових клітин (iPS клітин), який розширює можливості дослідження хвороб і розроблення нових способів їх діагностики та лікування.

Завдання 1. Який метод досліджень застосовували обидва вчені?

А порівняльно-описовий
Б експериментальний
В моделювання
Г моніторингу

Завдання 2. Яке з наведених тверджень можна сформулювати на основі аналізування інформації з тексту?

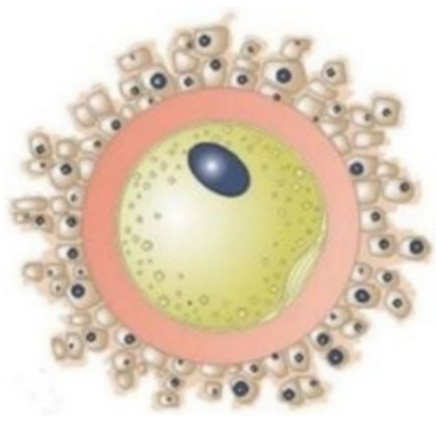
А Британський учений Джон Гердон використовував методи генетичної інженерії.
Б Диференційовану клітину не можна повернути в плюрипотентний стан.
В Геном диференційованої клітини містить спадкову інформацію для розвитку цілого організму.
Г Сін'я Яманака проводив дослідження на живих мишах.

Завдання 3. Поміркуйте, як відкриття Джона Гердона й Сін'я Яманаки можуть обійти етичні проблеми в клітинній інженерії.

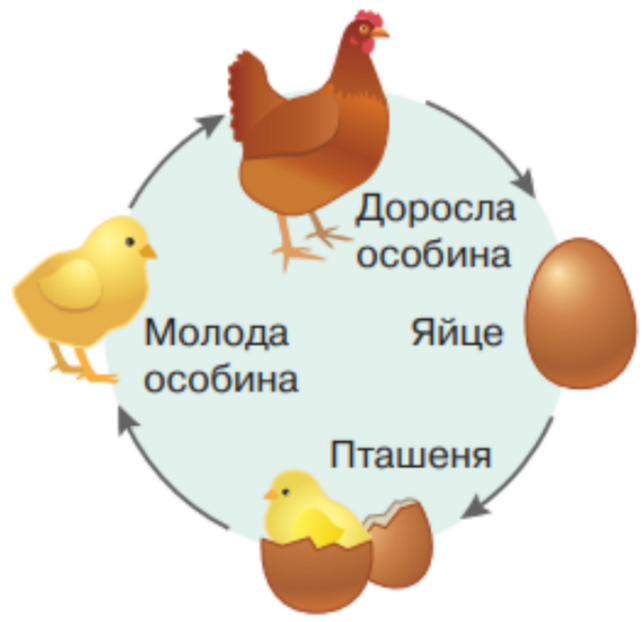
Самоконтроль рівня навчальних досягнень

Тестові завдання з однією відповіддю (0,5 бала)

1. Процес індивідуального розвитку організму називають
   А еволюцією
   Б онтогенезом
   В трансгенезом
   Г ембріогенезом
2. Ембріогенез — це процес, який починається заплідненням і закінчується
   А утворенням зиготи
   Б смертю організма
   В статевим дозріванням
   Г виходом організму із зародкових оболонок або народженням
3. Позначте організм, який розмножується спорами.
   А груша дика
   Б ялина зелена
   В горох посівний
   Г щитник чоловічий
4. На ілюстрації зображено



   А нейрон
   Б остеоцит
   В яйцеклітину
   Г сперматозоїд
5. Ця стадія розвитку зародку утворена одним шаром клітин, усередині якого є порожнина. Виберіть її назву.
   А зигота
   Б нейрула
   В бластула
   Г гаструла
6. На ілюстрації відображена схема



   А прямого типу розвитку
   Б непрямого типу розвитку
   В розвитку з перетворенням
   Г складного життєвого циклу

Тестові завдання з однією відповіддю (1 бал)

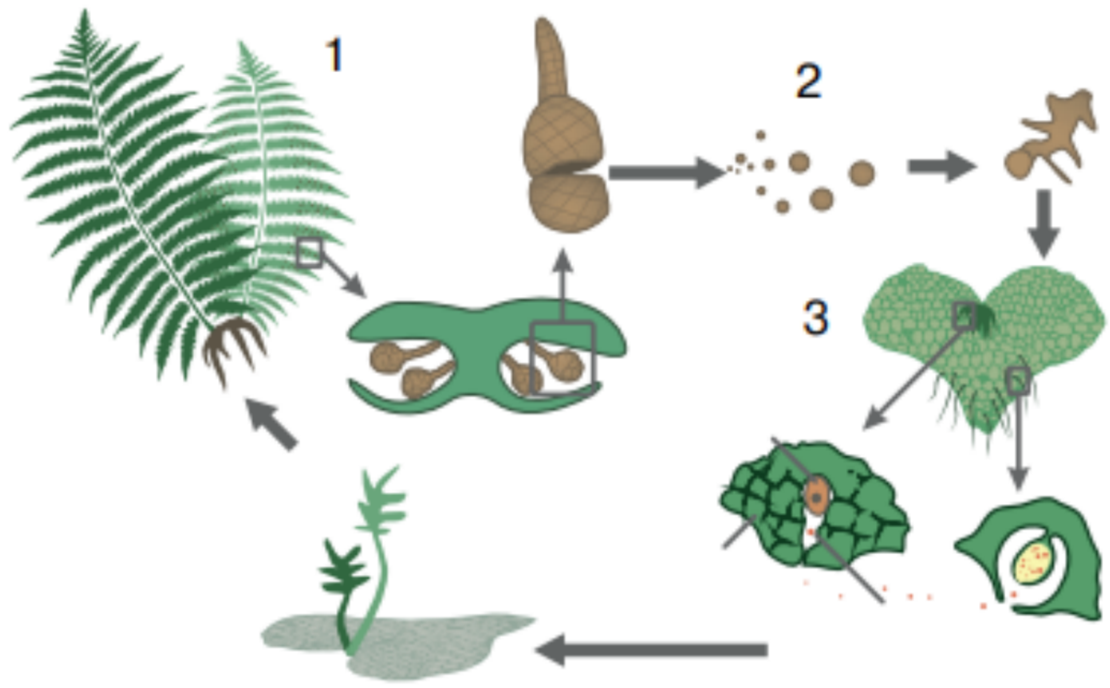
7. Виберіть рівень організації живого, на якому відтворення забезпечує реплікація.
   А молекулярний
   Б клітинний
   В організмовий
   Г екосистемний

8. До вегетативної форми належить розмноження
   А яблуні дикої насінням
   Б зозулиного льону спорами
   В гідри звичайної
   Г ящірки прудкої шляхом відкладання яєць
9. Ознайомтеся зі схемою життєвого циклу метелика. Правильне твердження щодо нього наведено в рядку
   А личинка метелика розвивається зі спори
   Б метелик розмножується нестатевим способом
   В для метелика характерним є непрямий тип розвитку
   Г личинка й доросла особина мають однакові органи руху



Тестові завдання з однією відповіддю (1,5 бала)

10. Проаналізуйте твердження щодо зображеної схеми життєвого циклу папоротей.
    I. Цифрою 1 позначено гаметофіт, а цифрою 2 — статеві клітини.
    II. Цифрою 3 позначено спорофіт.
    Чи є поміж них правильні?
    А правильне лише I
    Б правильне лише II
    В обидва правильні
    Г немає правильних



11. Учень й учениця обговорювали вплив різних чинників на ріст і розвиток організму людини. Учень зауважив, що поміж ознак організму людини є ті, що успадковуються і не змінюються в онтогенезі, зокрема група крові. Учениця зазначила, що до деяких захворювань людина може мати схильність, але під впливом умов середовища вони не розвиваються.
    Чи має хтось із них рацію?
    А лише учень
    Б лише учениця
    В обоє мають рацію
    Г обоє помиляються

Тестове завдання з однією відповіддю в кожному стовпчику (3 бали)

12. Укажіть органи або системи органів хордових тварин, які розвиваються з певного зародкового листка під час ембріогенезу.

Ектодерма	*Ентодерма*	*Мезодерма*
1 нервова система	1 шкіра	1 скелет
2 кровоносні судини	2 легені	2 нервова система
3 легені	3 м'язи	3 кишківник

ТЕМА 5

БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА СЕЛЕКЦІЇ, БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ

З історії відкриттів

Наукові основи селекції заклав Чарльз Дарвін у XIX столітті, пояснивши механізм штучного добору. Проте справжньою революцією в селекції стало перевідкриття на початку XX століття законів спадковості, встановлених чеським дослідником Грегором Менделем. Саме генетика перетворила селекцію з мистецтва на точну науку.

Вагомий внесок у розвиток селекції зробили й українські вчені. Праці Василя Ремесла, творця всесвітньо відомих сортів озимої пшениці (зокрема, «Миронівська-808»), та Федора Кириченка, який першим у світі вивів озимі сорти твердої пшениці.

Наукову основу для традиційних біотехнологій (виноробство, хлібопечення тощо) заклав французький мікробіолог Луї Пастер, який дослідив роль мікроорганізмів у процесах бродіння. Справжнім проривом стала «ера антибіотиків», що розпочалася в 40-х роках XX століття з промислового виробництва пеніциліну.

У 1972 році група Пола Берга створила першу гібридну (рекомбінантну) молекулу ДНК, що вважається датою народження генетичної інженерії.

Переворотом у генетичній інженерії став винахід технології редагування генів CRISPR/Cas9, яку часто називають «молекулярними ножицями». За розробку цього методу, що дозволяє з неймовірною точністю вносити зміни в ДНК, французька вчена Еммануель Шарпантьє та американська дослідниця Дженніфер Даудна були удостоєні Нобелівської премії з хімії 2020 року.

Паралельно розвивалася клітинна інженерія. Ще в 1962 році Джон Гердон провів успішні експерименти з клонування тварин, а на початку XXI століття Сін'я Яманака розробив метод отримання змінених стовбурових клітин, які можуть розвиватися в клітини будь-якого типу. За ці досягнення обидва вчені отримали Нобелівську премію 2012 року. Нобелівська премія 2023 року, присуджена угорській хімікині Каталін Каріко та американському імунологу Дрю Вайсману за дослідження, що вможливили розробку мРНК-вакцин, яскраво продемонструвала, як фундаментальні наукові знання дозволили людству швидко та ефективно відповісти на глобальний виклик пандемії нового вірусу.



Луї Пастер (1822–1895)



Каталін Каріко (1955)

§ 42. Селекція



Що таке генотип і фенотип?
Що таке вид і популяція?
Що таке спадкова мінливість і природній добір?

Ви вже ознайомилися із закономірностями успадкування ознак та еволюційних змін, що відбуваються в живій природі. Це стане підґрунтям для опанування знань про селекцію організмів.

Селекція. Англійський учений Чарльз Дарвін у своїй праці «Зміни свійських тварин і культурних рослин під впливом одомашнення» наголошував на тому, що утворення порід та сортів почалося з приручення людиною диких видів тварин і вирощування диких видів рослин.

Селекція — це наука, що вивчає методи створення нових і поліпшення існуючих сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів із цінними для людини ознаками та властивостями.

Сортом і ***породою*** називають стійку популяцію організмів одного виду, що штучно створені та мають подібні морфологічні, фізіологічні, біохімічні та господарські ознаки. ***Штам*** — це чиста культура мікроорганізмів, тобто потомки однієї клітини.

Основними методами селекції є штучний добір і гібридизація. Людина, розвиваючи в різних напрямах ознаки диких предків, створила багато порід і сортів. Наприклад, нині у світі відомо понад 400 порід собак, що походять, імовірно, від одного дикого виду — Вовк звичайний (Пес дикий) (іл. 172).

Іл. 172. Предкова форма та різноманітність порід підвиду Пес свійський





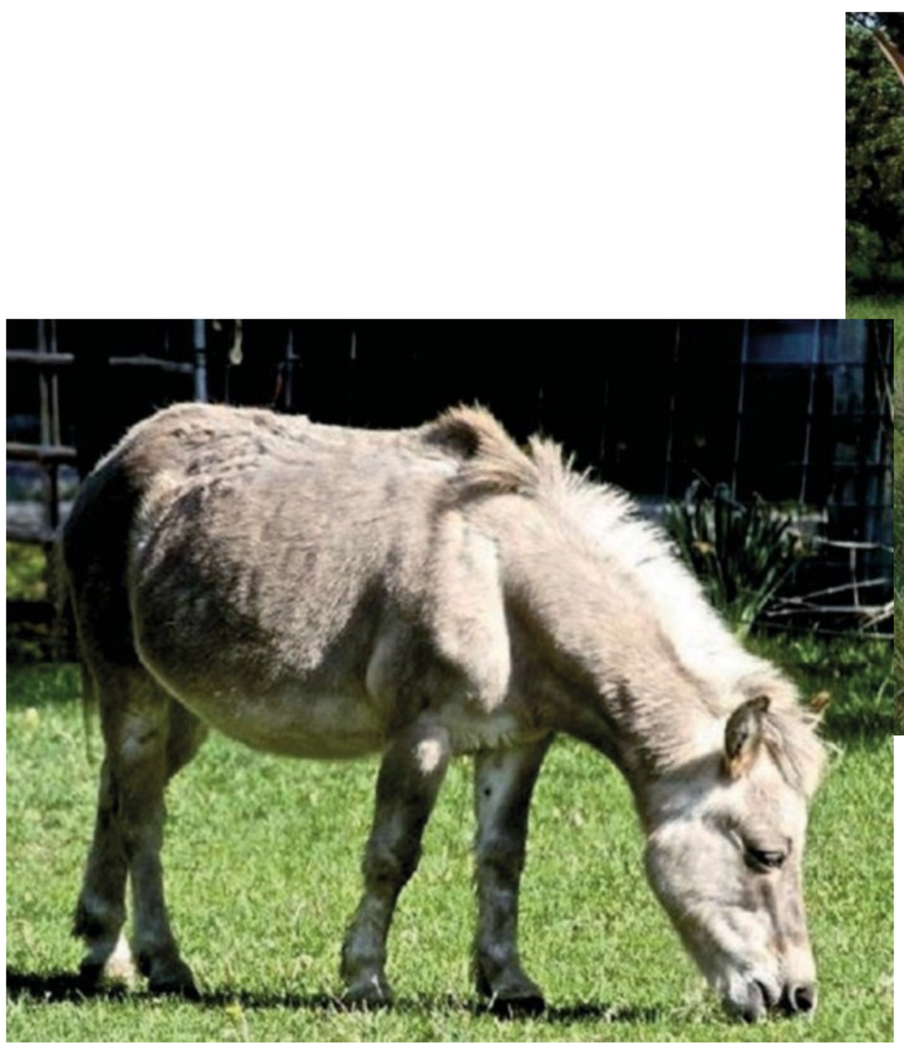
Опишіть породу своїх домашніх улюбленців (риб, амфібій, птахів, котів, собак тощо) або сортів рослин, які ви вирощуєте на присадибних ділянках.

Поміж багатьох організмів певного виду людина вибирає особини, які вирізняються ознаками, що найбільшою мірою її цікавлять. Після проведення схрещування залишають для розмноження саме ті особини, які успадкували ці ознаки. На початкових етапах розвитку людства діяв несвідомий добір, бо людина не ставила за мету створення нових порід і сортів. Надалі вона почала застосовувати добір цілеспрямовано за певними ознаками.

Штучний добір — це процес створення порід, сортів, штамів шляхом систематичного збереження особин із певними, цінними для людини ознаками, і сприяння їхньому розмноженню. Важливою умовою ефективності штучного добору є різноманіття вихідного матеріалу. Для цього використовують плідників із різних географічних областей. Існує масова та індивідуальна форми штучного добору. Масовий добір, за якого вибирають особин із особливостями фенотипу, простий у застосуванні. Але особини, подібні за фенотипом, можуть виявитися різнорідними за генотипом, й ефективність добору буде незначною. За індивідуального добору плідників вибирають за результатами вивчення як фенотипу,так і генотипу.

Гібридизація — процес отримання гібридів, в основі якого лежить об'єднання в одній клітині генетичного матеріалу різних клітин. Інколи застосовують міжвидову, або віддалену, гібридизацію, коли плідники належать до різних видів і родів, із метою поєднання в гібридів цінних спадкових ознак (іл.173). Цей тип гібридизації широко застосовують у плодівництві. У такий спосіб отримано гібриди ожини й малини, сливи й терну, пшениці та жита тощо. Частіше застосовують внутрішньовидову гібридизацію, що її проводять між організмами одного виду. Особини, які беруть участь у схрещуванні, можуть мати різний ступінь спорідненості. Розрізняють споріднене й неспоріднене внутрішньовидові схрещування.

Іл. 173. Міжвидові гібриди



Лошак — гібрид коня й ослиці



Мул — гібрид кобили й віслюка

Споріднене схрещування (інбридинг) — це гібридизація організмів, що мають спільних предків. Такий вид схрещування використовують для отримання чистих ліній організмів. Це призводить до гомозиготності, і в результаті проявляються рецесивні ознаки. Прикладом можуть слугувати самозапильні рослини та гермафродитні тварини, які здатні до самозапліднення.

Неспоріднене схрещування (аутбридинг) — це гібридизація між організмами різних ліній. У гібридів шкідливі алелі переходять у гетерозиготний стан — спостерігається явище гетерозису. Гетерозис (гібридна сила) — явище, за якого перше покоління гібридів, одержаних у результаті неспорідненого схрещування, має підвищені життєздатність, продуктивність, ріст та стійкість проти хвороб тощо (іл. 174). Гетерозис у природі властивий усім групам організмів. Він виник водночас зі статевим розмноженням.

Селекція рослин. У рослин як об'єктів селекції є ряд особливостей. Вони вирізняються високою плідністю, тому селекціонери часто застосовують масовий добір. Для них крім статевого характерне й вегетативне розмноження. В Україні на Миронівській селекційній станції було створено багато сортів рослин, зокрема високоврожайні сорти озимої пшениці з підвищеною стійкістю в екстремальних умовах (іл. 175). Отже, висока родючість, чисельність потомства дають змогу використовувати метод масового добору. Наявність видів, що самозапилюються, уможливлює виведення чистої лінії шляхом індивідуального добору. Завдяки вегетативному розмноженню можна тривалий час зберігати гетерозиготність генотипу. Застосовуючи хімічні сполуки, певні види випромінювання під час проростання насіння, одержують матеріал для добору. Рослинам властиве явище поліплоїдії — кратне збільшення числа хромосом у клітинах. Це один зі шляхів поліпшення сортів культурних рослин. Для селекції рослин застосовують особливий спосіб штучного об'єднання частин різних особин — щеплення.

Іл. 174. Гетерозис у рослин



Гетерозис у томатів
(ліворуч і праворуч — батьківські форми,
у центрі — гібрид)

Іл. 175. Видатний український селекціонер пшениці Василь Ремесло (1907–1983)



Підготуйте повідомлення про життєвий шлях і досягнення науковця. Чому його називали «Хлібним батьком»?

Частину рослини, яку прищеплюють, називають прищепою, а рослину, до якої прищеплюють, — підщепою.

Селекція тварин. Для багатьох тварин характерні невелика кількість потомства й значна тривалість життя. Тому в тваринництві, як правило, застосовують індивідуальний добір. Свійські тварини — роздільностатеві організми, для них характерне лише статеве розмноження. У селекції тварин застосовують споріднене та неспоріднене схрещування, а також віддалену гібридизацію для виведення нових порід. Крім того, користуються методом визначення якостей плідників за показниками потомства.

Селекція мікроорганізмів. Прокаріотів та одноклітинних евкаріотів широко використовують у харчовій, кормовій, виноробній промисловості. Вони до того ж ефективні для біологічної боротьби зі шкідниками. Гібридизація для більшості видів мікроорганізмів неможлива через відсутність статевого процесу.

Центри походження й різноманітності культурних рослин та свійських тварин. Учені давно з'ясували, що і рослини, і тварини походять з різних регіонів планети. У результаті досліджень Микола Вавилов визначив сім основних центрів походження й різноманітності культурних рослин (іл. 176). У Південноазійському тропічному центрі виникло близько 33% культурних рослин, наприклад лимон, огірок, манго. На Східноазійський центр припадає 20% культурних рослин. Це просо, соя, редька, яблуня, груша тощо. З Південно-західноазійського центру походять морква, абрикос, бавовник, виноград тощо. Цукровий буряк, капуста та олива виникли в Середземноморському центрі. В Абіссінському центрі виникли тверда пшениця та зернове сорго. З Центральноамериканського центру походять гарбуз, какао, соняшник, квасоля та кукурудза. Картопля, томати, ананас та арахіс походять з Південноамериканського центру.

Іл. 176. Центри походження та різноманітності культурних рослин за М. Вавиловим



Виконайте інтерактивне завдання

1. Дайте означення понять *селекція*, *сорт*, *порода*, *штам*. **2.** Порівняйте особливості застосування методів селекції для рослинних і тваринних організмів. **3.** Наведіть приклади досягнень у галузі селекції.

§ 43. Біотехнологія, її завдання та методи



Що таке ферменти, вітаміни, інтерферони та гормони?

Нинішнє століття називають «золотим віком біології». Це стосується й одного з її напрямів, що розвивається високими темпами, — біотехнології.

Поняття біотехнології. Як уже було відзначено, людина здавна навчилася використовувати хімічні перетворення, що відбуваються в організмах, для своїх потреб — хлібопечення, сироваріння, пивоваріння, виноробство. Тому можна стверджувати, що біотехнології виникли й застосовувалися досить давно.

Біотехнологія — (від грец. bios — життя, techne — мистецтво, logos — вчення) — наука про використання біологічних об'єктів і хіміко-біологічних процесів у промисловому виробництві, сільському господарстві, енергетиці й медицині.

Науковий термін «біотехнологія» був уперше запропонований угорським агроекономістом Карлом Ерекі 1919 року для позначення процесів, у яких продукцію отримують за допомогою організмів.

Об'єкти біотехнології. Біотехнологія ґрунтується на відкриттях у біохімії, мікробіології, молекулярній біології й генетиці, що вможливлюють використання властивостей біооб'єктів із визначеною метою. Об'єктами можуть бути молекули (ферменти, вітаміни, амінокислоти, білки), неклітинні форми життя (віруси), одноклітинні організми (бактерії, дріжджі) та багатоклітинні організми (іл. 177).

Іл. 177. Об'єкт (а) і продукт (б) біотехнології

а



Дріжджі

б



Дріжджовий хліб



Підготуйте повідомлення про харчові продукти, що їх людина отримує унаслідок використання біотехнології.

Досягнення традиційної біотехнології. Людство досягло значних успіхів у створенні біологічно активних речовин і лікарських препаратів (інтерферонів, інсуліну, гормонів росту, антитіл, вакцин тощо); розробленні засобів захисту рослин від хвороб і шкідників; створенні бактеріальних добрив і регуляторів росту рослин, а також нових сортів і гібридів рослин, одержаних методами генетичної та клітинної інженерії; синтезі цінних кормових добавок і біологічно активних речовин (кормового білка, ферментів, вітамінів тощо); розробленні екологічно безпечних технологій утилізації відходів для отримання енергоносіїв, добрив і кормових добавок; розробленні нових технологій добування цінних продуктів із метою використання в харчовій і хімічній промисловостях (іл. 178).

Напрями сучасної біотехнології. Біотехнологія невпинно розвивається, особливо її нові напрями: генетична інженерія, клітинна (тканинна) інженерія, інженерна ензимологія та імунологічна біотехнологія. Науковим відкриттям, що вможливило розвиток цих напрямів, стало розкриття таємниці будови молекули ДНК. **Генетична інженерія** — галузь біотехнології, завданням якої є конструювання генетичних структур із метою створення організмів із новою генетичною програмою. На початковому етапі науковці й науковиці отримують генетичний матеріал шляхом штучного синтезу або виділення природних генів. Надалі, використовуючи ці гени, створюють рекомбінантну молекулу на ДНК, яку вводять у клітину-реципієнта. **Клітинна (тканинна) інженерія** — галузь біотехнології, завданням якої є конструювання клітин нового типу на основі їх культивування, гібридизації та реконструкції. **Інженерна ензимологія** — це галузь біотехнології, що базується на використанні ферментів в ізольованому стані або в складі клітин для отримання продуктів реакцій.

Іл. 178. Підприємство з виробництва біогазу



Підготуйте повідомлення про досягнення сучасної традиційної біотехнології, використавши інтернет-джерела.

1. Дайте означення поняття *біотехнологія.* **2.** Назвіть об’єкти біотехнології. **3.** Схарактеризуйте завдання сучасної біотехнології. **4.** Які досягнення сучасної біотехнології вам відомі? **5.** Які досягнення біотехнології використовуєте ви?

§ 44. Генетична інженерія в сучасній селекції



Що таке ДНК, РНК, гормони?
Як побудована бактеріальна клітина?
Що таке вірус?

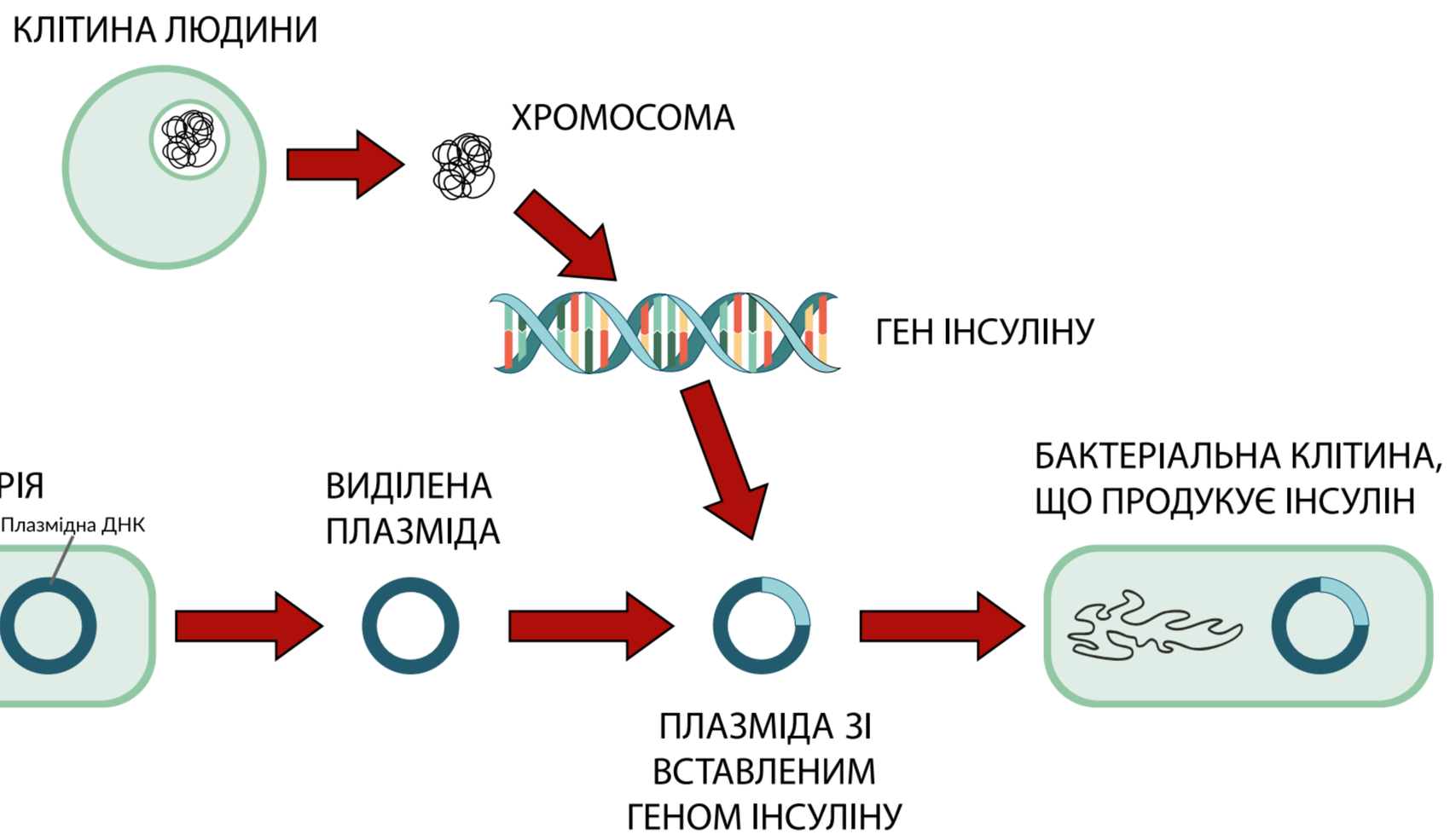
Розвиток біології дав людству більш потужні інструменти для отримання нових форм, ніж традиційна селекція.

Поняття генетично модифікованих організмів. Методи генетичної інженерії вможливили створення генетично модифікованих організмів.

Генетично модифіковані організми (ГМО) — це організми, генотип яких було змінено за допомогою методів генетичної інженерії, тобто внесення скерованих змін у структуру ДНК.

Така зміна може полягати в інактивації певних генів, уключенні в геном генів інших видів тощо. В останньому випадку отримані організми називають трансгенними. Скерованість унесених змін є ключовою відмінністю генетичної інженерії від традиційної селекції або штучного мутагенезу. Найпоширенішим методом генетичної інженерії є перенесення спадкової інформації за допомогою векторів, тобто агентів, які можуть проникати в клітину. Векторами найчастіше слугують віруси та плазміди (іл. 179). Також існує метод перебудови геномів організмів, що передбачає побудову штучних хромосом. На відміну від плазмід та вірусів, такі вектори можуть містити набагато більше генів. Конструювання генетичних векторів з необхідними нуклеотидними послідовностями ще недавно здавалося фантастикою або дуже віддаленою перспективою, а нині це рутинна процедура.

Іл. 179. Етапи створення генетично модифікованої бактерії



Проаналізуйте наведену схему. Опишіть процес конструювання бактерії, яка здатна синтезувати людський інсулін.

Людина використовує ГМО різних груп. Генетично змінені бактерії використовують у біотехнологічних процесах. Наприклад, мікробіологічний синтез забезпечує більшу частину медичних потреб людства в інсуліні: його переважно синтезують за допомогою кишкової палички або дріжджів. Такий спосіб дешевший, простіший і гуманніший, аніж виділення інсуліну з підшлункових залоз тварин. Генетично модифіковані мікроорганізми слугують для отримання антитіл, гормонів, антибіотиків, вітамінів тощо.

ГМО та селекція. Першими генетично модифікованими рослинами, дозволеними для вживання в їжу, були FlavrSavr (Flavour Saver) томати. Нині трансгенні рослини вирощують у 25 країнах, де проживає 3,6 млрд, або 54 % світового населення. Найбільше вирощують генетично модифіковану сою, кукурудзу та бавовну. Основними напрямами генетичної модифікації культурних рослин є вироблення стійкості до гербіцидів і паразитів, збільшення врожайності, підвищення вмісту корисних сполук (іл. 180). Одним із поширених варіантів генетичної модифікації рослин є введення в їхній генотип гену стійкості до гербіциду гліфосату. На оброблених ним полях залишаються лише стійкі культурні генетично модифіковані рослини. Генетично модифікованих тварин також уживають у їжу. Першою схваленою ГМО розробкою був лосось AquAdvantage. Основою його був атлантичний лосось, якому замінили ген-регулятор гормону росту, що уможливило ріст риби протягом усього року, а не лише навесні та влітку, як це відбувається в природі. Унаслідок цього лосось виростає за 16–18 місяців, а не за три роки.

Розробники ГМО дотримуються жорстких правил контролю, що запобігають потраплянню таких організмів у природу, а також тестують виготовлені продукти на безпечність. Наразі не існує жодних науково обґрунтованих фактів стосовно небезпеки ГМО або виготовлених із них продуктів.

Іл. 180. «Золотий рис» — приклад генетично модифікованої рослини



Рис посівний

Трансгенний сорт із помірним умістом бета-каротину

Трансгенний сорт з високим умістом бета-каротину

Підготуйте повідомлення про ГМО, що їх використовує людина.

1. Дайте означення поняття *генетична інженерія*. **2.** Які методи застосовуються в генетичній інженерії? **3.** Поясніть значення генетичної інженерії.

§ 45. Генетична інженерія людини



Що таке трансплантація органів?
Які різновиди трансплантації ви знаєте?

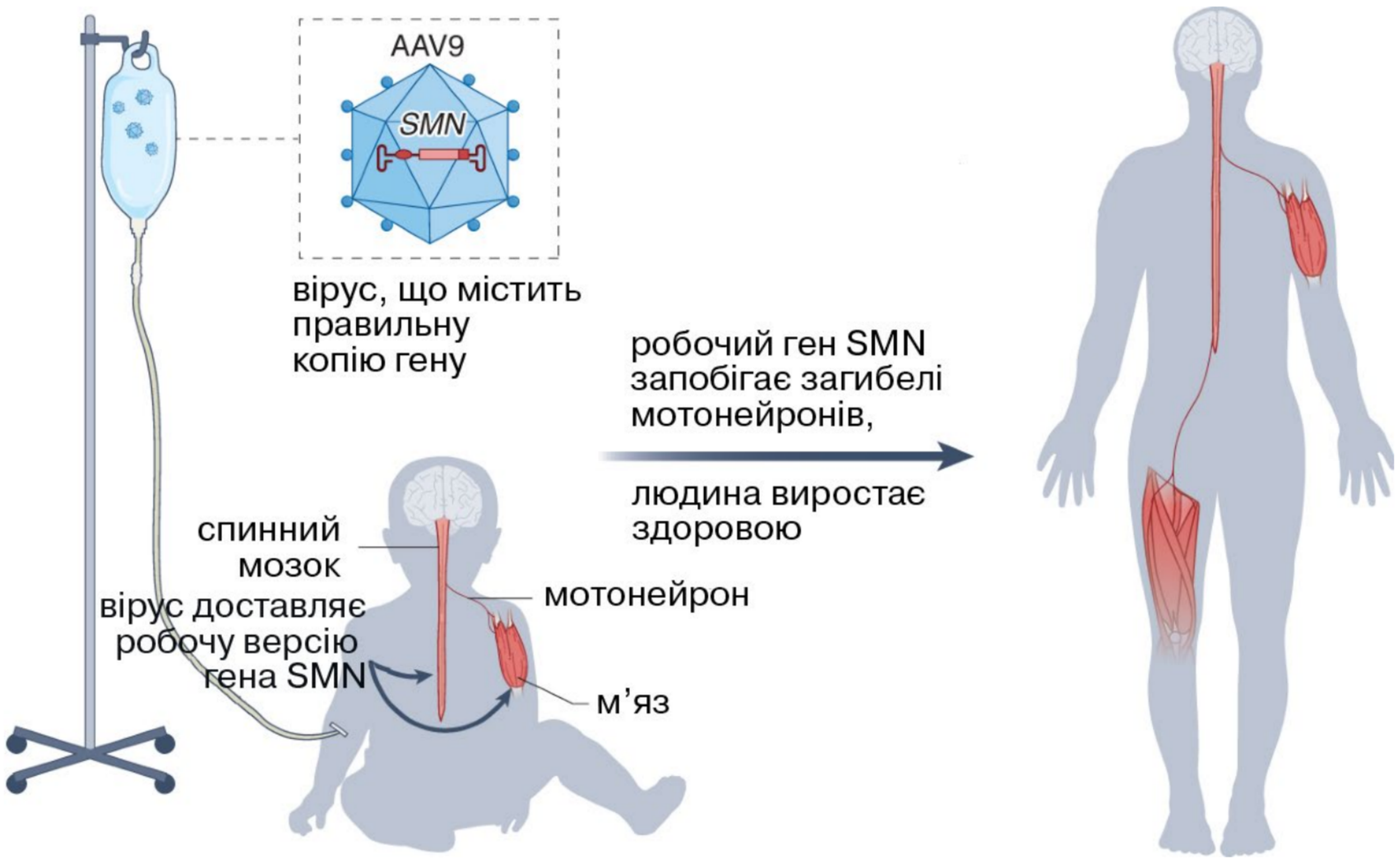
Попри істотні успіхи в біомедицині, ми досі не знаємо детальних механізмів розвитку багатьох хвороб і не маємо шляхів ефективного й повного їх лікування. Одним із сучасних напрямів розвитку є створення персоналізованої медицини, яка добирає схему лікування з урахуванням індивідуальних генетичних та інших особливостей конкретного пацієнта.

Генна терапія — медицина майбутнього. Одним із найперспективніших напрямів є генна терапія — виправлення дефектних генів безпосередньо в клітинах пацієнта для лікування спадкових хвороб.

Історично першим успішним прикладом стала терапія важкого комбінованого імунодефіциту на початку 1990-х років. Діти, народжені з цим захворюванням, не мають функціональної імунної системи через дефект у певному гені. Науковці й науковиці вилучали стовбурові клітини крові пацієнтів, за допомогою вірусного вектора вбудовували в них здорову копію цього гена, а потім повертали модифіковані клітини в організм. Це дозволило відновити імунну систему й врятувати життя пацієнтів.

Сьогодні технології стали значно досконалішими. Проривом у лікуванні рідкісних хвороб стала терапія спінальної м'язової атрофії — важкого генетичного захворювання, що призводить до відмирання рухових нейронів та прогресуючої м'язової слабкості. За допомогою препарату, що вводиться одноразово, в організм доставляють функціональну копію гена SMN1 (іл. 181).

Іл. 181. Лікування спінальної м'язової атрофії за допомогою генетичної модифікації



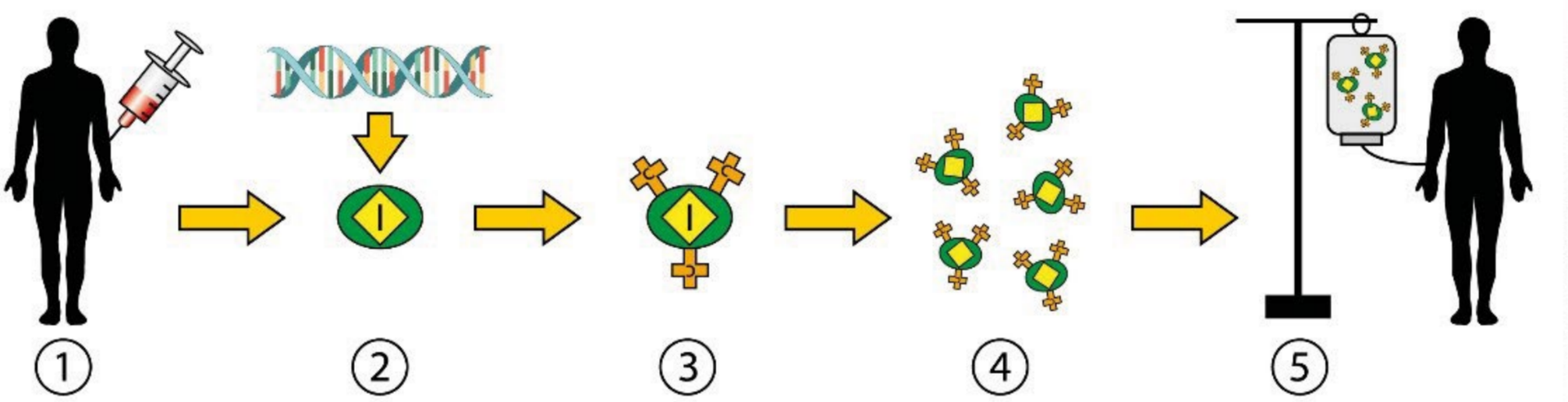
Складіть за ілюстрацією оповідання про лікування спінальної м'язової атрофії.

Цей ген починає працювати в нейронах, виробляючи необхідний білок, що зупиняє розвиток хвороби й дозволяє дітям розвиватися.

Імунотерапія раку: програмування власних клітин. Іншим перспективним методом, пов'язаним із генною модифікацією клітин людини, є імунотерапія раку (іл. 182). Суть методу полягає в тому, щоб «навчити» власні імунні клітини пацієнта розпізнавати та знищувати ракові пухлини. Процес відбувається в кілька етапів: 1) забір клітин — з організму хворої людини беруть зразок крові, з якого виділяють імунні клітини — Т-лімфоцити; 2) генетична модифікація — за допомогою безпечного вірусного вектора Т-лімфоцити генетично модифікують. У їхній геном вбудовують ген, завдяки якому вони починають виробляти на своїй поверхні спеціальні рецептори (CAR-рецептори); 3) розпізнавання цілі — ці нові рецептори здатні точно розпізнавати унікальні білки на поверхні ракових клітин саме цієї людини; 4) розмноження — модифіковані лімфоцити розмножують у лабораторних умовах протягом 2–8 тижнів, щоб отримати мільярди таких «клітин-мисливців»; 5) повернення в організм — модифіковані клітини вводять до організму пацієнта, де вони починають шукати й знищувати ракові клітини.

Біоетичні межі: між користю та ризиком. Сучасні технології дозволяють проводити практично будь-яку генетичну модифікацію будь-яких клітин. Ми навели кілька прикладів успішного використання таких технологій у медицині. Наступним кроком може стати генетична модифікація людини для покращення вроджених характеристик. У технічному сенсі біологія готова до тестування таких методик, але втручання в геном може мати непередбачувані наслідки. Тому такі дослідження дуже обмежені. Визначити межу між потенційними користю і небезпекою наукового пошуку, зокрема в галузі генетичної інженерії людини, покликана біоетика.

Іл. 182. Технологія терапії раку за допомогою химерних антигенних рецепторів





Ознайомтеся з експериментальним дослідженням можливостей генної модифікації людини, використавши інтернет-джерела. Які дослідження вже проведено? Які заплановано? Які існують біоетичні обмеження? Організуйте дискусію, обговоривши аргументи «за» і «проти».





1. Окресліть напрями застосування щодо людини методів генетичної інженерії. **2.** Схарактеризуйте можливості лікування хвороб, що їх надає генетична модифікація клітин людини. **3.** Поміркуйте, чи можна за допомогою генетичної модифікації сформувати «суперлюдину». Які етичні проблеми пов'язані з цим?

§ 46. Клітинна інженерія



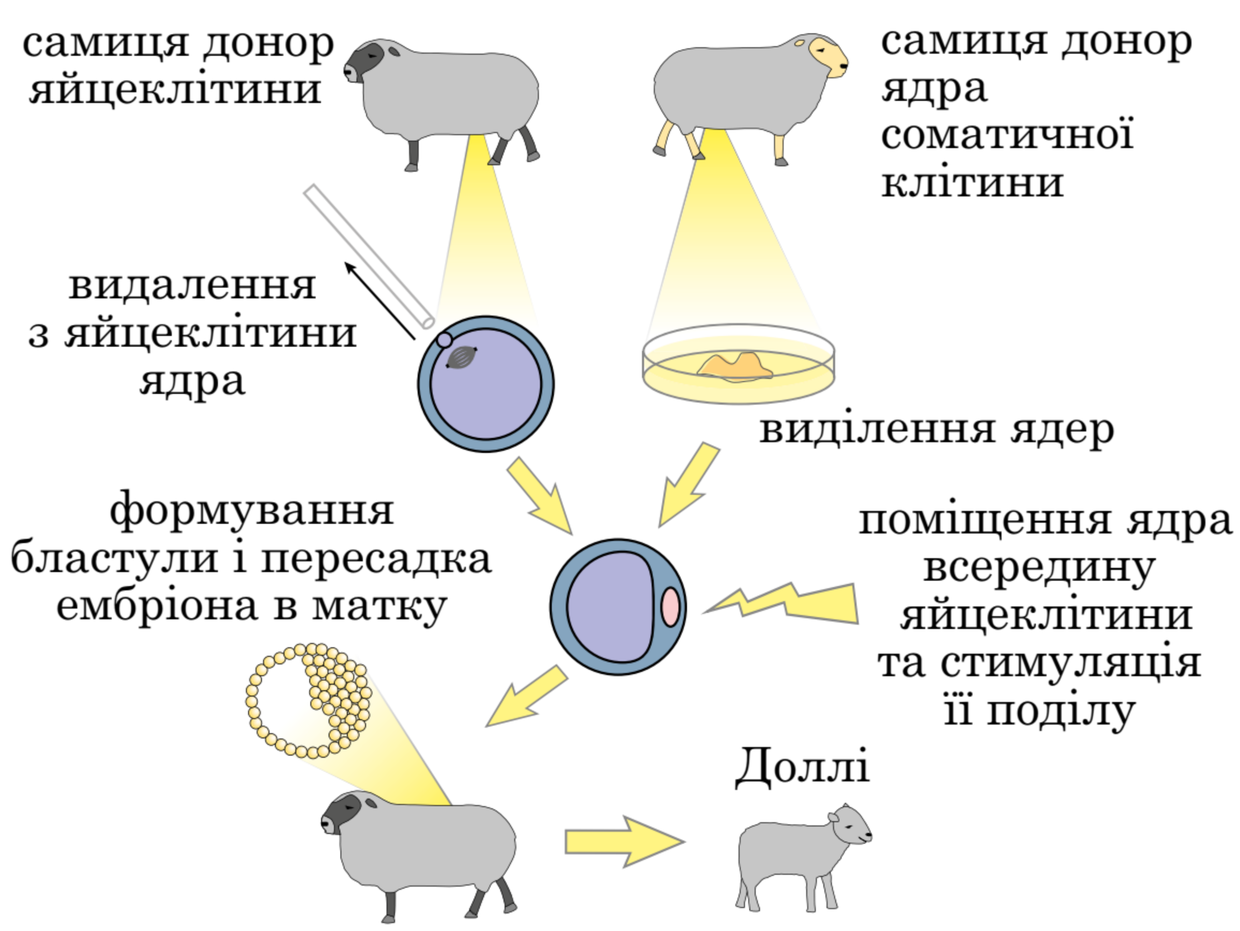
Що таке соматична клітина, яйцеклітина, сперматозоїд?

Клітинна (тканинна) інженерія. Одним із перспективних напрямів сучасної біотехнології є клітинна (тканинна) інженерія. Певно, найбільш відомим застосуванням цієї технології є успішне клонування тварин, уперше здійснене в 1996 році. Учені пересадили ядро соматичної клітини в яйцеклітину, яка успішно розвинулася в новий організм (іл. 183).

Клітинні культури. Виділення клітин із метою культивування в штучному середовищі було вперше здійснено понад 100 років тому, але поширеним цей лабораторний метод став у другій половині XX ст. Клітинні культури дають змогу проводити наукові дослідження молекулярно-біологічних процесів функціонування клітин, тестувати хімічні сполуки, які можуть бути потенційними ліками. Направлена генетична модифікація клітин дає змогу вивчати роль певних генів та їх регуляцію у функціонуванні клітини. Культивування ліній клітин, отриманих з ракових пухлин, дає вченим інструмент для пошуку шляхів боротьби із захворюванням.Також клітинні культури є важливими під час лабораторного культивування вірусів: це дозволяє досліджувати такі об'єкти без необхідності інфікування тварин або рослин, що є більш гуманним та безпечним.

Наразі в лабораторіях використовуються десятки різноманітних клітинних культур, що походять як від здорових, так і від пухлинних тканин людини, мишей, щурів та деяких інших тварин. Культивуються також

Іл. 183. Схема клонування за допомогою пересадки ядра клітини



Ключові етапи клонування Доллі



Вівця Доллі — експонат в Единбурзькому музеї.



Підготуйте повідомлення про життя Доллі та практичне значення застосованої методики клонування.

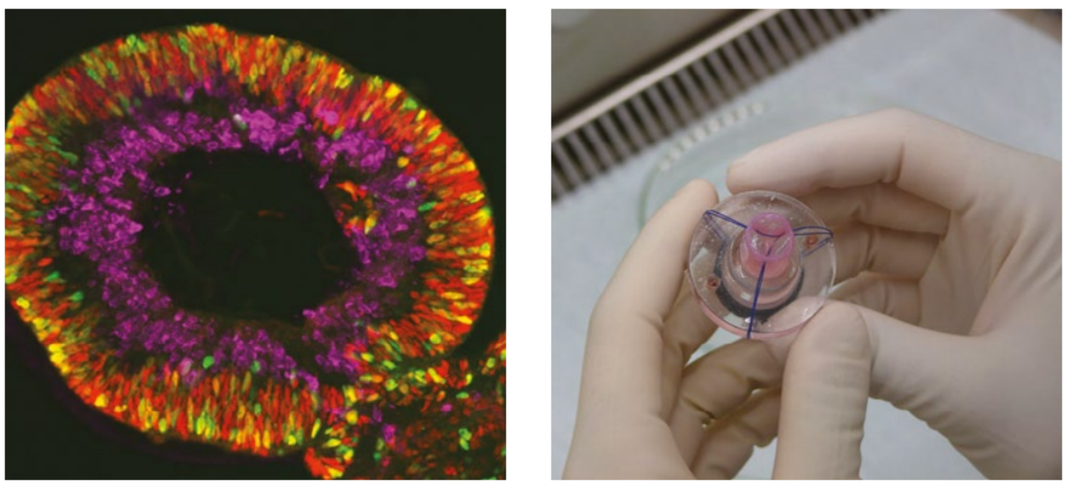


Поміркуйте над запитанням: *«Чи є клонований організм точною генетичною копією материнського?»*

клітини й тканини рослин, а також прокаріотичні клітини. Клітинні культури є не лише об'єктом наукових досліджень, а й інструментом для біотехнологічного отримання цінних біологічно активних речовин — наприклад деяких гормонів, інтерферонів, тощо.

Цікавим напрямом клітинних культур є вирощування органоїдів — штучних структур, що містять головні типи клітин, притаманних певному органу, просторова організація яких повторює розміщення клітин усередині організму. Такі структури є більш складними за традиційні клітинні культури, проте є кращими моделями складників організму. Наразі існують органоїди сітківки ока, нирок, кишечника, головного мозку, печінки, легень тощо (іл. 184). Важливим напрямком практичного застосування тканинної інженерії є виготовлення складників організму для заміни ушкоджених (зокрема трансплантації органів). Ви пам'ятаєте, що процес розвитку організму та його частин пов'язаний із функціональною спеціалізацією клітин — диференціацією. У багатьох випадках зрілі клітини втрачають здатність до поділу, що робить неможливим їхнє культивування в штучному середовищі. Вирішенню цієї проблеми сприяло відкриття механізму перепрограмування дорослих клітин. За допомогою спеціалізованих регуляторних сполук (факторів росту) зріла клітина, наприклад фібробласт сполучної тканини, повертається до менш диференційованого стану — стає стовбуровою клітиною (іл. 185). Надалі за допомогою інших регуляторних сполук можна запустити її розвиток у бажаному напрямку — вирощувати нервові, епітеліальні або інші клітини. Для створення трансплантів лише самих клітин недостатньо, вони повинні сформувати правильні просторові структури. Основу для них створюють за допомогою сучасних методик 3D-друку.

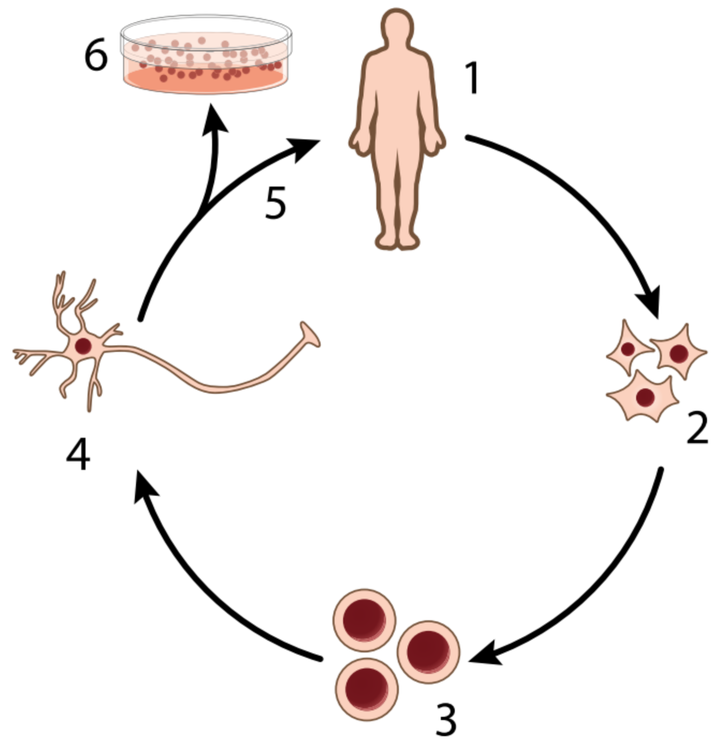
Іл. 184. Напрями застосування клітинної інженерії



Ліворуч органоїд сітківки ока, можна побачити, що клітини різних типів формують впорядковані шари; праворуч штучно вирощений серцевий клапан.

1. Дайте означення поняття *клітинна інженерія*. **2.** Назвіть напрями застосування клітинної інженерії. **3.** Які завдання може вирішити клонування в сільському господарстві та медицині?

Іл. 185. Принцип перепрограмування клітин



Виділення клітин шкіри (1) та культивування фібробластів (2), перепрограмування клітин у стовбурові (3), індукція розвитку отриманих клітин у бажаному напрямку (4), клітинна терапія (5) або дослідження отриманих клітин (6)

§ 47. Біологія і медицина



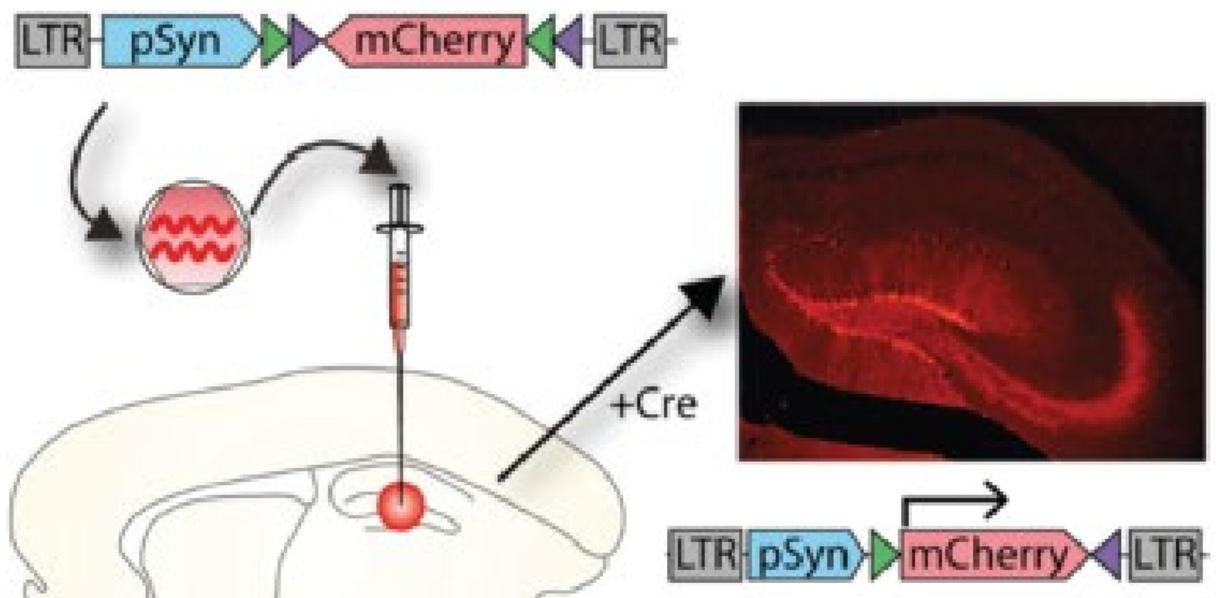
Дайте означення поняття медицина. Що таке методи досліджень? Які ви знаєте методи цитологічних, генетичних досліджень?

Розвиток медицини тісно пов'язаний із досягненнями біологічної науки. Активна взаємодія між біологією та медициною розпочалася наприкінці XIX — на початку XX століття. Сучасна медицина є одним із найважливіших чинників, що забезпечують збільшення тривалості й поліпшення якості життя людини. Якщо у XVIII ст. середня тривалість життя людини становила близько 40 років, то сьогодні в розвинених країнах вона перевищує 80 років.

Досягнення біології як підґрунтя розвитку медицини. Завдяки розвитку мікроскопічної техніки стало можливим дослідження тканинної й клітинної будови організму людини та закономірностей ембріонального розвитку. Відкриття бактерій та вірусів дозволило зрозуміти природу інфекційних захворювань і знайти ефективні методи боротьби з ними. Поява генетики дала змогу вивчити причини спадкових хвороб, а розвиток біохімії пояснив механізми перетворення речовин у клітинах. Важливим досягненням стало відкриття антибіотиків, які суттєво знизили смертність від бактеріальних інфекцій.

Успіхи сучасної молекулярної біології дали можливість зрозуміти зв'язок генів та ознак організмів. Розшифрування геному людини відкрило перспективи вивчення ролі конкретних генів у нормі й патології. Генетично модифіковані лабораторні тварини (іл. 186) дають змогу досліджувати механізми хвороб і випробовувати нові лікарські засоби.

Іл. 186. Використання вірусних векторів у біомедичних дослідженнях



Сконструйований вірус несе ген mCherry — кодований ним білок має здатність до флуоресценції (поглинає світло однієї частоти та випромінює світло іншої частоти). Ін'єкцію вірусу роблять у певні ділянки організму (тут — головний мозок). Унаслідок активації вірусу клітини починають виробляти білок mCherry, кількість якого можна виміряти за інтенсивністю флуоресценції. Особливістю сконструйованого вірусу є те, що він активується лише в нервових клітинах певного типу. Отже, інтенсивність світіння на зображенні показує дослідникам кількість досліджуваних клітин. Ген mCherry був виділений з кишковопорожнинної тварини.

Підготуйте повідомлення про відкриття гену mCherry та зелений флуоресцентний білок (GFP).

Біотехнологічні методи дозволяють синтезувати необхідні медичні речовини: антибіотики, вітаміни, антитіла, а також гормон інсулін, значну частину якого отримують за допомогою генно-інженерних методів із бактерій і дріжджів.

Біологія дала медицині широкий діагностичний арсенал. Біохімічний аналіз крові й інших біологічних рідин допомагає виявляти патології обміну речовин, гістологічний і цитологічний аналізи дають можливість діагностувати онкологічні та спадкові захворювання. Мікробіологічні методи забезпечують ідентифікацію збудників інфекцій. Сучасні молекулярно-біологічні методики, зокрема ПЛР (полімеразна ланцюгова реакція), дозволяють точно визначати наявність вірусів чи бактерій ще до появи симптомів захворювання. Секвенування ДНК (встановлення послідовності нуклеотидів у ланцюгах молекули) дає змогу виявляти генетичні мутації, а імуноферментний аналіз — визначати наявність специфічних білків-збудників.

Цікаво, що деякі відкриття, які стали основою важливих медичних технологій (наприклад, ДНК-полімераза для ПЛР чи система CRISPR-Cas9 для редагування генів), були зроблені під час фундаментальних біологічних досліджень, не пов'язаних безпосередньо з медициною (іл. 187).

Перспективним напрямом розвитку медицини є персоналізована медицина, яка враховує індивідуальні генетичні особливості пацієнтів. Це дасть змогу запобігати хворобам ще до їх прояву. Важливими напрямами є також розробка методів генної терапії, створення органів зі стовбурових клітин та вивчення механізмів неврологічних захворювань. Біомедичні дослідження залишаються одним із ключових напрямів сучасної науки.

Іл. 187. Неочікувані зв'язки в науці



Структура білка Taq-полімерази, що її використовують для ПЛР, та гаряче джерело — місце існування бактерій, з якого її було виділено





Складіть перелік десяти найвизначніших відкриттів у біології, які вплинули на розвиток медицини.

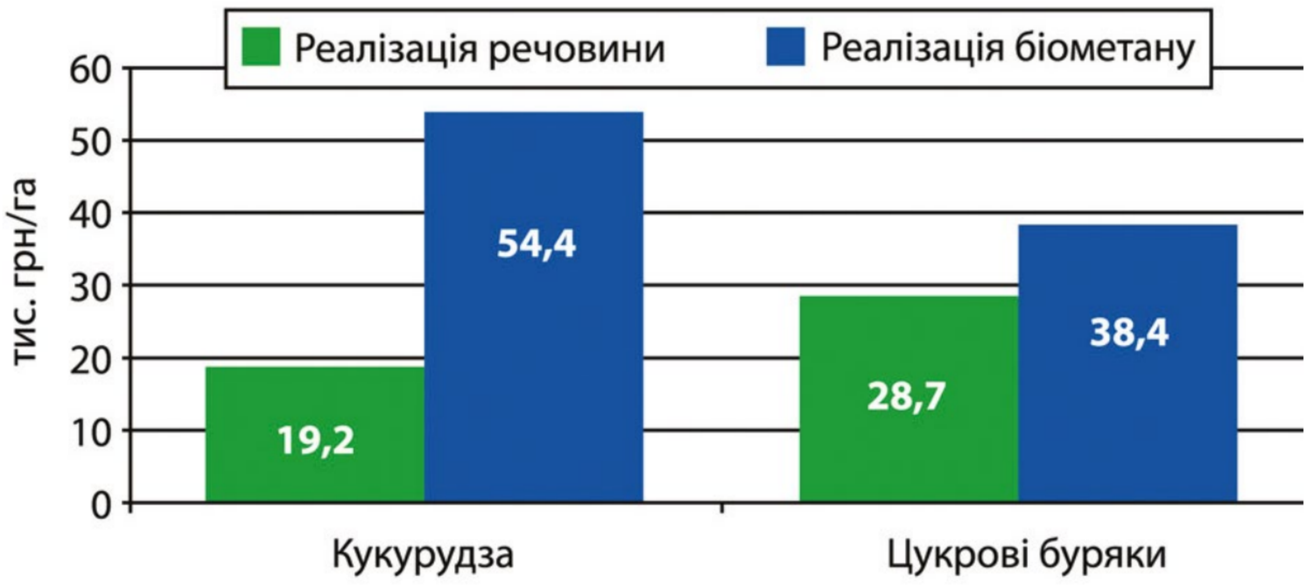


1. Дайте означення поняття *медицина.* **2.** Як дослідження в біологічній науці сприяють розвитку медицини? **3.** Які методи біологічної науки використовують під час діагностики захворювань? Наведіть приклади. **4.** Обґрунтуйте власний погляд щодо перспектив розвитку медицини.

Аналізуємо інформацію, робимо висновки

Ознайомтеся з інформацією та виконайте завдання

Перспективи вироблення біогазу



Найбільш ефективним і універсальним енергоносієм з усіх біологічних видів палива є біогаз, який отримують з відновлюваної сировини й органічних відходів. Біогаз можна застосовувати на місці його виробництва для отримання електроенергії і тепла або після очищення й збагачення подавати в загальну газотранспортну мережу. Основним складником біогазу є горючий газ метан, вміст якого залежить від типу сировини й процесу бродіння. Біогаз утворюється внаслідок природного процесу бактеріального розкладання органічної маси у вологому середовищі в анаеробних умовах. Сировиною для біогазових установок є насамперед сільськогосподарські субстрати, такі як рідкий та стійловий гній або енергетичні культури (цукровий буряк, кукурудза, цукрове сорго тощо).

Найбільш перспективними сільськогосподарськими культурами, сировину яких можна використовувати для отримання біогазу в Україні, є цукрове сорго, кукурудза на силос, цукрові та кормові буряки. Традиційною культурою для виробництва біогазу у світі є кукурудза на силос, потенціал якої в Україні також є значним.

Для вибору сировини визначають економічні переваги (тис. грн/га) виробництва біометану (див. діаграму.)

Завдання 1. Виробництво біогазу є прикладом перспективного напряму розвитку

А біохімії В біотехнології
Б біофізики Г біоінформатики

Завдання 2. Організми, унаслідок життєдіяльності яких утворюється біогаз, в екосистемах належать до

А продуцентів В консументів
Б редуцентів Г детритофагів

Завдання 3. Учень і учениця аналізували діаграму економічних переваг (тис. грн/га) виробництва біометану. Учень зазначив, що вирощування кукурудзи як сировини для виробництва біометану економічно вигідніше за вирощування кукурудзи на зерно. Учениця зауважила, що цукрові буряки вигідніше вирощувати для реалізації сировини.

Чи має хтось із них рацію?

А лише учень В обоє мають рацію
Б лише учениця Г обоє помиляються

Самоконтроль рівня навчальних досягнень

Тестові завдання з однією відповіддю (0,5 бала)

1. Галузь біології, яка забезпечує використання біологічних об'єктів і процесів їхньої життєдіяльності в промисловому виробництві, сільському господарстві, енергетиці та медицині, — це

   А біоніка В біотехнологія
   Б біохімія Г біоінформатика

2. Одним із методів селекції є

   А електронна мікроскопія В природний добір
   Б світлова мікроскопія Г штучний добір

3. Який продукт виробляють, використовуючи молочнокислі бактерії?

А



Б



В



Г



4. Які організми використовують для промислового одержання гормонів, інтерферонів?

   А археї В водорості
   Б бактерії Г шапинкові гриби

5. Відкриття явища фагоцитозу вможливило розуміння

   А функціонування імунітету
   Б значення для організму гормонів
   В походження культурних рослин
   Г процесу синтезу АТФ в мітохондріях

6. Відкриття і застосування яких речовин дало змогу зменшити смертність, спричинену хвороботворними бактеріями?

   А вітамінів В ферментів
   Б гормонів Г антибіотиків

Тестові завдання з однією відповіддю (1 бал)

7. За допомогою якого методу визначають наявність хімічних речовин, що можуть бути індикаторами захворювання?

   А біохімічного
   Б цитологічного
   В гібридологічного
   Г мікробіологічного

8. Виявлення генетичних мутацій стало можливим завдяки

   А секвенуванню молекул ДНК
   Б розвитку світлової мікроскопії
   В відкриттю бактерій та вірусів
   Г використанню штучного добору

9. Позначка «Без ГМО», до якої так звикли споживачі, не є обов'язковим елементом маркування. Її виробник має наносити за певних умов. Продукт, який не потребує маркування «Без ГМО», позначено на рисунку буквою

А 

Б 

В 

Г 

Тестові завдання з однією відповіддю (1,5 бала)

10. Прочитайте опис: «*Трансгенні організми отримують методом (1). Одним із векторів, за допомогою якого спадкову інформацію переносять в іншу клітину, є (2)*». Виберіть правильний варіант для заповнення пропусків (1, 2).

А 1 — гібридизації, 2 — віруси
Б 1 — штучного добору, 2 — плазміди
В 1 — генетичної інженерії, 2 — плазміди
Г 1 — генетичної інженерії, 2 — одноклітинні паразити

11. Учень та учениця на уроці біології обговорювали біотехнологію. Учень зазначив, що основою сучасного біотехнологічного виробництва є синтез різноманітних речовин за допомогою мікроорганізмів. Учениця зауважила, що для синтезу інсуліну використовують бактерії. Чи має хтось із них рацію?

А лише учень
Б лише учениця
В обоє мають рацію
Г обоє помиляються

Тестове завдання з однією відповіддю в кожному стовпчику (3 бали)

12. Ознайомтеся з картою, на якій цифрами (I–VII) позначено центри походження та різноманітності культурних рослин. Виберіть правильні продовження тверджень.

Із центру, який позначено цифрою VII, походять

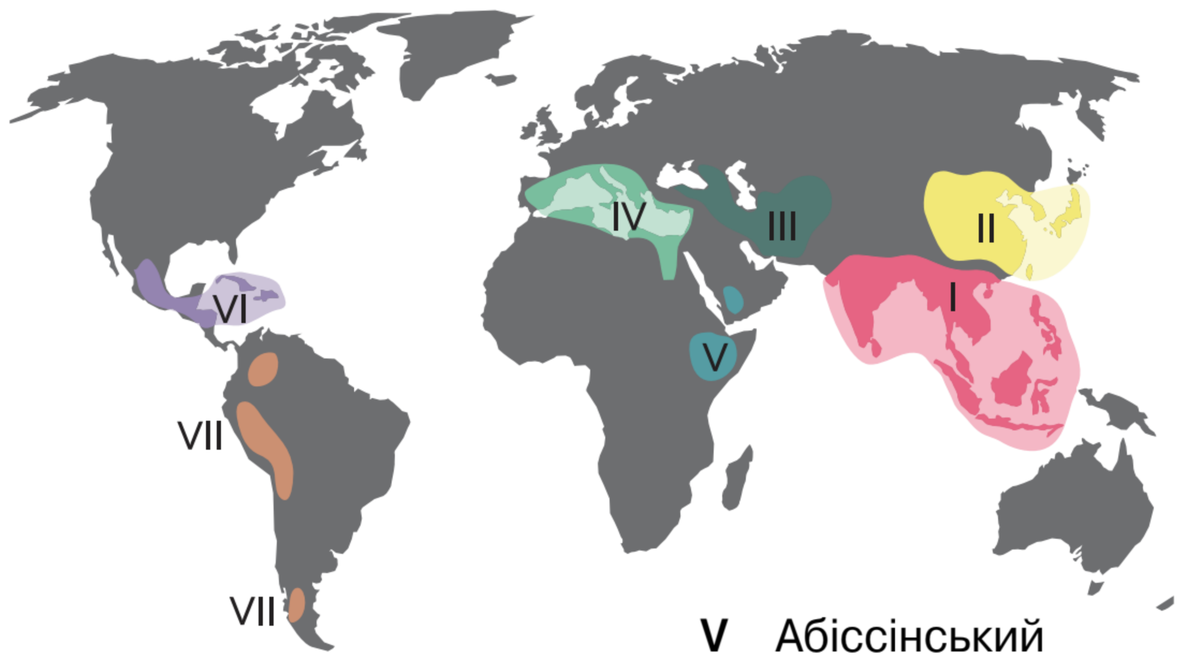
1 капуста й олива
2 кава й тверда пшениця
3 картопля і томати

Кукурудза походить з

1 Абісінського центру
2 Центрально-американського центру
3 Південно-американського центру

Цукровий буряк, капуста й олива виникли в центрі, який позначено цифрою

1 III 2 IV 3 VI



I Південноазійський
II Східноазійський
III Південно-західноазійський
IV Середземноморський
V Абіссінський
VI Центрально-американський
VII Південно-американський

ТЕМА 6 ЛЮДИНА Й БІОСФЕРА

З історії відкриттів

Нагромадження людством знань про взаємодію організмів із навколишнім середовищем почалося давно. Ще первісні люди помічали, що різні види тварин пов'язані з певними умовами, а їх чисельність залежить від кількості насіння і плодів, якими вони живляться.

Значний внесок у вивчення навколишнього середовища зробили філософи Стародавньої Греції. Наприклад, Арістотель створив Ліцей (школу), а при ньому сад, де проводив дослідження. У книжці «Історія тварин» він описав понад 500 видів тварин, класифікуючи їх за способом життя.

Термін «екологія» (від грец. *ойкос* — житло, оселя і *логос* — вчення) запровадив у 1869 р. німецький природодослідник і філософ *Ернст Геккель*.

Важливі відкриття були зроблені природодослідниками в кінці XIX та на початку XX століття. Закон мінімуму, сформульований німецьким ученим *Юстусом фон Лібіхом* 1840 року, установлює залежність біологічних систем від чинників, які обмежують їхній розвиток — лімітувальних чинників. Уперше припущення про лімітувальний вплив максимального значення чинника нарівні з мінімальним було висловлено 1913 року американським зоологом *Віктором Ернестом Шелфордом*, який установив фундаментальний біологічний закон толерантності.



В. І. Вернадський (1863–1945)

Основним моментом становлення екології як науки було формулювання поняття екосистема (від грец. *ойкос* — житло, оселя і *система* — об'єднання). Цей термін у 1935 р. ввів у науку англійський учений Артур Тенслі (1871–1955).

Термін «біосфера» (від грец. *біос* — життя і *сфера* — куля) запропонував у 1875 р. австрійський геолог Едуард Зюсс (1831–1914). Він розглядав біосферу як простір, заповнений життям.



Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського, Київ

Видатний український природодослідник *Володимир Іванович Вернадський* — творець учення про живу речовину й біосферу. Основи свого вчення він виклав у праці «Біосфера» (1926). Вернадський дійшов висновку, що життя може існувати лише у формі гігантської системи — біосфери.

§ 48. Біосфера як цілісна система



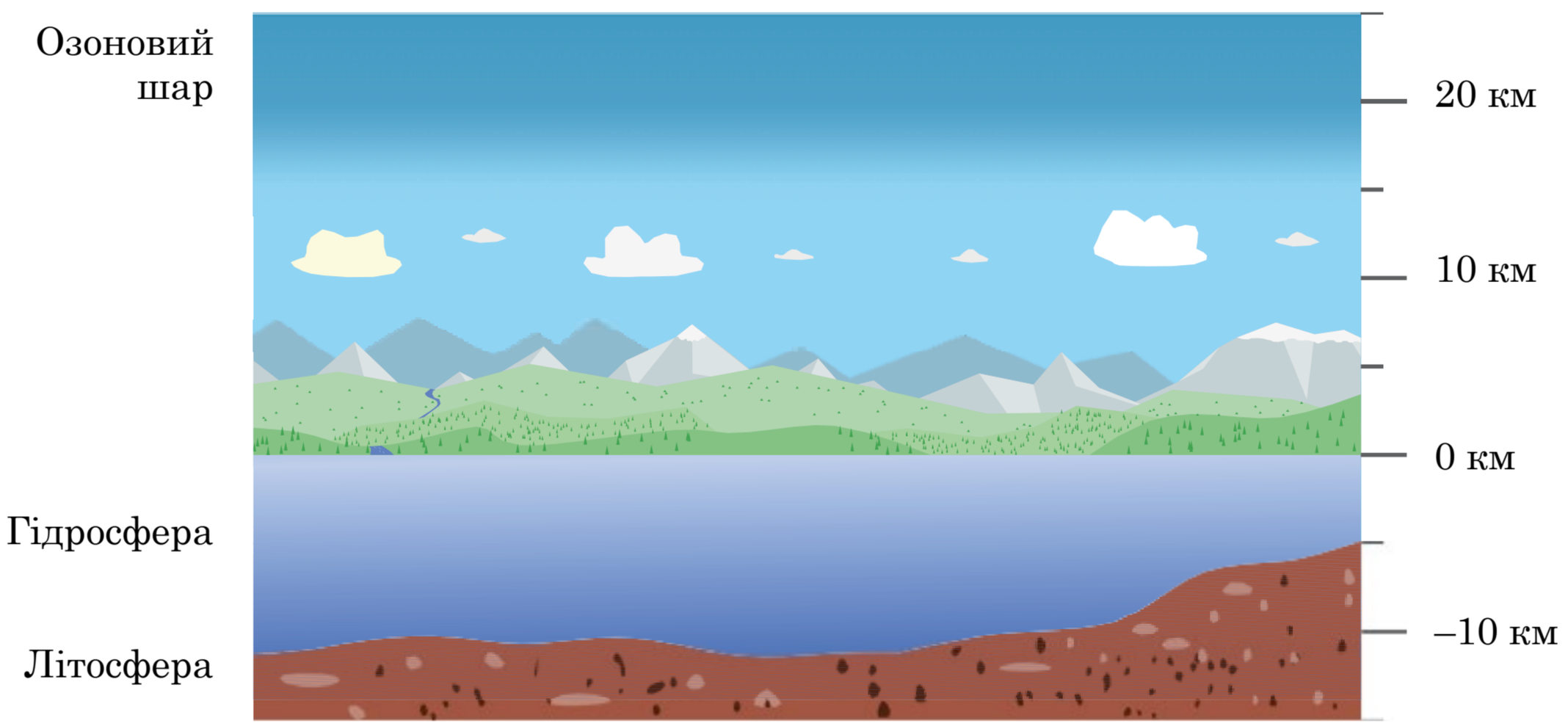
Які рівні організації живого ви знаєте? Який з них є найвищим?

Біосфера — це глобальна екологічна система, межі якої зумовлені життєдіяльністю організмів.

Межі біосфери та оболонки планети Земля. Біосфера охоплює частину атмосфери до висоти озонового шару (20–25 км), частину літосфери (2–3 км нижче від поверхні) та всю гідросферу (іл. 188). Атмосфера являє собою газувату оболонку, що оточує нашу планету. Суміш газів, що становить атмосферу, називається повітрям. Поширення організмів в атмосфері обмежене озоновим шаром (пригадайте, що таке фотосинтез). Максимальна висота, на якій виявлено спори бактерій і грибів, сягає 22 км. Гідросфера — водна оболонка планети, сукупність океанів, морів, вод континентів, льодовикових покривів. Вода є основою існування життя на Землі. У гідросфері організми живуть на будь-яких глибинах. Літосфера — верхня тверда оболонка Землі, що зверху межує з гідросферою та атмосферою, які частково проникають у неї. Углиб літосфери організми можуть проникати на незначні глибини. Ґрунт — верхній шар літосфери, що є місцем перебування більшості організмів суходолу. Найбільшу товщину біосфера має на тропічних широтах — 22 км, найменшу — на полярних — 12 км.

Хімічні функції живої речовини. Усі організми в сукупності утворюють біомасу, або, за висловом В. І. Вернадського, живу речовину планети. За масою вона становить близько 0,0011% маси земної кори. Проте роль організмів у процесах, що відбуваються на планеті, є величезною.

Іл. 188. Межі біосфери



Саме діяльністю організмів зумовлюються хімічний склад атмосфери, концентрація солей у гідросфері, утворення одних і руйнування інших гірських порід, формування ґрунту — у літосфері. Жива речовина виконує хімічні функції: газову, концентраційну, окисно-відновну й біохімічну.

Газову функцію здійснюють водорості й рослини, які під час фотосинтезу виділяють в атмосферу кисень; рослини й тварини, які під час дихання виділяють вуглекислий газ; багато видів бактерій, що відновлюють нітроген зі сполук.

Концентраційна функція пов'язана з накопиченням у живій речовині хімічних елементів (Карбону, Гідрогену, Нітрогену, Оксигену, Кальцію, Калію, Силіцію, Фосфору тощо). Окремі види організмів є своєрідними концентраторами деяких елементів (іл. 189).

Окисно-відновна функція виявляється в окисненні речовин за допомогою організмів у ґрунті й гідросфері з утворенням солей, оксидів, а також відновленні речовин. Із діяльністю бактерій пов'язане формування вапняків, бокситів, а також залізних, марганцевих і мідних руд.

Біохімічна функція здійснюється під час обміну речовин в організмах (живлення, дихання, виділення), руйнування відмерлих організмів і розщеплення продуктів їхньої життєдіяльності. Ці процеси становлять колообіг речовин у природі.

Колообіг речовин у біосфері. Колообіг речовин — це обмін речовинами між абіотичною та біотичною частинами екосистеми. У біосфері постійно триває колообіг води, Карбону, Оксигену, Нітрогену та інших хімічних елементів, що є складниками організмів. Розглянемо приклади колообігу речовин у біосфері.

Колообіг Карбону. Під час фотосинтезу, наприклад, рослини засвоюють Карбон, що надходить до листків із повітря у вигляді вуглекислого

Іл. 189. Накопичення хімічних елементів організмами: а — ламінарія, б — омар європейський, в — наутилус помпіліус



а



б



в

Бурі водорості накопичують Йод, ракоподібні й молюски Купрум

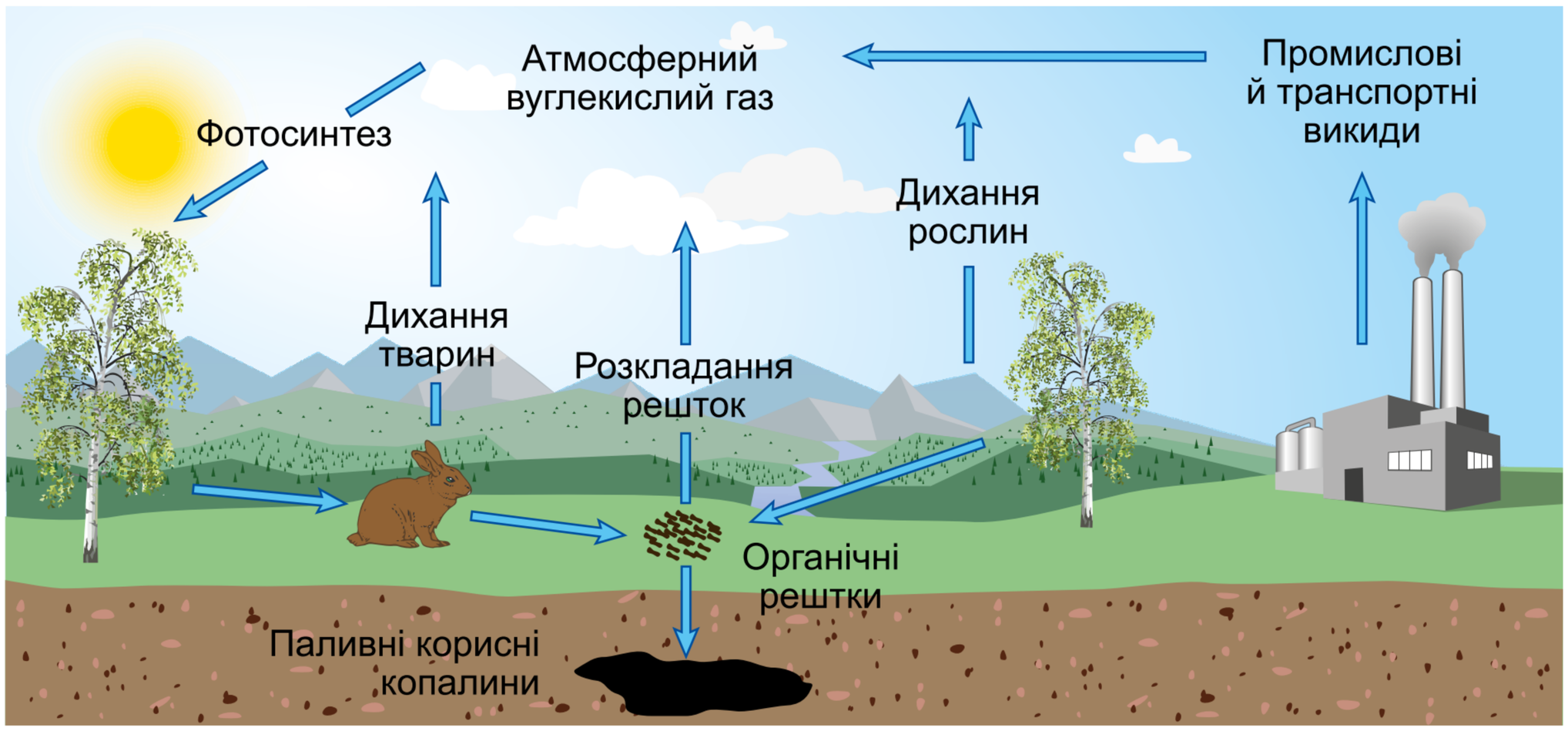
Підготуйте повідомлення про інші організми, які накопичують хімічні елементи.

газу, утворюючи вуглеводи (іл. 190). При цьому відбувається перетворення сонячної енергії на хімічну. Як ви вже знаєте, у цьому полягає космічна роль зелених рослин. Під час дихання рослин частина вуглеводів окиснюється, і вуглекислий газ виділяється в повітря. Більша частина вуглеводів накопичується в рослинах. Крім того, у рослинах утворюються білки й жири (іл. 190).

Надалі гетеротрофними організмами рослини поїдаються. Отже, сполуки, синтезовані рослинами, рухаються ланками трофічних ланцюгів. Під час дихання вуглеводи окиснюються. За рахунок вивільнення енергії відбуваються всі життєві процеси, а вуглекислий газ виділяється в повітря. Розкладання відмерлих організмів здійснюється за участю бактерій. При цьому також відбувається окиснення Карбону з утворенням вуглекислого газу. Унаслідок розкладання організмів за відсутності кисню утворюються торф, кам'яне вугілля, нафта, сланці. Людина їх спалює, використавши як джерело енергії, і вуглекислий газ також потрапляє в атмосферу. Так коло замикається, і розпочинається новий цикл уключення Карбону до складу органічних сполук, що їх синтезують рослини.

Колообіг Оксигену. Кисень атмосфери має біогенне походження. Він постійно надходить в атмосферу завдяки фотосинтезу. Кисень під час дихання використовують аеробні організми. Одним із кінцевих продуктів окиснення є вуглекислий газ. У сполуці з Карбоном кисень повертається в навколишнє середовище, щоб знову потрапити до фотосинтезувальних організмів. Оскільки вивільнення енергії з органічних і неорганічних сполук супроводжується розщепленням їх у процесі окиснення, то колообіг Оксигену забезпечує колообіг усіх біогенних елементів. Унаслідок колообігу речовин у біосфері відбувається безперервна міграція елементів (іл. 190).

Іл. 190. Колообіг Карбону



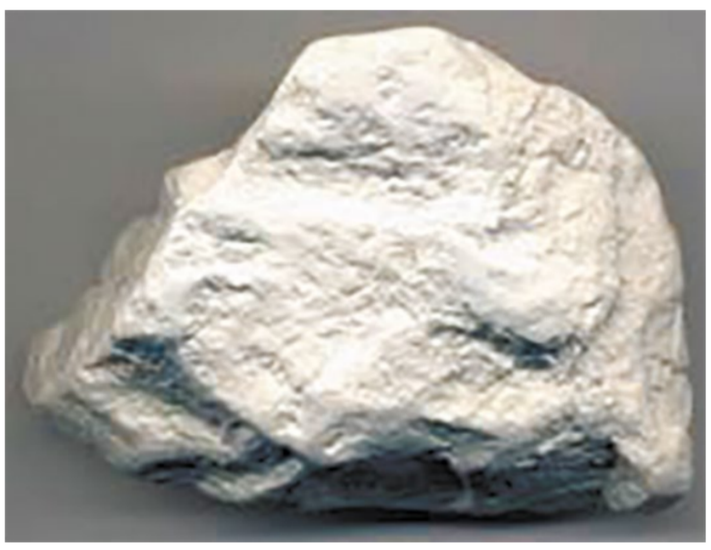
Оцініть вплив діяльності людини на колообіг Карбону.
Чому, на вашу думку, цей вплив часто вважають таким, що порушує колообіг?

Роль організмів у перетворенні оболонок Землі. Організми беруть участь в утворенні осадових порід, ґрунтоутворенні, підтриманні сталості газового складу атмосфери. Осадові породи виникають на дні водойм унаслідок нашарування різних нерозчинних речовин, значна частина яких має біогенне походження. З решток організмів, які впродовж життя накопичують у своїх скелетах, мушлях, панцирах карбонати, фосфати, силіцій (IV) оксид, утворюються осадові породи. Поміж них крейда, кремнезем, радіолярити, діатоміти, вапняк (іл. 191). Торф і кам'яне вугілля утворилися за певних умов перетворень відмерлих решток рослин: торф — мохів, кам'яне вугілля — викопних вищих спорових. Поклади залізної руди — це результат діяльності залізобактерій. Існують докази біогенного походження нафти, природного газу й горючих сланців. Руйнування гірських порід пов'язане з діяльністю організмів. Наприклад, лишайники, оселяючись на скелях, виділяють органічні кислоти, що руйнують гірські породи.

Унаслідок діяльності різноманітних організмів відбуваються процеси ґрунтоутворення: розклад органічної речовини на мінеральні сполуки, утворення гумусу та його розклад, розклад і утворення мінеральних сполук.

Життєдіяльність організмів спричиняє зміну газового складу атмосфери — на початку розвитку біосфери він значно відрізнявся від сучасного. В атмосфері було багато водяної пари, вуглекислого газу, сірководню, метану, однак не було вільного кисню і, відповідно, озонового шару. Через те ультрафіолетові промені без перешкод досягали поверхні Землі, і життя могло існувати лише у водному середовищі, оскільки вода поглинала ці промені. Завдяки діяльності фотосинтезувальних ціанобактерій газовий склад атмосфери поступово змінювався: зменшувався вміст вуглекислого газу, метану, амоніаку; утворилися вільний кисень, а з ним і озоновий шар. Це створило передумови виходу життя на суходіл.

Іл. 191. Осадові породи: а — радіолярит; б — діатоміт; в — вапняк



а



б



в



Підготуйте повідомлення про роль тварин в утворенні осадових порід та ґрунтоутворенні.



1. Дайте означення поняття *біосфера*. **2.** Схарактеризуйте функції живої речовини Землі. **3.** Опишіть колообіг речовин у біосфері на прикладі Карбону. **4.** Поясніть роль організмів у перетворенні оболонок Землі.

§ 49. Екологічні чинники



Які чинники впливають на організми? Що таке адаптація?

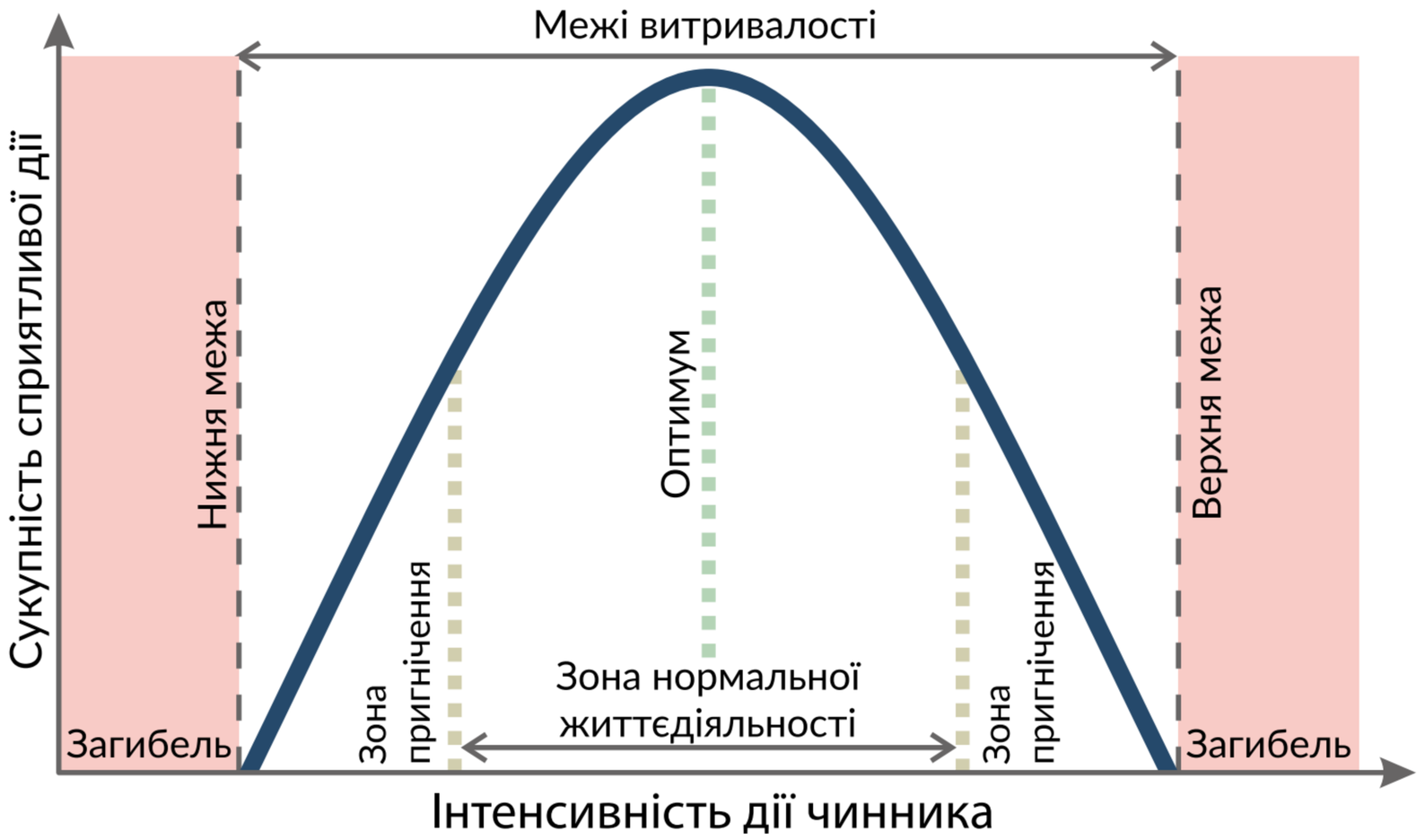
Екологічні чинники. Ви вже могли впевнитися, що кожний організм тісно пов'язаний і значною мірою залежить від середовища, що його оточує, хоча й сам впливає на нього.

Екологічні чинники — це всі складники навколишнього середовища, що впливають на стан і властивості організмів та їхніх угруповань. Залежно від природи та особливостей дії їх поділяють на групи: абіотичні, біотичні та антропогенні (антропічні).

Абіотичні чинники — компоненти та властивості неживої природи (освітленість, температура, вологість, газовий склад повітря, тиск, сольовий склад води, тип ґрунту тощо), які прямо або опосередковано впливають на окремі організми та їхні угруповання. ***Біотичні чинники*** — різні форми взаємодії між особинами в популяціях і між популяціями в угрупованнях. Будь-яка жива істота взаємодіє з особинами свого (внутрішньовидові зв'язки) та інших (міжвидові зв'язки) видів. ***Антропогенні (антропічні) чинники*** — різні форми діяльності людини, що впливають на окремі організми, їх угруповання та біосферу в цілому.

Вплив чинників характеризується закономірністю, що називається законом оптимуму: кожен чинник позитивно впливає на організм у певних межах (іл. 192). Чим більше інтенсивність дії окремого екологічного чинника відхиляється від оптимальної, тим більшою є його пригнічувальна дія на організм. Значення інтенсивності дії цього чинника, поза якими існування стає неможливим, називають верхньою та нижньою межами витривалості.

Іл. 192. Схема дії екологічного чинника



Оптимум — сприятлива для організмів інтенсивність впливу екологічного чинника. Зони пригнічення — інтенсивність впливу чинника, за якої відбувається пригнічення життєдіяльності

Чинник, інтенсивність дії якого в певних умовах виходить за межі витривалості, називають лімітувальним.

Середовище існування. **Середовище існування** — це сукупність умов існування окремого організму або угруповання в цілому, що впливає на їхню життєдіяльність. Організми населяють чотири середовища: наземно-повітряне, водне, ґрунт та організми інших істот. Основні середовища існування — наземно-повітряне й водне.

Наземно-повітряне середовище — найрізноманітніше за умовами. Визначальними в ньому є світло, температура, вологість і газовий склад повітря.

Зі світлом пов'язане життя на Землі. У спектрі сонячного світла виокремлюють три ділянки, що різняться біологічною дією: ультрафіолетову, видиму та інфрачервону. Ультрафіолетові промені великої інтенсивності є згубними для всього живого, але їх майже повністю поглинає озоновий шар. Завдяки енергії видимих променів відбувається фотосинтез. Інфрачервоні промені слугують джерелом теплової енергії. Щодо вимог до умов освітленості рослини поділяють на світлолюбні та тіньовитривалі (іл. 193).

Температура на земній поверхні залежить від географічної широти й висоти над рівнем моря. Крім того, вона змінюється з порами року. Температура навколишнього середовища впливає на температуру тіла організмів. Для більшості організмів її оптимальні значення мають досить вузькі межі: від +10 °С до +30 °С.

Види, які пристосовані до життя за низьких температур, називають холодостійкими. Вони здатні виявляти активність, навіть коли температура їхнього внутрішнього середовища знижується до –10 °С (деякі бактерії, членистоногі тощо). Теплолюбні види активні за високих температур навколишнього середовища. Деякі бактерії, членистоногі мешкають у гарячих джерелах за температури до +80 °С.

Іл. 193. Рослини наземно-повітряного середовища: а — світлолюбна рослина шипшина звичайна; б — тіньовитривала рослина барвінок малий



а



б

Живі істоти наземно-повітряного середовища пристосовані до економного споживання і витрат води. Рослини також мають багато пристосувань для подолання дефіциту вологи (іл. 194). Дерева й кущі, скидаючи листя, зменшують ступінь випаровування в посушливий період. У тварин за економію вологи в умовах посушливого клімату відповідають покриви, що запобігають випаровуванню (кутикула комах, павуків, скорпіонів, а також луски рептилій).

Головними складниками нижніх шарів атмосфери є кисень (близько 21%), вуглекислий газ (близько 0,03%) та азот (понад 78%). Містяться в повітрі й забруднювальні компоненти — пил, сажа тощо.

Водне середовище існування за своїми умовами значно відрізняється від наземно-повітряного. Вода має порівняно високу густину, менший вміст кисню, у водоймах спостерігаються значні перепади тиску. Крім того, різні типи водойм різняться за концентрацією солей у них, швидкістю течій, глибиною промерзання тощо. Тому мешканці водойм — *гідробіонти* — адаптувалися як до існування у водному середовищі взагалі, так і до певного типу водойм чи зони Світового океану (іл. 195).

Ґрунт як середовище існування — це його порожнини, заповнені водою або повітрям. Завдяки наявності вологи умови існування дрібних організмів у ґрунті наближаються до подібних у водоймах. Вологість ґрунту завжди вища, ніж повітря. І тому різноманітні організми легше переживають посушливий період. Ґрунти характеризуються порівняно невеликими добовими й річними коливаннями температури. Це дає змогу наземним організмам мігрувати в товщу ґрунту, де вони можуть переживати період екстремально низьких або високих температур. Прикладом тварин, які пристосовані до життя у ґрунті, є дощовий черв'як, вовчок, кріт. Ґрунт містить значні запаси органічних речовин, що є кормовою базою для організмів.

Іл. 194. Рослини посушливих місць зростання



Кактус



Молодило

Іл. 195. Тварини Світового океану



Риба



Черепаха



Опишіть пристосування тварин, зображених на іл. 195, до існування у водному середовищі.
Чи є у тварин різних груп подібні пристосування до умов водного середовища? Якщо так, чим, на Вашу думку, це обумовлено?



Підготуйте повідомлення (презентацію) про пристосування рослин і тварин до посушливих умов існування.

Організм живих істот як середовище існування. Організм як середовище існування за своїми властивостями суттєво відрізняється від інших. Так, на організми, які живуть на поверхні інших істот, впливають чинники навколишнього середовища, а на ті, які мешкають усередині організму хазяїна, діють лише опосередковано.

Основні форми біотичних взаємозв'язків. Існують різні форми взаємозв'язків між організмами або популяціями організмів. Популяції або окремі представники виду неминуче вступають між собою в конкурентну боротьбу — це внутрішньовидова конкуренція. Водночас із внутрішньовидовою відбувається і міжвидова конкуренція, наприклад за кормову базу.

Паразитизм — форма взаємозв'язків, за якої один вид (паразит) упродовж тривалого часу використовує іншого (хазяїна) як джерело живлення та середовище існування. Деякі види паразитів мешкають на поверхні організму хазяїна (воші, пір'яні кліщі), інші — усередині його (сисуни, стьожкові та круглі черви).

Коменсалізм — це така форма взаємозв'язків різних видів, за якої один з них (коменсал) використовує залишки їжі, продукти життєдіяльності чи житло іншого (хазяїна), не завдаючи йому помітної шкоди. Проте й користі від коменсалів організмам хазяїв немає. Коменсалізм може проявлятися у формах квартирантства або нахлібництва.

Мутуалізм — форма взаємозв'язків особин різних видів, за якої вони мають взаємну користь. Прикладами мутуалізму є взаємозв'язки рослинних організмів із грибами, азотфіксувальних бактерій із бобовими рослинами, джмеля із конюшиною, за якого комаха забезпечує запилення квітки під час живлення нектаром (іл. 196).

Хижацтво — форма взаємозв'язків особин різних видів, один із яких слугує кормовою базою для іншого (іл. 197).

Іл. 196. Приклад мутуалізму



Іл. 197. Приклад хижацтва





Наведіть інші приклади мутуалізму, хижацтва, коменсалізму, паразитизму, використавши раніше набуті знання з курсу біології.



1. Дайте означення поняття *екологічні чинники*. **2.** Які групи екологічних чинників вам відомі? **3.** Поясніть закон оптимуму. **4.** Опишіть середовища існування організмів, які є на нашій планеті. **5.** Схарактеризуйте форми взаємозв'язків організмів.

§ 50. Екосистема. Різноманітність екосистем



Що таке угруповання організмів?
Які рослинні угруповання ви знаєте?
Які організми називають автотрофами, гетеротрофами та міксотрофами?

Ви вже знаєте, що популяції різних видів пов'язані не лише між собою, а й з умовами середовища існування. Угруповання організмів утворюють із навколишнім середовищем єдине ціле — екосистему.

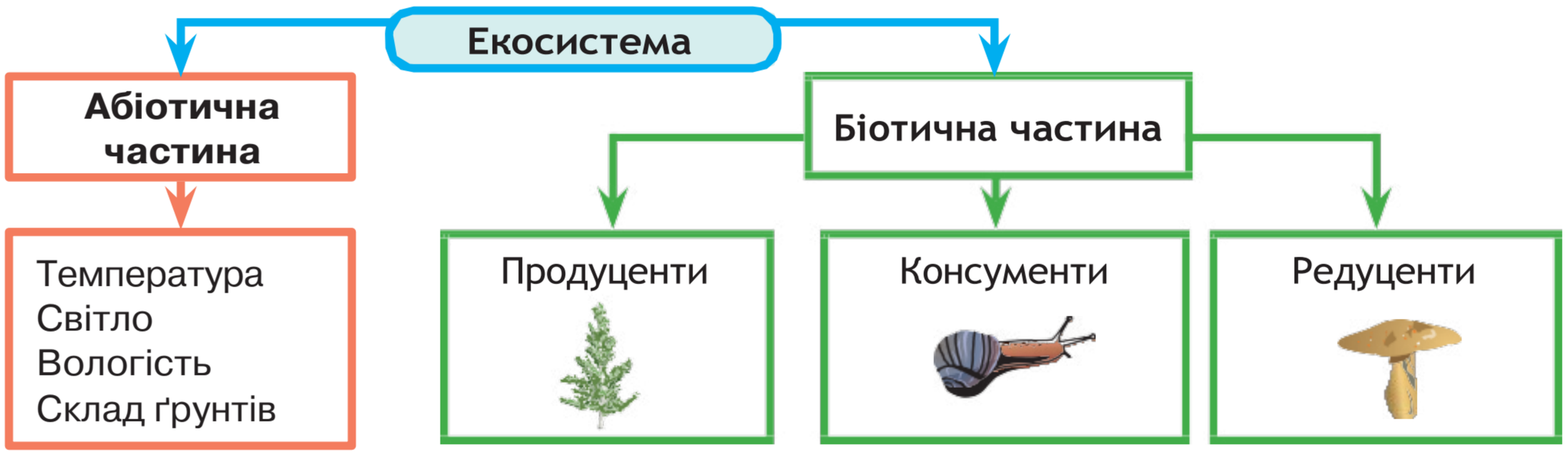
Екосистема — це сукупність організмів різних видів, які взаємодіють між собою і з середовищем у такий спосіб, що всередині системи відбуваються перетворення енергії, колообіг речовин і саморегуляція.

Структура екосистеми. У структурі будь-якої екосистеми розрізняють абіотичну (умови середовища існування) та біотичну (сукупність взаємопов'язаних організмів) частини (іл. 198).

До абіотичної частини належать: неорганічні сполуки (кисень, вуглекислий газ, азот, вода тощо), органічні сполуки (рештки організмів та продукти їхньої життєдіяльності), мікроклімат (середньорічна температура, вологість тощо).

Біотичну частину становлять популяції організмів з різним типом живлення: ***продуценти*** — автотрофні організми (водорості, рослини, хемотрофні прокаріоти); ***консументи*** — гетеротрофні організми, які живляться іншими організмами, соками цих організмів або їхніми рештками (рослиноїдні тварини, хижаки, паразити); ***редуценти*** — гетеротрофні організми, які живляться залишками або продуктами життєдіяльності організмів, розкладаючи їх до неорганічних сполук (членистоногі, гриби, бактерії).

Іл. 198. Структура екосистеми





Змоделюйте біотичну частину екосистеми, використавши знання про різноманітність організмів.

Різноманітність екосистем. Екосистеми можуть бути різного розміру, наприклад екосистеми острова, річки, озера й усієї біосфери в цілому. Усі групи екосистем — це продукт сумісного історичного розвитку видів, які різняться за систематичним положенням. При цьому види пристосовуються один до одного. Екосистеми можуть складатися з багатьох сотень або багатьох тисяч видів організмів. Природні екосистеми характеризуються стійкістю і цілісністю. Стійкість підтримується завдяки відтворенню кожного з її компонентів — популяцій видів. Цілісність забезпечується в процесі міжвидової взаємодії під дією навколишнього середовища. Незалежно від складності екосистеми характеризуються видовим складом, чисельністю, біомасою, інтенсивністю процесів продукування і деструкції органічних речовин.

Розрізняють наземні, прісноводні, морські та штучні екосистеми. Приклади наземних екосистем: тундра, тайга, широколистяні ліси, степ, савана, пустеля, тропічні ліси. Прісноводні екосистеми — це озера, річки, струмки, болота. Поміж морських екосистем вирізняють відкритий океан, прибережні води тощо. Штучні екосистеми людина створює для задоволення власних потреб. Це сади, парки, городи, поля, штучні водойми тощо (іл. 199). Від природних угруповань вони відрізняються особливостями функціонування та властивостями. Незначне видове різноманіття та погано розгалужені трофічні зв'язки зумовлюють слабку стійкість штучних екосистем, проте високу продуктивність одного чи кількох видів у його складі. У складі штучних екосистем можуть бути представники дикої фауни й флори, без яких їхнє існування неможливе. Але на відміну від природних екосистем у штучних практично немає саморегуляції. Без постійного втручання людини вони руйнуються та зникають.

Іл. 199. Приклади наземних (а), штучних (б), прісноводних (в), морських (г) екосистем



а б в г

Опишіть одну з наведених екосистем.

1. Дайте означення поняття *екосистема*. **2.** Назвіть частини екосистеми. **3.** Які організми називають продуцентами, консументами й редуцентами?

§ 51. Харчові зв'язки та потоки енергії в екосистемах



Що таке популяція?

Трофічні рівні та ланцюги живлення. Вам уже відомо, що функціонування екосистеми пов'язане з перетворенням енергії. Основним джерелом енергії більшості екосистем є сонячне світло, яке фототрофи перетворюють на енергію хімічних зв'язків органічної речовини. Частину накопиченої енергії вони витрачають на забезпечення власних потреб, решта переходить до гетеротрофів. Отже, організми з різним типом живлення перебувають на різних трофічних рівнях.

Трофічний рівень — сукупність організмів з однаковим типом живлення.

Наведемо приклад розподілу організмів за різними трофічними рівнями: перший — автотрофи (продуценти); другий — рослиноїдні організми (консументи I порядку); третій — хижаки (консументи II порядку) (іл. 200).

В екосистемах види, які займають різні трофічні рівні, пов'язані потоком енергії. Такий взаємозв'язок відображають ланцюги живлення.

Ланцюг живлення (трофічний ланцюг) — види організмів, пов'язаних між собою харчовими відносинами, що створює певну послідовність у передаванні речовин та енергії.

Типи ланцюгів живлення. Виокремлюють ланцюги виїдання (пасовищний) та розкладання (детритний). Ланцюг живлення, що починається з автотрофних фотосинтезувальних або хемосинтезувальних організмів, називається пасовищним, або ланцюгом виїдання. Приклад ланцюга

Іл. 200. Організми різних трофічних рівнів



Перший трофічний рівень



Другий трофічний рівень



Третій трофічний рівень

Виконайте інтерактивне завдання «Організми різних трофічних рівнів».



Проаналізуйте твердження щодо наведеної на ілюстрації інформації.
1. Другий трофічний рівень займають хижаки. **2.** Третій трофічний рівень утворюють рослиноїдні тварини. Чи є поміж них правильні?

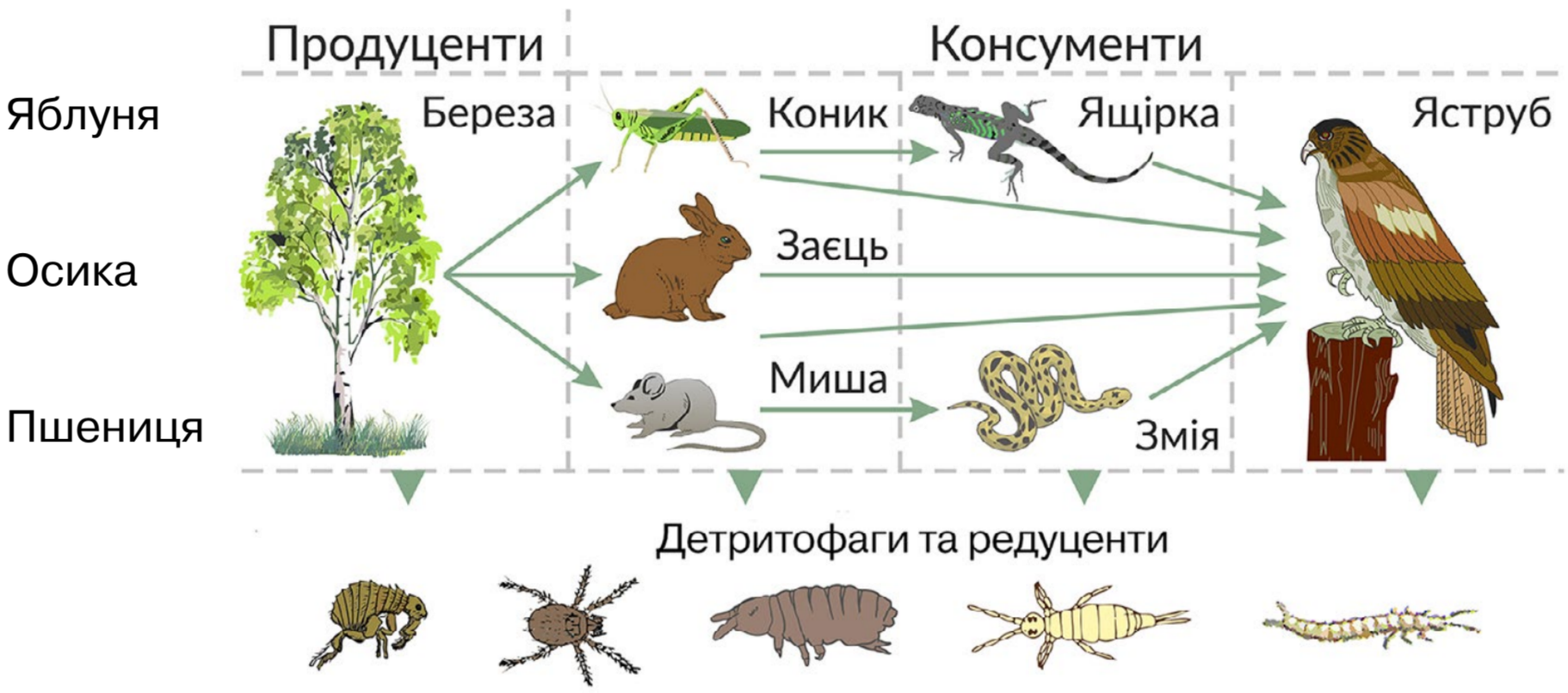
виїдання — взаємини між організмами на заплавній луці. Починається такий ланцюг із квіткової рослини. Наступна ланка — метелик, що живиться нектаром квітки. Метелика поїдає мешканець вологих місць існування — жаба. Її захисне забарвлення дає їй змогу підстерегти жертву, але не рятує від іншого хижака — вужа. Чапля, упіймавши вужа, замикає цей ланцюг живлення.

Ланцюг живлення, що починається з відмерлих залишків рослин, решток та екскрементів тварин, називається детритним, або ланцюгом розкладання. Він починається з розкладання мертвої органічної речовини й продовжується сапротрофами (членистоногі, черви, гриби та мікроорганізми), які її безпосередньо споживають. Їх, у свою чергу, поїдають консументи (наприклад, комахи).

У будь-якій екосистемі різні ланцюги живлення не існують окремо один від одного, а тісно пов'язані між собою завдяки тому, що представники того самого виду можуть бути ланками різних ланцюгів живлення. Переплітаючись, вони формують ***трофічну сітку (мережу)*** (іл. 201). Її існування забезпечує стійкість екосистеми: у разі зміни чисельності популяцій певних видів кормові об'єкти легко замінюються.

Правило екологічної піраміди. Для всіх екосистем характерні певні закономірності передавання енергії та біомаси між трофічними рівнями. Правило екологічної піраміди відбиває таку закономірність: на кожному наступному трофічному рівні кількість біомаси та енергії, що їх запасають організми за одиницю часу, є значно меншою, ніж на попередньому. Наочно це правило можна зобразити як піраміду, складену з окремих блоків. Кожен із цих блоків відповідає продуктивності організмів на відповідному трофічному рівні ланцюга живлення.

Іл. 201. Трофічна сітка (мережа)





Змоделюйте трофічну сітку (мережу) прісноводної водойми.



1. Дайте означення понять *трофічний рівень, ланцюг живлення, трофічна сітка* (мережа). **2.** Наведіть приклади пасовищних і детритних ланцюгів живлення. **3.** Сформулюйте правило екологічної піраміди.

§ 52. Стабільність екосистем та причини її порушення



Які основні форми господарської діяльності людини?

Вам уже відомо, що різноманітність взаємозв'язків між організмами є умовою саморегуляції екологічних систем. Екосистема може нормально функціонувати лише за відносно стабільних умов навколишнього середовища.

Причини змін екосистем. Екосистеми як саморегульовані системи певною мірою здатні підтримувати гомеостаз, проте в них можуть відбуватися циклічні або поступальні зміни у відповідь на зміни екологічних чинників.

Усі екосистеми є середовищем для міжвидових взаємовідносин і пов'язаних з ними проявів природного добору. Взаємозв'язані в екосистемі види завжди впливають і на абіотичні компоненти середовища. Це, у свою чергу, спричиняє зворотний вплив абіотичних чинників на живі компоненти екосистем. Постійна взаємодія всіх компонентів спричиняє зміни екосистем. Наслідком таких змін є перетворення всієї біосфери Землі. Первинними при цьому можуть бути будь-які незначні зміни компонентів екосистеми. Поступальні зміни в екосистемі, наприклад, відбуваються в результаті замулення озера. Із глибоководного воно поступово перетворюється на мілке, потім — на болото (іл. 202), а потім тут може вирости ліс.

Сукцесією називаються послідовні зміни угруповань організмів, які з часом призводять до перетворення екосистеми.

Угруповання організмів, які існують на початкових етапах сукцесії, характеризуються незначним видовим різноманіттям, слабо розгалу-

Іл. 202. Перетворення озера на болото



женими трофічними сітками, різкими коливаннями чисельності окремих популяцій, низькою здатністю підтримувати гомеостаз. Під час сукцесії збільшується видове різноманіття організмів, унаслідок чого підвищується стійкість екосистем.

Сукцесії бувають первинними й вторинними. ***Первинні сукцесії*** — це поява й розвиток рослинних угруповань у місцях, де рослинності раніше не було, наприклад оселення лишайників на скельних породах (іл. 203). ***Вторинні сукцесії*** — це відновлення природної рослинності після певних порушень, наприклад відновлення лісів після пожеж (іл. 204).

Крім того, під час сукцесії розгалужується трофічна сітка, уповільнюються темпи приросту біомаси, зростає частка споживання первинної продукції.

За відсутності перешкод зміна угруповань завершується формуванням останньої стадії сукцесії — клімаксного угруповання, або *клімаксу*, що виявляється досить стійким і здатним існувати довше, ніж будь-яка попередня стадія. Наприклад, на території України сукцесійний ряд може бути таким:

трави — кущі — хвойні дерева — листяні дерева.

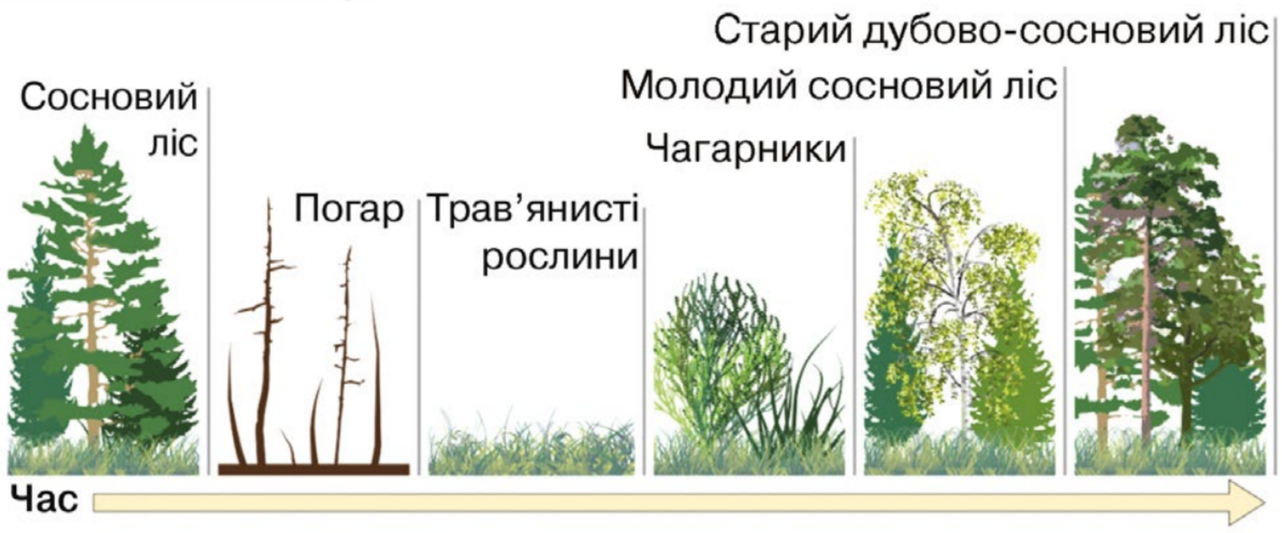
Клімаксні угруповання характеризуються відносною сталістю складу, структури, певною сезонною мінливістю, енергетичною рівновагою — рівністю між кількістю зафіксованої фототрофами сонячної енергії і затратами її на дихання всіма організмами, які входять до складу екосистеми. Руйнування таких стабільних екосистем можливе лише за різкої зміни клімату або внаслідок дії катастрофічних чинників, наприклад виверження вулкана.

Вплив діяльності людини на стан біосфери. Людині впродовж тисячоліть належала незначна роль у біосфері. Вона почала проявляти себе як екологічний чинник із розвитком землеробства, скотарства,

Іл. 203. Первинна сукцесія



Іл. 204. Вторинна сукцесія





Порівняйте первинну та вторинну сукцесії.

первісної техніки. Спалювання нафти, вугілля, сланцю, торфу, дров поступово змінювало склад атмосфери. Осушуючи болота, будуючи зрошувальні канали, розорюючи великі площі земель, людина змінила й темп руху хімічних елементів у природі. Отже, вплив людини на навколишнє середовище посилювався, доки не став екологічним чинником — ***антропогенним***.

Унаслідок цього впливу виникають екологічні проблеми: урбанізація, зміна клімату та стану атмосфери, нераціональне використання енергетичних ресурсів, забруднення вод Світового океану, ерозія та забруднення ґрунтів, знищення лісів та біологічного різноманіття. Їхнє розв'язування потребує зусиль не лише наукових кіл, а й усієї світової спільноти.

Щодня населення Землі збільшується на 50 тис. осіб. У 2030 р. кількість населення може перевищити 9 млрд осіб. Зростання кількості населення Землі й розвиток промисловості супроводжуються появою мегаполісів (великих міст), де практично повністю знищено природні екосистеми, спостерігаються високий рівень забруднення навколишнього середовища, інтенсивний рух транспорту (іл. 205). Діяльність людини є однією з причин ***змін клімату та стану атмосфери Землі***. Інтенсивний розвиток промисловості підвищує концентрацію вуглекислого газу в атмосфері, що, у свою чергу, спричиняє тепличний, або парниковий, ефект. Якщо цей процес триватиме, то вже до середини наступного століття середня температура повітря може підвищитися на 5 °C. Джерелами забруднення атмосфери пилом є підприємства будівельної й вугільної промисловості.

Особливу небезпеку для навколишнього середовища становлять кислотні дощі, спричинені забрудненням атмосфери сульфур (IV) оксидом та нітроген (IV) оксидом.

Іл. 205. Токіо — один з найбільших мегаполісів світу



Підготуйте повідомлення про екологічні проблеми одного з мегаполісів України.

Нераціональне використання енергетичних ресурсів. Ефективне використання енергоресурсів дає змогу знизити рівень видобутку корисних копалин і цим зменшити рівень забрудненості навколишнього середовища. Зокрема, треба будувати нові електростанції, у тому числі й атомні. Водночас необхідно піклуватися про безпеку функціонування таких об'єктів, пам'ятаючи про катастрофу на Чорнобильській АЕС і пошкодження реакторів АЕС «Фукусіма-1».

Забруднення вод Світового океану. Прісні води становлять лише 2,5 % загального об'єму гідросфери. Для підтримання життя одній людині потрібно близько 1 $м^3$ води на рік. У зв'язку із потребами промисловості й сільського господарства ця норма зростає більш ніж у 1000 разів. Утручання людини в природний колообіг прісної води на земній поверхні веде до вичерпання її запасів і погіршення якості. Забруднюються не лише прісні води, а й моря та океани. Щороку в море скидають мільйони тонн нафтопродуктів (іл. 206). Цієї кількості достатньо, щоб укрити плівкою із нафти всю поверхню Світового океану.

Ерозія та забруднення ґрунтів. Унаслідок ерозії та засолення родючих ґрунтів їх запаси щороку зменшуються. Надмірне використання пестицидів забруднює харчові продукти й питну воду.

Знищення лісів. Господарська діяльність людини спричинила скорочення площі лісів на третину (іл. 207). Щороку зменшуються площі тропічних лісів — важливого чинника стійкості та стабільності екологічної рівноваги.

Знищення біорізноманіття. За останнє тисячоліття на Землі зникло понад 130 видів та підвидів ссавців, близько 260 видів і підвидів птахів. Унаслідок стрімкого зростання чисельності населення все більше територій перетворюється на угіддя, промислові об'єкти, що призводить не лише до зникнення видів, а й екосистем.

Іл. 206. Вилив нафти в море



Іл. 207. Знищення лісів





Які заходи можна запроваджувати, щоб розв'язати зображені екологічні проблеми? Що кожен і кожна із нас може зробити для подолання проблеми знищення лісів і забруднення води?



1. Назвіть причини зміни природних екосистем. **2.** Що таке сукцесія? **3.** Порівняйте первинну й вторинну сукцесії. **4.** Що таке антропогенний чинник? **5.** Схарактеризуйте негативний вплив людини на екосистеми.

§ 53. Учення Володимира Вернадського про біосферу та ноосферу



Що таке біосфера?

Одним із перших усвідомив величезний перетворювальний вплив організмів на всі три зовнішні оболонки Землі в планетарному масштабі, тісну взаємодію і взаємозалежність усіх форм життя наш із вами співвітчизник, видатний природодослідник Володимир Вернадський. Це дало йому поштовх до створення вчення про біосферу, тобто ту частину зовнішніх оболонок нашої планети, яка безпосередньо пов'язана з існуванням життя на Землі.

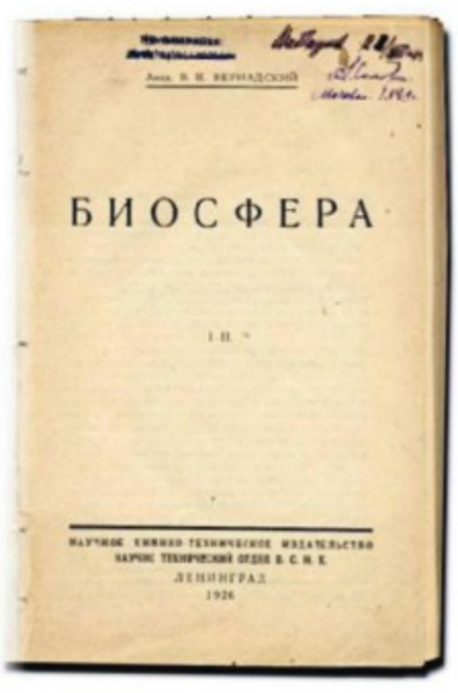
Учення В. Вернадського про біосферу. Це вчення є одним з найбільших узагальнень науковця в царині природознавства. Поняття «біосфера» використовував австрійський геолог Едуард Зюсс ще 1875 року. Але глибокого наукового змісту це поняття сповнюється після видання 1926 року праці Володимира Вернадського «Біосфера» (іл. 208). Він писав: «Біосфера — це явище космічного характеру, її важливою особливістю, головною геологічною силою є життя — "жива речовина",...». Пізніше науковець створив монографію «Хімічна будова біосфери землі і її оточення». Цій роботі він присвятив багато часу та вважав головною працею свого життя.

Отже, В. Вернадський розглядав біосферу як простір життя, а її основою вважав взаємодію живої та неживої речовин. На його думку, провідна роль у формуванні біосфери належить організмам. Розгляньмо принципові положення вчення В. Вернадського про біосферу.

Іл. 208. Учення В. Вернадського про біосферу



Володимир Вернадський (1863–1945)



Обкладинка першого видання праці «Біосфера», 1926 рік

Підготуйте повідомлення про життя й наукову спадщину В. Вернадського, використавши додаткові літературні джерела та інтернет-ресурси.

Перше положення стосується речовин біосфери. Науковець виділяв живу, біогенну, неживу, біокосну речовини, радіоактивні речовини, розсіяні атоми та речовини космічного походження (метеорити, космічний пил).

Отже, **жива речовина** — це сукупність організмів різних видів (іл. 209), яку характеризують не лише різноманітність видів і їхня чисельність, а також тенденція зростання їхньої кількості в процесі еволюції.

Біогенна речовина — продукти, створені в результаті діяльності організмів (кальцит і арагоніт у карстових печерах, кам'яне та буре вугілля, природний газ, нафта, торф тощо) (іл. 210).

Нежива речовина — неорганічні сполуки, в утворенні яких організми участі не брали (деякі гірські породи, мінерали, осадові породи) (іл. 211).

Біокосна речовина — це неорганічні сполуки, утворювані в результаті взаємодії живої та неживої речовини (кисень, ґрунт, мул, сланці тощо) (іл. 212).

Друге положення вчення науковця полягає в тому, що він уважав енергію Сонця космічним джерелом енергії в біосфері.

Формулюючи третє положення вчення про біосферу, В. Вернадський відзначав здатність живої речовини постійно зростати, розрахував швидкість можливого заселення поверхні Землі деякими організмами за умов безперешкодного існування. Цю особливість він називав «тиском життя».

Четверте положення вчення про біосферу полягає в тому, що В. Вернадський уперше відзначив геологічну роль організмів. Саме завдяки їхній діяльності відновний характер давньої атмосфери з переважанням вуглекислого газу змінився на окисний з переважанням кисню та незначним вмістом вуглекислого газу. Формулюючи п'яте положення вчення про біосферу, В. Вернадський підкреслював повсюдність життя, яке поширене в трьох оболонках планети: літосфері, гідросфері та атмосфері.

Іл. 209. Жива речовина



Рослинність

Іл. 210. Біогенна речовина



Кам'яне вугілля

Іл. 211. Нежива речовина



Кварц

Іл. 212. Біокосна речовина



Річковий мул

Запропонуйте власні приклади типів речовин, які наведено на ілюстраціях.

Одна з основних особливостей живої речовини — це нерівномірний розподіл у різних частинах біосфери. Життя слабко розвинене в пустелі, тундрі, на глибині океану, високо в горах. Натомість у мішаних і тропічних лісах, річках та озерах воно дуже різноманітне та щільне (іл. 213).

Найбільшу концентрацію живої речовини спостерігають на межі розподілу середовищ існування — у ґрунті як прикордонному шарі між атмосферою та літосферою, у поверхневих шарах океану, на дні водойм і особливо в лиманах, на літоралі, де всі три середовища — ґрунтове, водне й повітряне розташовані поряд. Місця найбільшої концентрації організмів В. Вернадський називав «плівками життя».

Науковець дійшов висновків: біосфера — організована оболонка; бути живим — значить бути організованим (відповідно до ролі й функцій організмів їх поділяють на продуцентів, консументів і редуцентів); для організмів у біосфері характерна їхня геохімічна робота, яка виявляється у формі незамкнутих і незворотних потоків енергії та речовин (біохімічних циклів, оскільки до процесів колообігу долучаються нові організми); біогеохімічна циклічність є суттю організованості й еволюції біосфери. Отже, біосфера — це оболонка Землі, що охоплює всі організми й ту частину речовини планети, яка перебуває в безперервному обміні з цими організмами.

Таку цілісну й завершену систему уявлень про біосферу В. Вернадський сформулював у своїх творах уперше в історії людства, хоча зародки вчення про біосферу й усвідомлення взаємозв'язку багатьох процесів у зовнішніх оболонках Землі були вже в роботах попередників.

Вчення В. Вернадського про ноосферу. Термін «ноосфера» запропонували 1927 року французькі філософи Едуард Леруа та П'єр Тейяр де Шарден.

Наповнив його змістом В. Вернадський 1944 року в праці «Декілька слів про ноосферу». Науковець писав: «Ноосферу слід розглядати як вищу стадію

Іл. 213. Нерівномірний розподіл живої речовини на планеті



Пустеля



Вологий тропічний ліс



Порівняйте біоми пустелі та вологого тропічного лісу, звертаючи увагу на нерівномірний розподіл живої речовини.
Обґрунтуйте причини нерівномірного розподілу живої речовини в біосфері.

розвитку біосфери, пов'язану з виникненням і розвитком у ній людського суспільства… останній із багатьох станів еволюції біосфери в геологічній історії». Він зазначав, що змінювати біосферу слід раціонально, думаючи не про сьогоднішні вигоди, а про майбутні наслідки.

Ноосфера (від. грец. noos — розум) — це етап розвитку біосфери, за якого людина, свідомо використовуючи свої знання, буде підтримувати існування біосфери та сприяти її еволюції.

Вчення В. Вернадського про ноосферу містить чотири основні положення: ноосфера — історично останній стан геологічної оболонки біосфери, що перетворюється діяльністю людини; це сфера розуму та праці; зміни біосфери зумовлені як свідомою, так і несвідомою діяльністю людини; розвиток ноосфери пов'язаний із розвитком соціально-економічних чинників. Науковець зауважував також, що ноосфера відрізняється від біосфери величезною швидкістю розвитку.

Володимир Вернадський — це український філософ і природознавець, засновник геохімії, біогеохімії та радіогеології, вчення про біосферу та ноосферу. Ім'я вченого присвоєно багатьом академічним інститутам, кораблям, бібліотекам, зокрема Національній бібліотеці України. На пошану вченого названо два мінерали «вернадит» і «вернадскит», астероїд 2809 Вернадський та кратер на зворотній стороні Місяця, а Національний банк України випустив ювілейну монету (іл. 214). У 1996 році заснували українську антарктичну станцію «Академік Вернадський» (іл. 215). Він є одним із засновників Української академії наук та був її першим президентом. Цей видатний науковець писав у своєму щоденнику: «*Ви знаєте, як мені дорога Україна і як глибоко українське відродження проникає в мій національний і власний світогляд… Я вірю в майбутнє*».

Іл. 214. Ушанування пам'яті В. Вернадського



З 26 березня 2003 року Національний банк України увів в обіг ювілейну монету, присвячену 140-річчю вченого

Іл. 215. Українська антарктична станція «Академік Вернадський»



На станції проводяться наукові дослідження, у тому числі біологічні та медико-фізіологічні

1. Схарактеризуйте основні положення вчення про біосферу. **2.** Які речовини В. Вернадський виділяв у біосфері? **3.** Які основні положення вчення про ноосферу?

§ 54. Антропогенний вплив на біосферу



До якого типу екологічних чинників належить вплив діяльності людини?

Біосфера — це складна глобальна система, що включає організми та середовище їхнього існування: літосферу, гідросферу й атмосферу. Мільйони років природні процеси підтримували в ній динамічну рівновагу. Однак діяльність людства, або антропогенний (антропічний) вплив, стала потужною геологічною силою, що докорінно змінює обличчя планети. Цей вплив охоплює індустріалізацію, аграрну діяльність, транспорт, урбанізацію та видобуток ресурсів, що призводить до руйнування природних екосистем, скорочення біорізноманіття і порушення глобальних біогеохімічних циклів.

Види забруднення та їхні наслідки. Забруднення, тобто надходження до навколишнього середовища шкідливих речовин, енергії чи біологічних об'єктів, проявляється в різних формах.

Хімічне забруднення виникає через промислові та сільськогосподарські викиди, такі як важкі метали (свинець, ртуть), пестициди та нафтопродукти. Наприклад, використання пестицидів (іл. 216) не лише знищує шкідників, а й призводить до загибелі комах-запилювачів і накопичення токсинів у харчових ланцюгах. Альтернативою може бути біологічний контроль або використання генетично модифікованих культур, як-от Bt-кукурудза, що містить ген бактерії, що кодує токсин, отруйний для багатьох шкідників, але безпечний для більшості інших видів, включаючи людину.

Чинниками **фізичного забруднення** є шум, електромагнітне та радіаційне випромінювання, теплові викиди, надмірне штучне освітлення (іл. 217).

Іл. 216. Літак обробляє поле агрохімікатами



Іл. 217. Київ вночі, вид з космосу



Поясніть, як надмірне штучне освітлення може впливати на життєдіяльність рослин, що ростуть у великих містах.

Не менш небезпечним є **біологічне забруднення**, пов'язане з інвазіями — проникненням чужорідних видів, що витісняють місцеві. Яскравим прикладом в Україні є борщівник Сосновського (іл. 218), отруйна рослина, що пригнічує місцеву флору й викликає опіки шкіри.

Нарешті, існує **механічне забруднення** — накопичення твердих відходів, поміж яких особливу загрозу становить пластик (іл. 219). Він не лише спричиняє загибель морських тварин, а й розпадається на мікропластик — дрібні частинки, що накопичуються у воді, ґрунтах і потрапляють в організм людини крізь харчові ланцюги, потенційно шкодячи здоров'ю.

Вплив людини обумовило необхідність визначити поняття **якості довкілля** — сукупності показників стану повітря, водних ресурсів і ґрунтів, що визначає умови для здоров'я людини та функціонування екосистем.

Сучасні глобальні екологічні проблеми. Глобальні екологічні проблеми визначаються масштабом загроз існуванню біосфери. Можна назвати наступні:

1. Зміна клімату (глобальне потепління) через накопичення парникових газів (CO_2, метан), що спричинює танення льодовиків, підняття рівня Світового океану, збільшення частоти екстремальних погодних явищ (посух, ураганів, повеней).

2. Виснаження озонового шару, спричинене викидами фреонів. Це посилює шкідливе ультрафіолетове випромінювання.

3. Кислотні дощі, що виникають через викиди оксидів сірки та азоту. Вони руйнують екосистеми лісів, закислюють озера тощо.

4. Скорочення біорізноманіття внаслідок знищення природних екосистем, браконьєрства та забруднення території мешкання організмів.

5. Опустелювання та деградація ґрунтів через нераціональне сільське господарство та вирубку лісів.

Іл. 218. Борщівник Сосновського



Іл. 219. Забруднення планети пластиком





Поясніть, чому пластикові вироби становлять особливу небезпеку для екосистем? Як можна зменшити використання цих виробів?

Екологічні проблеми в Україні. На жаль, ситуація в нашій країні далека від ідеальної. Україна стикається з низкою довготривалих «традиційних» екологічних викликів. Промислові центри, такі як Кривий Ріг, Запоріжжя та Дніпро, потерпають від високого рівня забруднення повітря. Не менш гострою є проблема забруднення водойм: річки, зокрема Дніпро та Дністер, потерпають від скидів неочищених промислових і комунальних стоків, а також змиву з полів агрохімікатів, що спричиняє «цвітіння» води та погіршує її якість. Водночас найцінніший природний ресурс країни — її знамениті чорноземи — деградує через втрату гумусу внаслідок інтенсивного сільського господарства та ерозії.

Гостро стоїть і проблема відходів: сміттєзвалища переповнені, а рівень переробки залишається вкрай низьким. До цього додаються проблеми варварського використання природних ресурсів: незаконна вирубка лісів у Карпатах провокує руйнівні повені та ерозію ґрунтів (іл. 220), а нелегальний видобуток бурштину на Поліссі знищує унікальні екосистеми боліт, залишаючи по собі «місячні пейзажі».

Окремою довгостроковою загрозою залишаються наслідки аварії на Чорнобильській АЕС, що спричинила радіоактивне забруднення значних територій.

Повномасштабне вторгнення Росії 2022 року спричинило екологічну катастрофу, яку справедливо кваліфікують як *екоцид*. Одним із найжахливіших його проявів став підрив Каховської ГЕС у червні 2023 року — найбільша рукотворна катастрофа в Європі за останні десятиліття. Цей акт призвів до затоплення десятків населених пунктів, загибелі унікальних екосистем плавнів Нижнього Дніпра, опріснення Чорного моря та створив ризик перетворення осушеного водосховища на пустелю (чого, на щастя, не сталося) (іл. 221. Війна також призвела до колосального забруднення земель:

Іл. 220. Вирубування лісів у Карпатах



Іл. 221. Унаслідок підриву Каховської ГЕС повністю знищена популяція червонокнижного морського судака *Sander marinus*



Створіть просвітницький проєкт «Ліси: негативні наслідки зникнення, заходи збереження».

мільйони гектарів української землі вкриті вибуховими речовинами, важкими металами від снарядів і ракет, а також уламками військової техніки. Масштабне мінування територій робить їх небезпечними для життя та непридатними для господарювання на десятиліття вперед. Крім того, знищені міста та інфраструктура утворили мільйони тонн відходів руйнації, що містять небезпечні матеріали, як-от азбест та інші хімікати.

Величезної шкоди завдано й природоохоронним територіям — близько 20 % з них постраждали від бойових дій, а унікальні заповідники, зокрема «Асканія-Нова», опинилися під окупацією, що ставить під загрозу їхнє подальше існування.

Відновлення природи за відсутності людини: парадоксальні уроки. Часто головною екологічною проблемою є не стільки наслідки людської діяльності, скільки сама постійна присутність і тиск людини на екосистеми. Про це свідчать два унікальні приклади з України. Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, попри радіоактивне забруднення, перетворився на унікальний резерват дикої природи. За відсутності сільського господарства, полювання та іншого втручання, сюди повернулися рідкісні види тварин, як-от ведмеді, рисі, вовки та коні Пржевальського (іл. 222). Популяції тварин тут процвітають, демонструючи, що припинення антропогенного тиску може мати потужніший позитивний ефект, ніж негативний вплив радіації.

Інший вражаючий приклад — територія колишнього Каховського водосховища. Після його знищення внаслідок російського теракту, на осушеному дні почала відновлюватися історична екосистема Великого Лугу. На місці штучної водойми, що існувала понад 60 років, знову з'являються вербові ліси та лучна рослинність. Це демонструє неймовірну стійкість природи та її здатність до самовідновлення, щойно зникає створений людиною бар'єр.

Іл. 222. Приклади відновлення екосистем: а — коні Пржевальського у Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику; б — відновлення лісу на історичній території Великого Лугу



а



б

1. Що таке антропогенний вплив? **2.** Наведіть три приклади такого впливу з вашого повсякденного життя. **3.** Порівняйте хімічне та механічне забруднення. Яке з них, на вашу думку, є більш небезпечним у довгостроковій перспективі? **4.** Назвіть дві ключові екологічні проблеми, спричинені війною в Україні. **5.** Поясніть, чому руйнація Каховської ГЕС є прикладом екоциду.

§ 55. Сучасні напрями охорони природи



Як природа допомагає людині?

Біорізноманіття — це розмаїття життя на Землі на всіх його рівнях, від генів до екосистем. Однак сьогодні ми живемо в епоху безпрецедентної його втрати, яку вчені називають *шостим масовим вимиранням*. За даними Міжнародного союзу охорони природи (МСОП), з 1500 року документально підтверджено зникнення понад 900 видів (іл. 223). Проте науковці вважають цю цифру лише вершиною айсберга, а реальні темпи вимирання, спричинені діяльністю людини, за оцінками, у 100–1000 разів перевищують природний фон. Це означає, що біосфера втрачає види з катастрофічною швидкістю. Вона є не просто колекцією видів, а складною мережею взаємозв'язків, що лежить в основі стабільності всієї біосфери. Кожен вид, навіть найменший, відіграє унікальну роль, і втрата навіть однієї ланки може спричинити «ефект доміно», що призводить до деградації цілих екосистем.

Значення біорізноманіття. Воно полягає в «екосистемних послугах», які природа надає людству безкоштовно: від запилення рослин, що забезпечує врожаї, до регуляції клімату. Проте, крім цього, дика природа є безцінною «бібліотекою» унікальних біологічних рішень, що стають основою для революційних наукових відкриттів. Вивчення термостійких бактерій із гарячих джерел дозволило створити метод полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР). Унікальна кров мечохвостів є незамінною для перевірки вакцин на бактеріальне забруднення (іл. 224), а потужні знеболювальні препарати створені на основі токсинів

Іл. 223. Один із вимерлих видів



Дронт маврикійський (Додо) — нелітаючий птах, що був поширений на острові Маврикій. Мав близько метра в довжину й важив близько 20 кг. Уперше описаний голландською експедицією (1598 р.). До середини XVII століття птахи цього виду вже були знищені й через активне полювання, й через розорення гнізд завезеними на острів свиньми й собаками. Вимирання цього виду вперше спонукало до думки, що діяльність людини може викликати вимирання тварин.

Іл. 224. «Блакитна кров» мечохвостів допомагає надійно виявляти бактеріальні токсини



Підготуйте повідомлення про вимерлі види внаслідок діяльності людини.

морських молюсків-конусів. Ці приклади яскраво доводять, що охороняти потрібно не лише популярні види, як-от панди (іл. 225), а все біорізноманіття організмів.

Часто саме непомітні та «непривабливі» організми — бактерії, комахи, молюски — є джерелом унікальних біологічних рішень, втративши які, ми можемо назавжди позбутися ще не відкритих ліків та технологій.

Отже, збереження біорізноманіття — це не питання естетики чи жалю до видів, що зникають, а фундаментальна умова виживання людства, забезпечення продовольчої безпеки, чистого довкілля та стійкості планети до глобальних змін.

Сучасні напрями охорони природи та захисту навколишнього середовища. Усвідомлення глобальних загроз спонукало людство до розробки комплексних стратегій захисту довкілля. На світовому рівні ключовими напрямами є сталий розвиток та циркулярна економіка. Концепція сталого розвитку передбачає задоволення потреб нинішнього покоління без шкоди для можливостей майбутніх поколінь. Її практичним втіленням є перехід від лінійної моделі економіки («видобути — виробити — викинути») до циркулярної, що ґрунтується на принципах зменшення споживання, повторного використання та переробки ресурсів.

Важливими інструментами є розширення мережі природоохоронних територій (заповідників, національних парків) та створення екологічних коридорів, що сполучають їх і дозволяють тваринам вільно мігрувати. Новим прогресивним напрямом є «ревайлдинг» — відновлення дикої природи шляхом повернення в екосистеми зниклих видів (наприклад, зубрів), що запускає процеси саморегуляції (іл. 226). Глобальні кліматичні ініціативи, як-от Паризька угода, спрямовані на скорочення викидів парникових газів через перехід на відновлювані джерела енергії (сонячну, вітрову).

Іл. 225. Панда велика



Іл. 226. Пугач, випущений у дику природу в рамках ініціативи Rewilding Ukraine



Червона та Зелена книги. Одним із найвідоміших інструментів збереження видів є Червоні книги (або Червоні списки). Міжнародний Червоний список, який веде МСОП, є глобальним каталогом рідкісних і зникаючих видів.

Він класифікує види за ступенем загрози (наприклад, «вразливий», «зникаючий», «на межі зникнення»), що дозволяє урядам та природоохоронним організаціям пріоритезувати зусилля щодо їх збереження.

На національному рівні існує Червона книга України — державний документ, що містить перелік рідкісних і зникаючих видів тваринного й рослинного світу на території країни (іл. 227). Види, занесені до Червоної книги, охороняються законом: їхнє добування, збір та руйнування середовищ існування заборонені.

Україна має й унікальну природоохоронну ініціативу — Зелену книгу України. На відміну від Червоної, яка фокусується на окремих видах, Зелена книга охороняє цілісні рослинні угруповання. Це рідкісні та типові для певного регіону ліси, степові ділянки, болота, які потребують захисту як єдиний комплекс. Такий підхід є більш прогресивним, оскільки він спрямований на збереження не лише видів, а й середовищ їхнього існування та складних взаємозв'язків усередині екосистем.

Охорона природи в Україні. В Україні глобальні тренди поєднуються з унікальними викликами. Основою збереження біорізноманіття в країні є мережа територій та об'єктів Природно-заповідного фонду (ПЗФ), загальна площа якого становить понад 4 мільйони гектарів (близько 6,8 % території держави). Вона включає різні категорії об'єктів, серед яких найвищий охоронний статус мають біосферні заповідники, такі як Карпатський, Дунайський, Чорноморський, «Асканія-Нова» та Чорнобильський радіаційно-екологічний (іл. 228). Крім них, до ПЗФ належать природні заповідники, національні природні парки, де поєднуються

Іл. 227. Деякі рослини й тварини, унесені до Червоної книги України: а — підсніжник білосніжний; б — рись звичайна



а



б

Створіть пошуковий проєкт «Рослини й тварини Червоної книги моєї місцевості».

охорона природи та рекреація, а також регіональні ландшафтні парки, заказники, пам'ятки природи та заповідні урочища, що забезпечують охорону на локальному рівні.

Україна взяла курс на інтеграцію до **Європейського зеленого курсу**, що передбачає модернізацію промисловості та сільського господарства за екологічними стандартами ЄС. Водночас повномасштабне вторгнення Росії поставило перед Україною безпрецедентне завдання — повоєнне зелене відновлення. Йдеться не просто про відбудову, а про створення сучасної, енергоефективної та екологічно безпечної економіки на руїнах старої.

Приклади Чорнобиля та Великого Лугу показують, що природа має надзвичайну здатність до самовідновлення, якщо зменшити прямий антропогенний тиск. Тому ключовим завданням повоєнного відновлення стане не лише ліквідація наслідків екоциду, а й створення умов для відродження природи. Це вимагатиме колосальних ресурсів, новітніх технологій та міжнародної підтримки для відбудови чистого й безпечного довкілля для майбутніх поколінь.

Що може зробити кожен та кожна? Хоча глобальні та державні стратегії є вирішальними, доля біорізноманіття залежить і від вибору кожної людини. Усвідомлене споживання, зменшення відходів, відмова від одноразового пластику, підтримка місцевих та екологічно відповідальних виробників — усе це маленькі кроки з великим сукупним ефектом. Важливими є також участь у волонтерських екологічних акціях, поширення знань про важливість природи та вимога до влади проводити послідовну природоохоронну політику. Зрештою, збереження життя на Землі — це спільна відповідальність, що починається з особистої небайдужості.

Іл. 228. Дунайський біосферний заповідник — місце гніздування численних популяцій птахів



Запропонуйте дві прості дії, які ви можете почати робити вже сьогодні для збереження природи.

1. Що таке Природно-заповідний фонд (ПЗФ) України? **2.** У чому полягає відмінність між Червоною та Зеленою книгами України? **3.** Поясніть, чому збереження біорізноманіття є фундаментальною умовою виживання людства.

§ 56. Стратегія сталого розвитку людства



Поясніть поняття сталий розвиток

Нерозв'язаність екологічних проблем поставила людство на межу біосферної кризи, яка загрожує самому його існуванню. Наразі ми маємо складний вибір: або й далі жити, нехтуючи закони природи, або ж усвідомити відповідальність перед прийдешніми поколіннями людей за стан нашої планети.

Стратегія сталого розвитку природи й суспільства. Сучасне покоління стає безпосереднім учасником формування нового екологічного світогляду. Створення економічних і політичних умов для екологічно стабільного розвитку можливе лише на основі переорієнтації людської свідомості. Вочевидь, із глобальними проблемами неможливо впоратися, діючи роз'єднано, тому особливого значення набуває природоохоронна робота міжнародних організацій (іл. 229). У 1987 р. Міжнародна комісія ООН з навколишнього середовища й розвитку під головуванням експрем'єра Норвегії Ґру Гарлем Брундланд опублікувала звіт «Наше спільне майбутнє», у якому поняття сталого розвитку визначено як розвиток суспільства, що задовольняє потреби сьогодення, не приносячи при цьому в жертву здатності майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. Сталий (збалансований) розвиток означає використання ресурсів у такий спосіб, який дає змогу їм повністю відновитися, надаючи прийдешнім поколінням доступ до тих самих ресурсів, якими користуємося ми.

Конференція ООН з питань довкілля та розвитку, що проходила в Ріо-де-Жанейро в червні 1992 р., стала визначною подією. На ній були

Іл. 229. Міжнародні організації системи ООН



Організація Об'єднаних Націй. Штаб-квартира в Нью-Йорку, США

ЮНСЕД — Конференція ООН з навколишнього середовища й розвитку (United Nations Conference on Environment and Development).

Комісія ООН зі сталого розвитку (United Nations Commission on Sustainable Development).

ВООЗ — Всесвітня організація ООН з питань охорони здоров'я (World Health Organisation).

МСОП — Міжнародний союз охорони природи (International Union for Nature Conservation).

Примітка. Перелік організацій неповний

Емблема МСОП

Підготуйте повідомлення про діяльність міжнародних організацій системи ООН.

присутні глави 179 держав, представники багатьох країн, міжнародних і неурядових організацій.

На конференції було ухвалено всесвітню програму дій «Порядок денний на XXI століття», де сталий розвиток пов'язано з гармонійним досягненням таких цілей:

- висока якість навколишнього середовища й здорова економіка для всіх народів світу;
- задоволення потреб людей і збереження сталого розвитку протягом тривалого періоду.

У 2015 році на саміті ООН з питань сталого розвитку затверджено глобальні Цілі сталого розвитку (ЦСР) (іл. 230). За ініціативи Уряду України та за сприяння системи ООН в Україні протягом року тривав відкритий процес адаптації ЦСР до вітчизняного законодавства. Беручи до уваги принцип «нікого не залишити осторонь» і використовуючи широкий спектр інформаційних, статистичних та аналітичних матеріалів, було розроблено національну систему ЦСР. У 2017 році Уряд України представив Національну доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна», у якій подано результати адаптації 17 глобальних ЦСР з урахуванням специфіки національного розвитку, а саме 86 конкретних завдань і 172 показники для моніторингу їх виконання. Результатом цієї роботи має стати збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього середовища, захист життя і здоров'я населення від негативних впливів, зумовлених забрудненням навколишнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства й природи, охорона, раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Природокористування в контексті сталого розвитку. Економічна система загалом — система виробництва, розподілу та споживання товарів,

Іл. 230. Глобальні цілі сталого розвитку





Ознайомтеся з глобальними Цілями сталого розвитку.
Поясніть значення біологічних досліджень для досягнення глобальних Цілей сталого розвитку.

робіт і послуг. Будь-яке виробництво та споживання пов'язане зі зростаючим залученням природних ресурсів у сферу діяльності людства й супроводжується впливом на навколишнє середовище.

Обмежений ресурс — чисте навколишнє середовище — не враховується належним чином у традиційних економічних рішеннях.

Водночас вкрай загострилися екологічні проблеми, які з локальних перетворилися на національні та глобальні загрози. Дослідженням цих проблем, поряд із іншими, займається галузь знання, яка має велике прикладне значення, — природокористування. Природокористування як наука сформувалося відносно недавно (друга половина — остання третина XX століття), коли стало досить очевидним, що природні блага вичерпні, повинні мати економічну оцінку й не можуть розглядатися як безкоштовний дар природи. У ній широко використовуються дані природничих наук: біології, екології, географії тощо.

Природокористування — наука про можливості та напрями екологічно безпечного та невиснажливого використання ресурсів і властивостей природи для забезпечення сталого розвитку.

За сталого розвитку при плануванні господарської діяльності необхідно враховувати такі положення:

- темпи споживання природно-ресурсного потенціалу не повинні перебільшувати природних умов регенерації екосистеми;
- об'єми відходів виробничо-господарської та соціокультурної діяльності не повинні перебільшувати асиміляційні властивості біосфери;
- максимально заміщувати в споживанні невідновлювані ресурси відновлюваними (іл. 231);
- крім економічних результатів, значущими є соціально-екологічні наслідки;

Іл. 231. Будівництво вітряних і сонячних електростанцій



Підготуйте повідомлення про використання людиною відновлюваних ресурсів.

- у процесі необхідно виходити з інтересів як сучасних, так і майбутніх поколінь.

Об'єктом природокористування як науки є комплекс взаємовідносин між природними ресурсами, природними умовами життя людини та соціально-економічним розвитком суспільства, а предметом вивчення — пошук шляхів збереження природного середовища життєдіяльності людського суспільства.

Поняття про екологічне мислення. Для вирішення сучасних екологічних проблем важливе значення має екологічна свідомість, яка зумовлює здатність усвідомлювати сучасний екологічний стан і прогнозувати наслідки діяльності людства. Формування екологічної свідомості залежить від екологічної інформації, яка може забезпечувати різний ступінь екологічних знань, різну їх глибину залежно від індивідуальних властивостей і професійної належності. На базі екологічної свідомості формується екологічне мислення.

Екологічне мислення — один із етапів пізнання людиною природи, який передбачає усвідомлення особистістю об'єктивної реальності навколишнього світу, своїх дій і способу життя з метою зведення до мінімуму або уникнення екологічних проблем.

Однією з характеристик екологічного мислення людини є занепокоєння станом навколишнього середовища та здатність визначати джерело екологічної небезпеки. Також важливим є визнання здорового й безпечного навколишнього середовища суспільною цінністю. Але визначальним у характеристиці екологічного мислення є формування в людини готовності до дій, усвідомлення необхідності особистої участі в колективних діях зі збереження довкілля (іл. 232).

Іл. 232. Створення плакатів — один із засобів інформування



Створіть разом з однокласниками й однокласницями проєкт соціально-екологічної акції своєї школи.

1. Дайте означення понять *сталий розвиток природи й суспільства, екологічне мислення.* **2.** Перелічіть глобальні Цілі сталого розвитку. **3.** Оцініть важливість біологічних знань для розвитку людства. **4.** Поясніть значення природокористування як галузі знань людства. **5.** Висловіть судження про значення формування екологічного мислення.

ПРАКТИЧНА РОБОТА

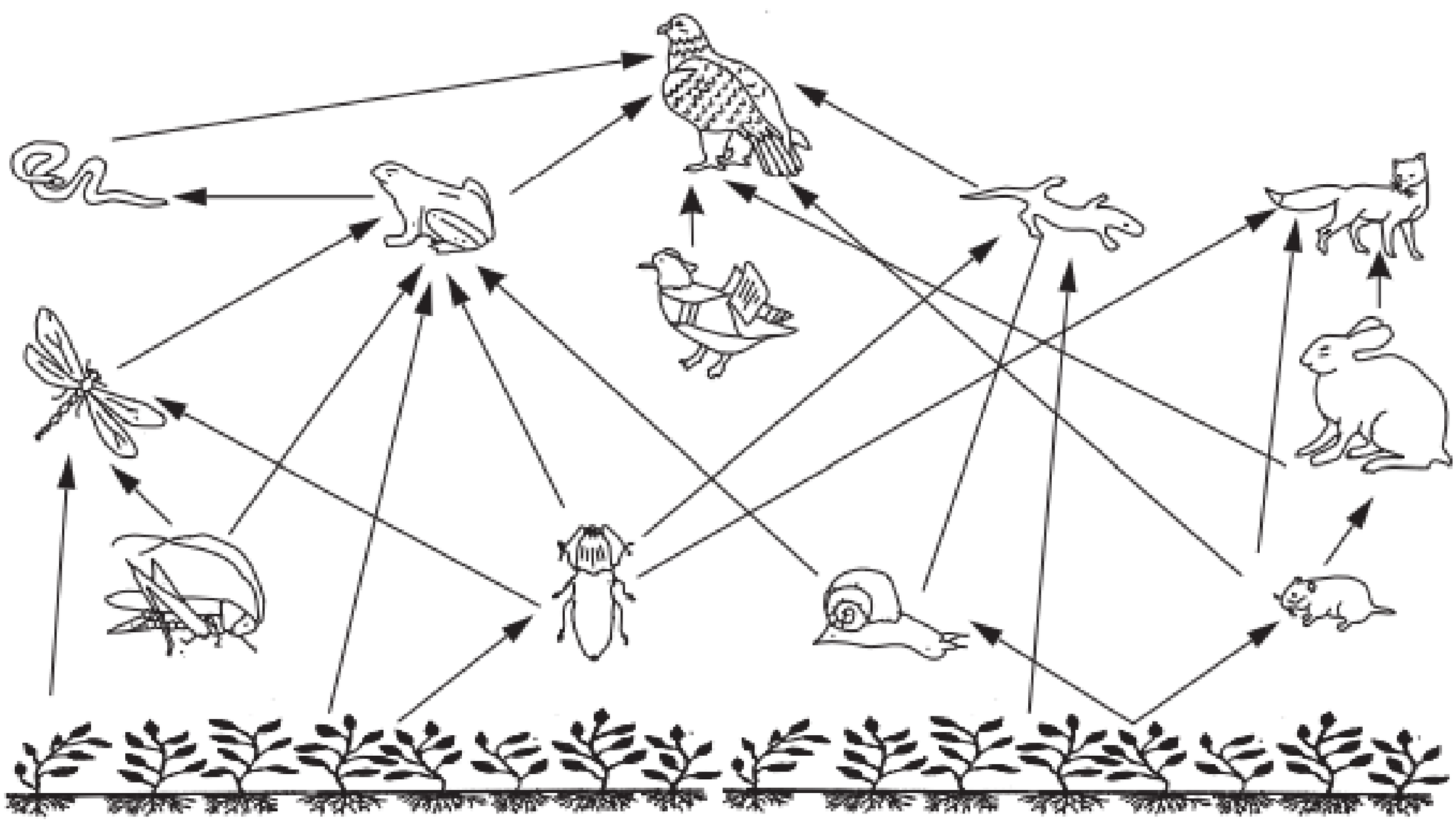
Складання різних типів трофічних ланцюгів

Мета: закріпити знання про трофічні ланцюги різних типів; навчитися складати трофічні ланцюги.

1. Розгляньте зображення організмів або їх частин.
2. З'ясуйте харчову базу зображених тварин за допомогою інтернет-джерел.
3. Складіть трофічні ланцюги, ланками яких можуть бути зображені організми. Поміркуйте, які трофічні рівні займають ці організми в екосистемі.



4. Проаналізуйте ланцюги живлення на наведеній нижче ілюстрації трофічної сітки. Знайдіть помилки художника.



Аналізуємо інформацію, робимо висновки

Ознайомтеся з інформацією та виконайте завдання

Корабельний черв'як

«За часів активного використання дерев'яних кораблів значну небезпеку для них становив організм під назвою корабельний черв'як. Це витягнутої форми тварина, що живиться деревиною, висвердлюючи в ній ходи та наносячи шкоду дерев'яним конструкціям. Тіло корабельних черв'яків зовні вкрито складкою покривів, яка формує порожнину. Крізь два отвори — ввідний та вивідний сифони — усередину цієї порожнини засмоктується та виводиться назад вода. Її потік постачає організм як киснем, що поглинається зябрами, так і їжею, яку черв'як відфільтровує з води. Корабельні черв'яки бурять ходи за допомогою невеликої двостулкової мушлі з кальцій карбонату, розташованої на передньому кінці тіла. Частина цих стулок укрита гострими зубцями, за допомогою яких тварина й вгризається в товщу деревини. Заглиблюючись, корабельний черв'як залишає на стінках ходу захисний вапняний шар.

Таке пристосування надихнуло в XIX ст. інженера Марка Брюнеля на створення прохідницького щита — машини для риття тунелів у нестійких ґрунтах. За допомогою щита в 1824–1843 роках за проєктом Брюнеля був побудований тунель під Темзою в Лондоні.

Корабельні черви мешкають у морях із достатнім рівнем солоності. Саме через активність



Корабельний черв'як
і зроблений ним хід



Сучасний прохідницький щит
на будівництві київського метрополітену



Музей корабля «Ваза»,
м. Стокгольм, Швеція.
Корабель на 98 %складається
з оригінальних частин

таких тварин підводним археологам рідко вдається знайти неушкоджені кістяки затонулих дерев'яних кораблів. Цікаво, що найліпше збережений корабель шведського військового флоту «Ваза», який затонув у 1628 році та був піднятий з дна Балтійського моря через 300 років, майже повністю зберігся через відсутність у цьому регіоні корабельних черв'яків. Причиною цього є низька солоність моря, зумовлена прісною водою річок, що в нього впадають.

Завдання 1. Проаналізуйте опис корабельного черв'яка. До якої групи належить ця тварина?

А кишковопорожнинні
Б кільчасті черви
В членистоногі
Г молюски

Завдання 2. Застосування Марком Брюнелем знання про будову й життєдіяльність корабельного черв'яка для конструювання прохідницького щита є прикладом

А біоніки
Б біофізики
В біотехнології
Г біоінформатики

Завдання 3. Описаний екологічний чинник, що обмежує поширення корабельних черв'яків, належить до групи

А біотичних
Б абіотичних
В соціальних
Г антропогенних

Аналізуємо інформацію, робимо висновки

Прочитайте уривок із роману українського письменника Майка Йогансена «Подорож ученого доктора Леонардо...» та дайте відповіді на тестові завдання.

Подорож Слобожанською Швайцарією

«Леонардо покинув весла й випростався в човні. Вони в'їздили в Слобожанську Швайцарію. За ними відпливала сіть озір і колін, Кривець розвивався в Дінчик і йшов у велике плесо під Задонецьким хутором, ліворуч попереду лежало, як колосальне дзеркало, Біле озеро. А просто попереду вогким подихом віяла озія темних лісових гір, ховаючи під кучмою ще не знаний підгірний Дінець. [...] Подивись, наш човен впливає за тринадцятий поворот, і враз змінюється весь ляндшафт, неначе на сцені включили лісові лямпи замість степових. [...] Явори й дуби зійшли до темної ріки й закрили її риззям своїх рукавів. Човен минає останню затоку, і з лівого берега підійшли осокори. Важка хмара причалила над велику ріку і спустила над ліс якорі. [...] Ти бачиш: у лісі спокійно й тихо. Вовки сплять у своїх лігвах далеко від ріки і вночі прийдуть пити воду. Людей нема, але дикі кози теж зайшли в саму глиб лісу. [...]

Ти давно чуєш, як межи водяві дерев'яні трелі втручається вищий, чистіший, довший тон. Це друга флейта, флейта-піколо Слобожанської Швайцарії. Ти можеш бачити, який піколо грає на цю флейту. [...] Це золотава щурка, як кажуть, єдиний залишок колишньої тропічної фавни, ще перед великою мандрою льодових полюсів Землі. Дядьки називають цього птаха бджолоїдом, бо він полює залюбки на бджіл. А от над річкою шугнув куди яскравіший самоцвіт — він сидів на очеретині, коли його сполохав наш човен. Це королик-рибалка, так звуть його англійці, а в нас він називається синьовуд.



Бджолоїдка звичайна

І от що далі вглиб лісу запливає човен, то густіші й багатші стають звуки. До дерев'яних дзвоників і золотавих щурок долучається металевий тимпан, гострий і прикрий — це кричить чапля. Мов кларнетові півники в оркестрі, вистрибують дикі високі вигуки, це клехчуть яструби й соколи. І під усім тим, мов вечірній дзюркіт цвіркунів, розстелилася сіть голосів дрібного співочого птаства».

Завдання 1. Яку екосистему описано в уривку?

А тайга
Б савани
В лісостеп
Г мусонні ліси

Завдання 2. Яке з поданих тверджень можна сформулювати на основі аналізування наведеної інформації?

А Деякі описані в уривку організми належать до групи редуцентів.
Б Поміж хордових тварин в описаній екосистемі наведено лише птахів.
В Явори, дуби, осокори в описаній екосистемі належать до групи консументів.
Г Золотава щурка може займати в описаній екосистемі третій трофічний рівень.

Аналізуємо інформацію, робимо висновки

Ознайомтеся з інформацією та дайте відповіді на тестові завдання.

Мурахи й комахоїдна рослина



«Біологи описали цікавий приклад симбіотичних відносин між мурахами Camponotus schmitzi, що мешкають на Калімантані, і комахоїдними рослинами непентесами (Nepenthes bicalcarata). Непентес мешкає на бідних поживними речовинами торф'яних болотах і змушений отримувати Нітроген та інші елементи від комах, що падають у своєрідний глечик (ловчий апарат) із травними ферментами. Виявляється, що в цьому рослині допомагають інші комахи — мурахи. Учені порівняли непентеси, заселені й не заселені мурашиними колоніями. З'ясувалося, що в тих рослинах, які позбавлені сусідів-мурашок, вміст Нітрогену в листках був майже втричі менший, ніж у заселених колоніями. Фактично, рослини, позбавлені допомоги сусідів, постійно перебували в стані нітратного голодування й не могли повноцінно розвиватися. Мурахи доглядали за непентесами: очищали краї глечика, щоб вони завжди залишалися гладенькими, видаляли з глечика занадто велику неперетравлену здобич і навіть проганяли довгоносиків, які намагалися поласувати пагонами рослини. Але найголовніша послуга з боку мурах для квітки полягала в тому, що комахи залишали свої продукти життєдіяльності рослині й, таким чином, підгодовували її. Більшу частину Нітрогену, як показав ізотопний аналіз, непентес отримував саме від мурашок. Рослина ж надавала мурахам спеціалізовані пагони, у яких вони влаштовували свої помешкання. Крім того, комахи живилися нектаром непентеса».

Завдання 1. Нестача Нітрогену в організмі може призводити в першу чергу до порушення синтезу

А білків
Б ліпідів
В моносахаридів
Г полісахаридів

Завдання 2. Як непентес додатково отримує Нітроген?

А перетравлюючи мурашок, які потрапляють у ловчий апарат рослини
Б унаслідок симбіотичних відносин із нітрифікувальними бактеріями
В із ґрунту торф'яних боліт, багатих поживними речовинами
Г використовуючи продукти життєдіяльності мурашок

Завдання 3. Учень та учениця обговорювали наведену інформацію. Учень зазначив, що взаємовідносини між мурахами й непентесами є взаємовигідними. Учениця зауважила, що сусіди-мурахи підвищують вміст Нітрогену в листках рослини втричі. Чи має хтось із них рацію?

А лише учень
Б лише учениця
В обоє мають рацію
Г обоє помиляються

Самоконтроль рівня навчальних досягнень

Тестові завдання з однією відповіддю (0,5 бала)

1. Дослідники виявили, що популяція зайців зменшилася внаслідок безпосереднього впливу біотичного чинника.
   Таким чинником може бути
   А зменшення кількості опадів
   Б зниження температури повітря
   В збільшення популяції вовків
   Г знищення рослин лісу людиною
2. Яка видозміна листків є пристосуванням рослини до життя в посушливих умовах?
   А вуса суниць
   Б вусики гороху
   В колючки кактуса
   Г ловчі листки росички
3. До продуцентів належить
   А жаба зелена
   Б ялина зелена
   В коник зелений
   Г сироїжка зелена
4. Виберіть зображення організму, який розкладає органічні рештки.

А



Б



В



Г



5. Унаслідок якого процесу кисень повертається в атмосферу?
   А гліколізу
   Б транспірації
   В хемосинтезу
   Г фотосинтезу
6. Виберіть правильне твердження щодо зображеного на монеті заповідника.
   А Ця природоохоронна територія має статус природного заповідника.
   Б На території заповідника охороняються рідкісні гірські рослини.
   В У заповіднику забезпечується охорона видів морських тварин.
   Г Зображений заповідник є найстарішим на території України.

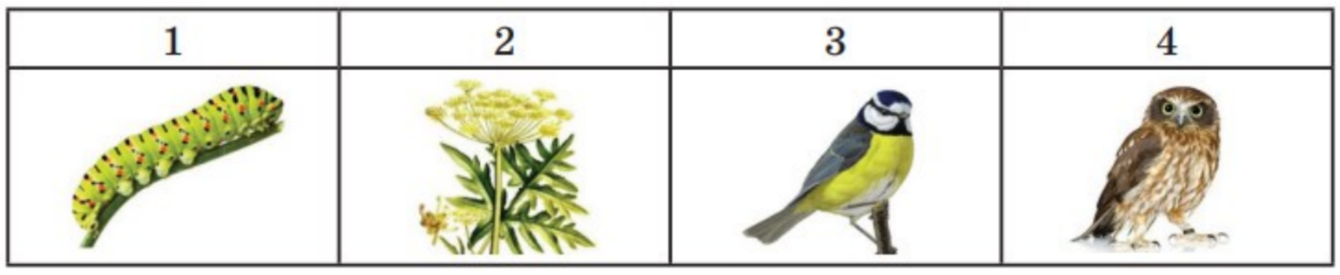


Тестові завдання з однією відповіддю (1 бал)

7. Яка зміна обумовлена впливом біотичного чинника середовища?
   А листопад восени в букових лісах Карпат
   Б заміна одних видів рослин на інші під час заболочення ставка
   В зменшення врожайності яблуні внаслідок збільшення популяції хрущів
   Г зникнення лишайників на забрудненій викидами підприємства території

8. У якому рядку наведено правильну послідовність ланок трофічного ланцюга, який становлять зображені організми?

А 1 → 2 → 3 → 4
Б 2 → 1 → 3 → 4
И 2 → 3 → 1 → 4
Г 4 → 3 → 2 → 1



9. Організми, які перебувають у мутуалістичних взаємозв'язках, наведено в рядку

А ховрах степовий — миша польова
Б ціп'як бичачий — корова свійська
В павук-хрестовик — бджола медоносна
Г підберезник твердуватий — береза повисла

Тестові завдання з однією відповіддю (1,5 бала)

10. На уроці біології два учні обговорювали трофічні зв'язки між організмами в пасовищному ланцюгу живлення. Перший учень зазначив, що на другому трофічному рівні перебувають рослиноїдні тварини. Другий учень стверджував, що перший трофічний рівень займають хижаки.
Чи має хтось із них рацію?

А лише перший учень
Б лише другий учень
В обидва мають рацію
Г обидва помиляються

11. Проаналізуйте твердження щодо загальних ознак пристосованості зображених тварин до водного середовища.

I. Обидві тварини дихають розчиненим у воді киснем за допомогою зябер.
II. Шкіра обох тварин захищена лускою.





Чи є поміж них правильні?

А правильне лише I
Б правильне лише II
В обидва правильні
Г немає правильних

Тестове завдання з однією відповіддю у кожному стовпчику (3 бали)



12. Розгляньте зображення організмів, які взаємодіють між собою. Доберіть продовження наведених речень.

Зображена тварина належить до	*Ця тварина займає в пасовищному трофічному ланцюгу*	*Взаємозв'язок зображених організмів може слугувати прикладом*
1 продуцентів	1 перший трофічний рівень	1 хижацтва
2 консументів	2 другий трофічний рівень	2 мутуалізму
3 редуцентів	3 третій трофічний рівень	3 паразитизму

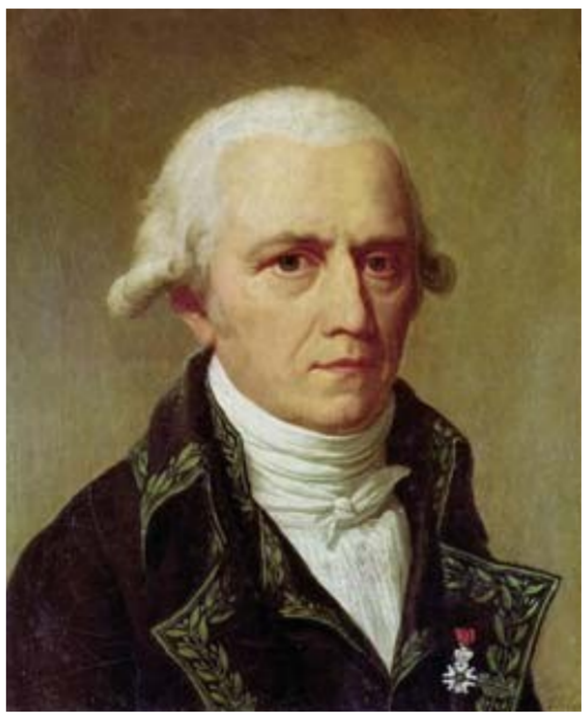
ТЕМА 7 ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

З історії відкриттів

Мислителі давнини у своїх філософських працях намагалися дати відповідь на запитання, яке завжди цікавило людство: «Звідки походить усе живе навколо?»

Вагомий внесок у розвиток поглядів на живий світ зробили праці давньогрецьких філософів. *Геракліт Ефеський* (535–475 рр. до н. е.) уважав, що світ вічний і єдиний, у ньому все змінюється і нічого не повторюється. Думку про зародження життя з неживої природи під дією сонячного проміння висловлював *Демокріт* (460–370 рр. до н. е.). У філософській поемі «Про природу речей» давньоримський поет і філософ *Тіт Лукрецій Кар* (99–55 рр. до н. е.) висловлював ідею, що виживають і дають потомство лише найбільш пристосовані істоти.

Першою науковою спробою пояснити історичний розвиток живої природи була еволюційна теорія французького природодослідника *Жана Батіста Ламарка*, яку він виклав у праці «Філософія зоології» (1809). Учений розглядав еволюцію як безперервний процес набуття організмами корисних пристосувань, що їх успадковують нащадки. Еволюція відбувається як низка послідовних змін у будові організмів, що спричинює їхній перехід від нижчих сходинок організації до вищих (учений називав їх градаціями). Нижчі сходинки — бактерії та інші мікроорганізми, вищі — ссавці й людина. Ж. Б. Ламарк уважав, що всі організми мають внутрішнє вроджене прагнення до прогресу, завдяки чому вони з покоління в покоління самовдосконалюються, тобто піднімаються на вищі щаблі організації.



Ж. Б. Ламарк (1744–1829)

На думку Ж. Б. Ламарка, організм удосконалюється також за допомогою тренування. Він наводив такий приклад: жирафа почала живитися листям дерев, тож весь час витягувала шию, унаслідок чого шия в неї видовжилася, і цю набуту ознаку успадкували нащадки. Ж. Б. Ламарк першим зазначив, що умови існування впливають на формування ознак організму.

Ідеї Ж. Б. Ламарка, незважаючи на недосконалість з погляду сучасності, були кроком уперед до розуміння процесів еволюції. Із подальшими відкриттями ви ознайомитеся в параграфах цієї теми.

§ 57. Еволюція та її докази. Відкриття Ч. Дарвіна



Які відкриття в біології було зроблено в XIX ст.?

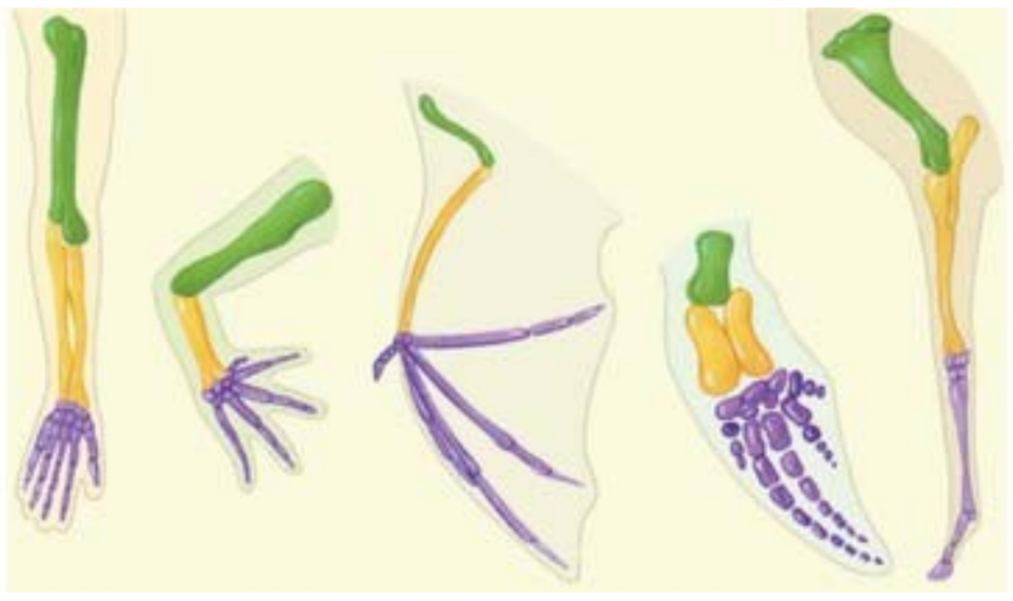
Кінець XVIII – перша половина XIX ст. позначилися в біології чималими фундаментальними відкриттями: розробленням клітинної теорії, доведенням подібності індивідуального розвитку різних видів, першими кроками до вивчення фотосинтезу, фізіологічних процесів у тварин, закладенням основ біохімії. У палеонтології, яка вивчає скам'янілості, відбитки вимерлих форм організмів, накопичується все більше доказів поступових змін органічного світу. Із часом сформувалася думка про еволюцію як історичний розвиток органічного світу.

Еволюція (від лат. *еволютіо* — розгортання) — це процес незворотних змін будови та функцій організмів протягом їхнього історичного існування, наслідком якого є пристосованість (адаптація) живого до умов навколишнього середовища.

Докази еволюції. Унаслідок біологічних досліджень накопичуються факти, що слугують доказами еволюційного процесу. Виокремлюють такі групи доказів: порівняльно-анатомічні, ембріологічні, палеонтологічні, біогеографічні.

Порівняльно-анатомічні докази. Велику роль відіграло встановлення гомології органів. ***Гомологічні органи*** мають подібну будову та спільне походження, але можуть виконувати різні функції, як, наприклад, будова кінцівок хребетних (іл. 233). Гомологічними органами рослин є, наприклад, видозміни пагона (іл. 234). ***Аналогічні органи*** — органи, що мають різні походження та будову, але виконують однакові

Іл. 233. Будова передніх кінцівок хребетних: а — людини; б — амфібії; в — кажана; г — кита; д — коня



а б в г д

Іл. 234. Видозміни пагона: а — цибулина цибулі; б — вуса суниці



а б



Доведіть, що зображені видозміни є гомологічними органами.

функції. Аналогічними органами тварин є крило метелика та крило птаха, а в рослин — колючки барбарису (видозмінені листки) та колючки глоду (видозмінені пагони).

Для доведення факту еволюції мають значення ***атавізми*** — наявність в окремих організмів ознак, що існували у віддалених предків, але в процесі еволюції їх було втрачено. Наприклад, поява бічних пальців у коней, хвостовий придаток і густий волосяний покрив усього тіла в людини.

Рудиментами називаються органи, що втратили свою основну функцію, але зберігаються в дорослих організмах у зачатковому стані. Рудиментарними, наприклад, є залишки тазових кісток у безногої ящірки жовтопуза й китоподібних. Вони слугують доказом походження цих тварин від предків із розвиненими кінцівками.

Порівняння будови сучасних організмів допомагають відтворювати шляхи еволюції груп організмів. Наприклад, поміж сучасних ссавців існує група першозвірів, які розмножуються, відкладаючи яйця (качкодзьоб, єхидна). Це свідчить про спорідненість ссавців із рептиліями й доводить, що еволюція ссавців починалася від тварин, які відкладали яйця.

Ембріологічні докази. Установлено, що ембріони різних тварин більш подібні між собою, ніж дорослі форми. Порівняння зародків усіх класів хребетних свідчить про значну їхню подібність на ранніх стадіях розвитку. Це підтверджує спорідненість усіх хордових.

Палеонтологічні докази. На сьогодні геологічну історію Землі вивчено досить детально. Відомо, що в найдавніших шарах виявляють рештки різних типів безхребетних, і лише в пізніших знаходять залишки хребетних (іл. 235). З'ясовано, що чим молодші шари, тим рештки рослин і тварин ближчі до сучасних. Одним із найяскравіших прикладів «перехідної форми»

Іл. 235. Палеонтологічні знахідки



Скам'янілий трилобіт, 485–443 млн років тому



Амоніт, 100–94млн років тому



Скелет мамонта, 2 млн – 9 тис. років тому. Національний науково-природничий музей НАН України, Київ

є вимерла тварина Tiktaalik. Вона мала рибоподібну форму, вела мілководний спосіб життя, дихала повітрям, подібно до амфібій, і рухалася, спираючись на кінцівки суглобової будови.

Еволюційна теорія Ч. Дарвіна. Чимало доказів еволюційного процесу були вже відомі англійському природодослідникові Чарльзу Роберту Дарвіну. Їх осмислення зумовило створення вченим еволюційної теорії. Він уважав, що саме палеонтологія, яка вивчає викопні рештки давніх мешканців Землі, має найвагоміші докази на користь еволюції. Основні положення теорії він виклав у праці «Походження видів шляхом природного добору, або Збереження сприятливих порід у боротьбі за життя» (1859). Першого ж дня було розкуплено весь величезний на той час наклад — 1 250 примірників. Після виходу цієї праці порівняльна анатомія зробила значний внесок у розвиток дарвінізму.

Появі монографії передували майже 30 років наукових пошуків. У 1831 р. Ч. Дарвіну запропонували здійснити п'ятирічну подорож навколо світу в якості натураліста на експедиційному судні королівського флоту «Бігль». Подорож мала значний вплив на формування наукового світогляду молодого вченого: він піднявся на корабель прибічником ідеї незмінності живої природи, а повернувшись додому, був упевнений, що види змінюються. У Південній Америці він знайшов викопні залишки гігантських лінивців і панцерників, що були подібні із сучасними видами, які жили там. На Галапагоських островах Дарвін вивчав різноманітні види в'юрків, які різнилися з материковими розмірами й будовою дзьоба, проте були схожі на них (іл. 236).

Опис і порівняння будови організмів, аналіз спостережень дали змогу вченому пояснити причини еволюції й визначити її рушійні сили. Він уважав, що всі сучасні види є нащадками вимерлих предкових форм.

Іл. 236. Чарльз Роберт Дарвін — видатний природодослідник

Чарльз Роберт Дарвін
(1809–1882)

Ч. Дарвін писав: « *… Мій успіх, як людини науки, є результатом наявності складних і різноманітних рис та умов, найважливішими з яких були: любов до науки, безмежне терпіння, завзятість у спостереженні й збиранні фактів і чимала частка винахідливості й здорового глузду…*».

Проаналізуйте висловлювання вченого. Які риси характеру та умови можуть стати вам у нагоді в подальшому житті?

Поява нових видів відбувається на основі випадкових змін, що виникають у кожному організмі індивідуально, передаються в спадок і не мають пристосувального характеру, тобто матеріал для еволюції — це наслідки *спадкової мінливості*.

Учений наводив приклади різноманітних взаємовідносин між організмами та організмів із умовами неживої природи, які назвав *боротьбою за існування* (іл. 237). Потрапляючи в ці складні взаємовідносини, одні організми виживають, а інші — гинуть. Чому ж не всі мають шанс вижити? У природі існує протиріччя між здатністю організмів до необмеженого розмноження та обмеженістю ресурсів середовища існування (їжа, територія тощо). Унаслідок боротьби за існування виживають організми, які краще пристосовані до умов навколишнього середовища. Цей процес Ч. Дарвін назвав природним добором.

Процес виживання організмів певного виду, найбільш пристосованих до умов існування, називається **природним добором.**

Умови на планеті змінювалися, а тому переваг набували організми, зміни в будові яких найбільшою мірою сприяли пристосуванню до умов навколишнього середовища. Чарлз Дарвін писав: «Природний добір діє лише шляхом збереження і нагромадження малих спадкових змін, кожна з яких вигідна для істоти, що зберігається». Спадкові зміни поширювалися в ряді поколінь і приводили до змін будови й процесів життєдіяльності групи особин. Учений дійшов висновку, що природний добір відбувається на основі спадкової мінливості внаслідок боротьби за існування, а результат цього — поява нових видів. Через те саме природний добір він уважав **рушійною силою еволюції**. Надалі природодослідники вивчили вплив інших чинників, які назвали елементарними чинниками еволюції. Про їхній вплив на еволюційний процес ви дізнаєтеся в наступному параграфі.

Іл. 237. Форми боротьби за існування: а — внутрішньовидова, б — міжвидова, в — взаємодія з чинниками неживої природи



Турнірні бої самців



Полювання хижака



Риба пливе на нерест проти течії



1. Дайте означення понять *еволюція*, *природний добір*. **2.** Які факти можуть слугувати доказами еволюції? **3.** Як ви розумієте поняття боротьби за існування? **4.** Поясніть погляди Чарльза Дарвіна на еволюційний процес.

§ 58. Популяція як елементарна одиниця еволюції



Що таке біологічний вид?

Чарльз Дарвін у своїй праці пов'язував дію природного добору, як правило, з окремою особиною виду. Проте дослідження, проведені вже в XX ст., засвідчили, що сповна зрозуміти дію природного добору можна лише зважаючи на процеси, які відбуваються в групах організмів.

Поняття популяції. Біологічний вид у процесі свого історичного розвитку пристосовується до певних умов існування, що визначає межі його поширення (*ареал*). У межах поширення виду його особини живуть сукупностями — популяціями. Наявність популяцій у природі пов'язана з неоднорідністю умов існування на території, що її займає вид. Чим різноманітнішими є умови існування в ареалі виду, тим більшою є кількість популяцій, із яких він складається.

Популяція — сукупність особин виду, яка займає частину території його поширення та ізольована від інших подібних сукупностей цього виду.

Часто особини однієї популяції більше схожі між собою порівняно з представниками інших популяцій, оскільки всередині популяції схрещування відбувається значно частіше (іл. 238).

Показники популяції. Популяцію характеризують такі показники: чисельність, щільність, народжуваність, смертність, приріст тощо. Чисельність — це кількість особин, які входять до складу популяції, щільність — це середня кількість особин, що припадає на одиницю площі або об'єму (для мешканців водного середовища) території, яку вони займають. Народжуваність — кількість особин популяції, які

Іл. 238. Особини різних популяцій виду Вивірка звичайна





Підготуйте повідомлення (презентацію) про приклади популяцій виду (на прикладі 2–3 видів).

народжуються за одиницю часу, смертність — кількість особин, які гинуть за цей самий час. Різниця між народжуваністю і смертністю становить приріст популяції.

Важливими показниками популяції є співвідношення особин різної статі, розподіл особин за віковими групами та розподіл особин популяцій на території.

Розвиток генетики дав змогу вивчати закономірності процесів успадкування ознак, що відбуваються в популяції. Сукупність генотипів усіх особин, що входять до популяції, становить її **генофонд.** Генофонд із великою кількістю різних варіантів окремих генів є запорукою кращого пристосування потомства до мінливого навколишнього середовища. Окремі особини популяції не мають власної еволюційної «долі», бо всі еволюційні події відбуваються під час зміни поколінь. Тому вчені розглядають ***популяцію як елементарну одиницю еволюції***.

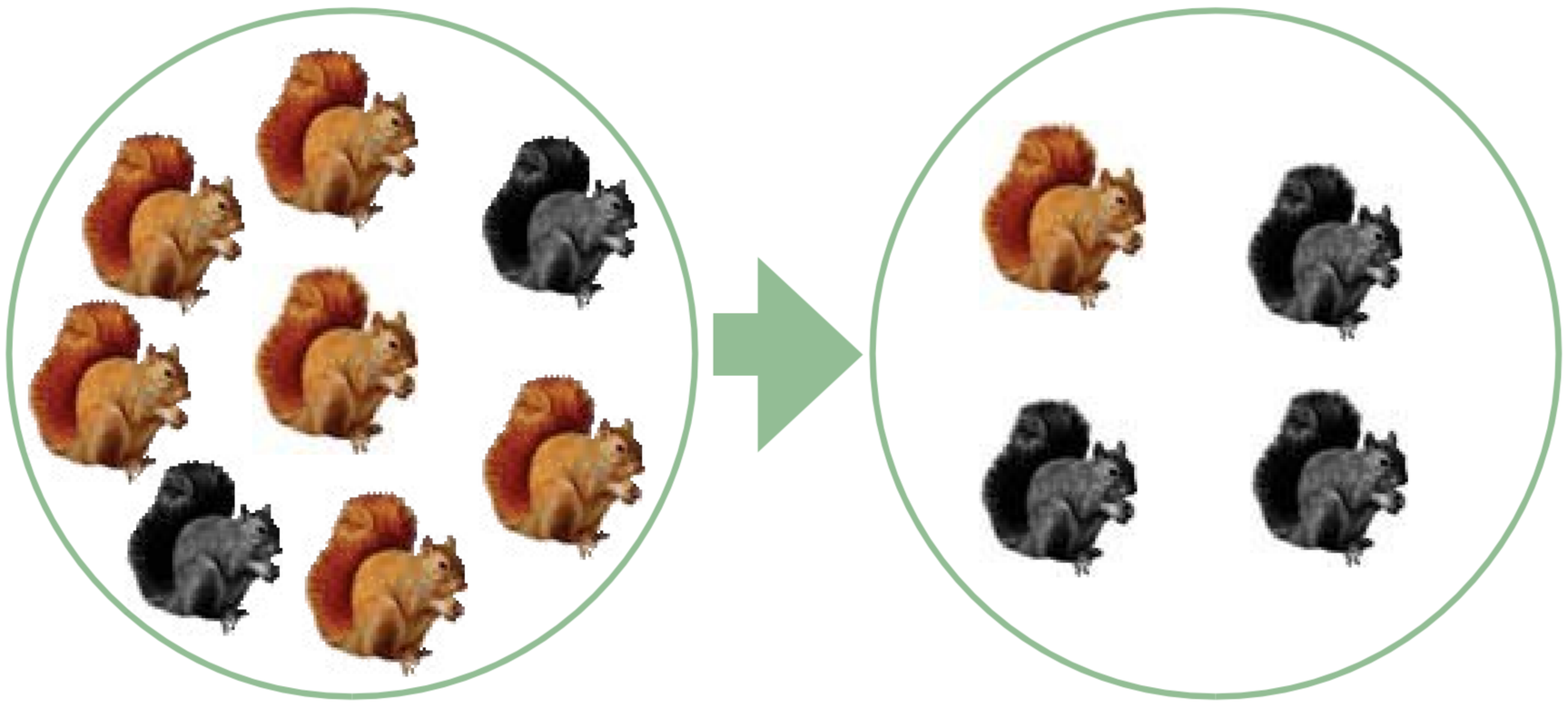
Елементарні чинники еволюції. На еволюційні процеси, що відбуваються в популяціях, крім природного добору, впливають ***елементарні чинники еволюції*** — популяційні хвилі, дрейф генів та ізоляція.

Популяційні хвилі — це періодичні або неперіодичні коливання чисельності популяцій у природних умовах.

Коливання чисельності популяції можуть бути генетично зумовленими, наприклад сезонні коливання чисельності комах, однорічних рослин, а також наслідком дії екологічних чинників: умов зимівлі, забезпеченості їжею, зміни чисельності популяції хижаків, стихійних лих (повеней, пожеж, землетрусів) (іл. 239).

Унаслідок зменшення або збільшення чисельності особин частота зустрічальності тих чи інших алелів у генофонді популяції може змінюватися. Наприклад, зменшення кількості їжі неврожайного року спричиняє

Іл. 239. Зміни частоти зустрічальності алелів унаслідок популяційних хвиль



Поясніть еволюційне значення популяційних хвиль.

зменшення чисельності популяції вивірки, що може випадковим чином призвести до зміни частоти зустрічальності алелів, які визначають забарвлення хутра (іл. 239).

Тож популяційні хвилі є передумовою зміни генофонду популяції, а отже, елементарним чинником еволюції. Такі випадкові зміни генофонду популяції називаються дрейфом генів і також є елементарним чинником еволюції.

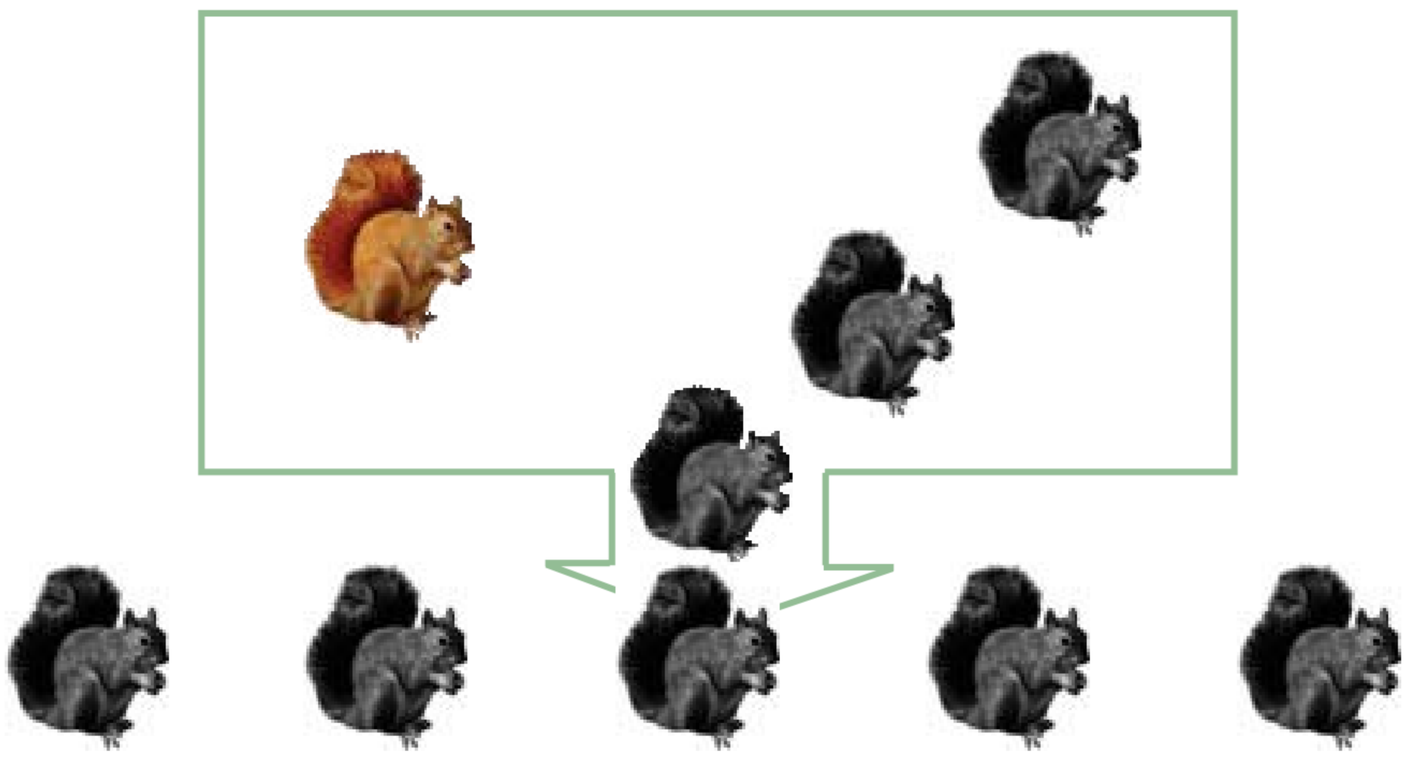
Дрейф генів — випадкові, ненапрямлені зміни частот зустрічальності алелів у популяції.

У невеликих популяціях загибель особин, які є єдиними носіями певного алеля, спричиняє його зникнення з генофонду популяції. Водночас так само як певний алель випадково може зникнути, інший унікальний алель випадково може закріпитися.

Нагадаємо, що в невеликій популяції частіше відбуваються близькоспоріднені схрещування, а тому деякі алелі можуть зовсім зникнути, а інші, навпаки, стати переважаючими. Проілюструємо вплив дрейфу генів на процес виникнення нового виду на такому прикладі: через пожежу в лісі, що його населяла невелика популяція вивірки, випадково вижили переважно особини, які мали сіре хутро. Унаслідок близькоспоріднених схрещувань алель сірого забарвлення хутра став переважаючим, що призвело до зміни генофонду популяції. Це, своєю чергою, може спричинити вимирання популяції в разі зниження пристосованості до умов навколишнього середовища або, навпаки, збільшити пристосованість популяції до середовища, і з такої популяції внаслідок дії природного добору утвориться новий вид (іл. 240).

Ізоляція — виникнення будь-яких бар'єрів, що внеможливлюють схрещування між особинами одного виду.

Іл. 240. Утворення нового виду внаслідок дії дрейфу генів



Поясніть значення дрейфу генів як еволюційного чинника.

Екологічна ізоляція відбувається, якщо всередині популяції виникають певні групи, кожна з яких має відмінні від інших вимоги до умов середовища існування. Часто виникають внутрішньовидові групи тварин, які різняться вподобаннями їжі. Наприклад, одні раси жука горохової зернівки живляться насінням гороху, інші — насінням квасолі. У період розмноження ці групи між собою не контактують тому, що рослини, якими вони живляться, ростуть у різних місцях. Ізоляція може виникнути й через різні строки розмноження особин одного виду в різних умовах. Наприклад, різні рослини лучних трав певного виду цвітуть залежно від часу весняної повені: особини, що довше перебували під водою, зацвітають пізніше від тих, які не були затоплені або перебували під водою впродовж короткого часу.

За ***географічної ізоляції*** різні популяції роз'єднані непрохідним для них географічним бар'єром. Наприклад, річка або гірський хребет виникають на території між двома популяціями виду, що не можуть плавати чи літати, або коли один лісовий масив поділяється степом на два тощо. Географічна ізоляція виникає також між популяціями, які мешкають на великих відстанях одна від одної. Наприклад, вид Вивірка звичайна має велику кількість популяцій, основна відмінність між якими полягає в забарвленні хутра. Мешкає ця тварина в мішаних лісах на величезних територіях — від узбережжя Атлантичного океану до японського острова Хоккайдо (іл. 241).

Еволюційне значення ізоляції полягає в тому, що за неможливості обміну алелями між популяціями певного виду в генофонді кожної з них виникають різні мутації й змінюються частоти зустрічальності алелів, за рахунок чого популяції пристосовуються до умов навколишнього середовища незалежно одна від одної. Із нагромадженням значної кількості відмінностей ці популяції можна розглядати як нові види.

Іл. 241. Географічна ізоляція різних популяцій Вивірки звичайної





Чи може, на вашу думку, географічна ізоляція привести до появи нового виду вивірки? Відповідь обґрунтуйте.



1. Дайте означення поняття *популяція*. **2.** За якими показниками характеризують популяцію? **3.** Поясніть еволюційне значення дрейфу генів і популяційних хвиль. **4.** Доведіть, що ізоляція є еволюційним чинником.

§ 59. Видоутворення як етап еволюційного процесу



Що таке географічна та екологічна ізоляція?

Ви вже з'ясували, що є підстави вважати популяцію одиницею еволюційного процесу. Зміни популяцій, що спричинені елементарними чинниками еволюції — популяційними хвилями, дрейфом генів та ізоляцією, називають **мікроеволюцією**. Мікроеволюційні процеси можуть, зокрема, сприяти утворенню нового виду.

Як вам відомо, уперше поняття виду ввів англійський ботанік Д. Рей (1693). К. Лінней визначав вид як сукупність подібних за будовою особин, що схрещуються між собою, дають плодюче потомство й не змінюються із часом. Ж. Б. Ламарк відповідно до своїх еволюційних поглядів заперечував існування окремих видів. На думку Ч. Дарвіна та його послідовників, види реально існують у вигляді сукупності особин, подібних за будовою, відокремлених від інших, і які займають певний ареал у даний момент часу.

Вид та його критерії. Проте нині стало відомо, що багато видів, подібних за будовою, є видами-двійниками — розрізнити їх можна лише за кількістю та будовою хромосом (іл. 242). Нові відкриття в біохімії, молекулярній біології, генетиці уможливили сучасне формулювання означення поняття вид.

Вид — сукупність особин, які подібні за будовою, процесами життєдіяльності, займають певний ареал, пристосовані до його умов, вільно схрещуються і дають плодюче потомство.

В основу визначення виду покладено всебічне вивчення організмів за певними характеристиками — ***критеріями***. До них належать: морфоло-

Іл. 242. Види-двійники: а — Хом'як джунгарський; б — Хом'як китайський



а



б

гічний (будова організму, тканин, органів, систем органів); фізіологічний (процеси життєдіяльності організму); генетичний (особини одного виду мають подібний геном, особини навіть близьких видів — відмінні геноми); біохімічний (особливості будови й складу макромолекул і перебіг біохімічних реакцій); цитологічний (будова клітин); географічний (межі ареалу — території поширення виду); екологічний (місце, яке займає вид в екосистемі, та особливості його взаємодії з іншими видами).

Видоутворення. Мікроеволюція є зворотним процесом, тому що з поновленням інтенсивного обміну генами між популяціями відмінності між їхніми генофондами можуть поступово нівелюватися (зменшуватися). На відміну від мікроеволюції, видоутворення — необоротний процес. Це пов'язано з виникненням репродуктивної ізоляції, коли лише особини одного виду вільно схрещуються і дають плодюче потомство. Основою видоутворення є спадкова мінливість організмів, а рушійною силою — природний добір.

Видоутворення — еволюційний процес виникнення нових видів. Відповідно до типів ізоляції виокремлюють географічне та екологічне видоутворення.

Географічне видоутворення відбувається внаслідок географічної ізоляції, коли виникає розрив ареалу. У кожній ізольованій популяції через дрейф генів і природний добір змінюється генофонд. Виникає репродуктивна ізоляція, що приводить до утворення нових видів. Географічними перепонами для сухопутних організмів є великі річки. Наприклад, Дніпро — це межа ареалів двох видів ховрахів: на правому березі мешкає Ховрах крапчастий, а на лівому — Ховрах сірий (іл. 243). Іншим прикладом є організми, які можуть долати відстань до островів.

Іл. 243. Приклад географічного видоутворення: а — Ховрах крапчастий; б — Ховрах сірий



а



б

Вони розселяються і пристосовуються там до умов існування і можуть утворювати нові види (наведіть приклади таких організмів).

Часто для пояснення фактів географічного видоутворення необхідно мати дані про будову земної поверхні минулих епох. Наприклад, у Північній Америці мешкають види бобрів і норок, близькі до євразійських. За геологічними даними, кілька сотень тисяч років тому Азія та Північна Америка були сполучені суходільним містком і на їхньому спільному терені мешкали ті самі види бобрів і норок. Після утворення Берингової протоки внаслідок географічної ізоляції євразійські та американські популяції цих тварин перетворилися на окремі види.

Екологічне видоутворення — спосіб видоутворення, який є результатом появи різних форм екологічної ізоляції. Зазначимо, що видоутворення в такий спосіб відбувається в межах ареалу виду. Крім того, ізоляція часто пов'язана з пристосуванням організмів до споживання різної їжі. Наприклад, один вид шишкарів вигодовує пташенят насінням сосни, а інший — насінням ялини. Їхнє розмноження прив'язане до строків дозрівання насіння цих рослин (вони дозрівають не одночасно). Тож розмноження в різну пору року спричиняє ізоляцію і в подальшому — видоутворення. Так виникли два види шишкарів, хоча існують вони поруч, в одних і тих самих лісах (іл. 244).

Форми природного добору. Виокремлюють три форми природного добору — рушійний, стабілізувальний та дизруптивний.

Стабілізувальний добір забезпечує переважне виживання і поширення особин із середніми значеннями важливих для виживання ознак і супроводжується загибеллю організмів із крайніми значеннями певних ознак. Учення про стабілізувальний добір розробив український учений І. І. Шмальгаузен.

Іл. 244. Приклад екологічного видоутворення: а — Шишкар сосновий; б — Шишкар ялиновий



а б

Підготуйте презентацію про географічне та екологічне видоутворення.

Ця форма природного добору спостерігається в умовах зовнішнього середовища, що впродовж тривалого часу залишаються сталими. У відносно незмінному середовищі перевагу мають типові, добре пристосовані до нього особини із середніми значеннями ознаки, а відмінні від них гинуть. У 1898 р. американський орнітолог Г. Байпас після сильних вітрів і снігопаду виявив 136 оглушених і напівживих домових горобців. Після відігрівання 72 з них вижили, а 64 птахи загинули. Виявилося, що останні мали або дуже довгі, або дуже короткі крила. Особини із середніми за довжиною крилами виявилися витривалішими.

Рушійний добір відбувається за умови повільних змін умов навколишнього середовища в певному напрямі або під час пристосування організмів до нових умов у разі розширення ареалу. У цьому випадку особини з ознаками, що відхиляються від середнього значення, мають переваги у виживанні (іл. 245).

Отже, рушійний добір проявляється як стійка та певною мірою спрямована зміна ознаки. Саме таку форму природного добору описував Ч. Дарвін: «Збереження корисних відмінностей або змін і знищення шкідливих я назвав природним добором, або виживанням найбільш пристосованих».

Дизруптивний добір — форма природного добору, що проявляється в загибелі особин із середнім значенням ознаки й збереженні крайніх відхилень від неї. Цей тип добору відбувається за таких змін умов навколишнього середовища, коли переваг набувають особини з крайніми відхиленнями від середнього значення ознаки. Наприклад, на островах, де дмуть сильні вітри, переваги мають комахи з розвиненими довгими крилами, які можуть цим вітрам протистояти, або ж навпаки, — безкрилі, які не літають. Комах із середніми за довжиною крилами вітер відносить у море, де вони гинуть.

Іл. 245. Приклад прояву рушійної форми добору



а б

П'ядун березовий мав кремове забарвлення і був непомітним на стовбурах беріз. У середині XIX ст. в Англії було виявлено темні особини, чисельність яких до кінця століття становила 98%. Розвиток промисловості спричинив забруднення повітря, і на корі дерев стала осідати сажа. На темному тлі виживали темні форми.

1. Дайте означення поняття *вид*. **2.** Порівняйте географічне та екологічне видоутворення. **3.** Назвіть форми природного добору й поясніть його значення для еволюційного процесу.

§ 60. Сучасні погляди на еволюцію



Що таке гомологічні та аналогічні органи?
Що Чарльз Дарвін уважав рушійною силою еволюції?

Як ви вже знаєте, мікроеволюційні процеси, що відбуваються в популяціях, можуть привести до утворення нових видів унаслідок дії природного добору. Це може відбуватися у формі дивергенції, конвергенції та паралелізму.

Дивергенція, конвергенція, паралелізм. У своїй праці «Походження видів шляхом природного добору, або Збереження сприятливих порід у боротьбі за життя» Ч. Дарвін описав 13 видів в'юрків, які мешкали на Галапагоських островах. Усі в'юрки походять від спільного предка, який потрапив туди з материкової частини Південної Америки. Від вихідної групи, яка живилася насінням, виникли три групи птахів: земляні в'юрки, які живляться насінням, комахоїдні деревні в'юрки й славкові в'юрки, які також живляться дрібним насінням. Це було спричинено тим, що їжі, яку вживали птахи вихідної групи, на островах було замало. Переваг у боротьбі за існування набували ті птахи, у яких будова дзьоба була зміненою, що давало їм змогу вживати іншу їжу (поміркуйте, яка це форма боротьби за існування). За нових умов діяла рушійна форма природного добору, що спричинило розходження ознак між окремими групами птахів і, як наслідок, утворення нових видів. Таке розходження ознак називають дивергенцією. Ще одним прикладом дивергентної еволюції є різноманіття ссавців (іл. 246).

Дивергенція — еволюційний процес розходження ознак споріднених груп організмів унаслідок адаптації до різних умов існування.

Іл. 246. Приклади дивергентної еволюції: а — види в'юрків Галапагоських островів; б — сучасні види ссавців утворилися в результаті еволюції предкової форми



а



б

Унаслідок дивергентної еволюції під дією елементарних чинників еволюції від предкової форми утворюється декілька груп, кожна з яких пристосовується до певних умов існування. У разі дивергенції подібність визначається спільністю походження, а відмінності — пристосуванням до різних умов середовища. У міру розбіжності ознак відбувається процес видоутворення, види зазнають подальшої диференціації й утворюють роди, родини тощо.

Дивергенція спричинює різноманіття організмів, згладжуючи напруженість боротьби за існування.

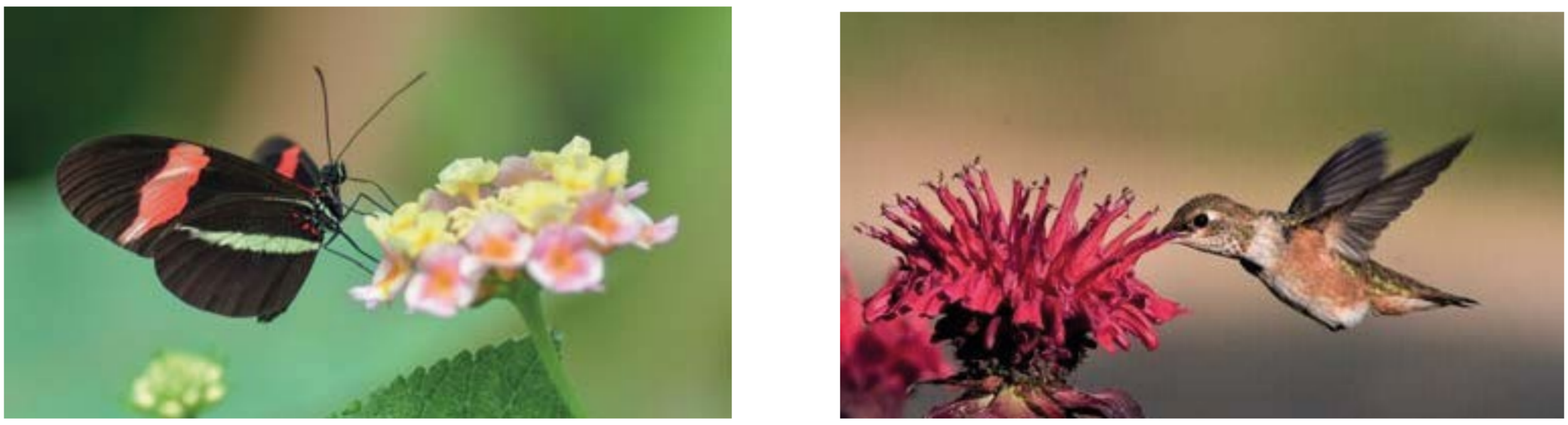
Вивчаючи різноманітність організмів на нашій планеті, ви дізналися, що групи організмів, які не пов'язані родинними зв'язками, можуть пристосуватися до існування в однакових умовах. Наприклад, поміж тварин є організми, які пристосовані до польоту, — комахи (членистоногі) та птахи (хордові). Пристосуванням до польоту в них слугують крила, що мають різні походження та будову. Такі органи називають аналогічними (див. § 57) (іл. 247). Подібність цих органів є результатом еволюційного пристосування різних організмів до однакових умов середовища.

Конвергенція — еволюційний процес утворення в однакових умовах подібних ознак в організмів, не пов'язаних родинними зв'язками.

Пристосуваннями до однакових умов можуть бути не лише видозміни органів, а й подібність форми тіла. Порівнюючи водних тварин — риб, раків, дельфінів, можна виявити подібність у формі тіла: у всіх цих тварин вона є обтічною — це пристосування до умов існування.

Можна навести приклад і поміж рослинних організмів: кактус і молочай ростуть в умовах посушливого клімату, тому мають розлогий пагін, у якому запасається вода (іл. 248).

Іл. 247. Приклади аналогічних органів тварин: а — метелик; б — колібрі



а б



Обґрунтуйте правильність твердження: «Крило комахи й крило птаха є аналогічними органами». Наведіть інші приклади аналогічних органів, використавши знання з різноманітності організмів.

Конвергенція може проявлятися в подібному забарвленні організмів, які живуть разом на певній території: яскраве забарвлення риб коралових рифів, птахів тропічних лісів (іл. 249).

Інколи групи, які утворилися внаслідок дивергенції, можуть знову потрапити в подібні умови. Тоді в організмів цих груп можуть незалежно та паралельно формуватися подібні пристосування до цих умов. Наприклад, палеонтологічні знахідки свідчать про появу шаблезубих форм у різних котячих. Копитні, які проживають у різних кліматичних зонах, рятуються від хижаків, тікаючи. Тому в різних видів спостерігається зменшення кількості пальців, захищених роговими копитами.

Паралелізм — еволюційний процес незалежного розвитку подібних ознак в еволюції близькоспоріднених груп організмів.

Виникнення паралелізму пов'язане зі збереженням спорідненими групами організмів певної генетичної спільності, а також подібності процесів онтогенезу та його регуляції. Паралелізм починається з дивергенції. У генофондах споріднених видів закономірно виникають подібні мутації. За умови дії на популяції споріднених видів спрямованого природного добору зміни цих популяцій відбуваються подібно, що проявляється у вигляді паралелізму.

Сучасні погляди на еволюційні процеси. Розвиток поглядів на еволюційний процес зумовлений відкриттями в галузі генетики, екології, молекулярної біології.

У 1920–1950-х роках завдяки працям Ф. Добжанського, Дж. Холдейна, Е. Майра, Дж. Сімпсона і Дж. Хакслі, І. І. Шмальгаузена було сформульовано ***основні положення синтетичної теорії еволюції***:

- джерелом спадкової мінливості є мутації та рекомбінації;

Іл. 248. Приклад конвергенції у рослин: а — кактус; б — молочай

а б

Іл. 249. Приклад конвергенції у тварин: а — амадіна; б — папуга

а б

Чому птахи тропічних лісів мають яскраве забарвлення?

- елементарною одиницею еволюції є популяція, у якій діють елементарні чинники еволюції: дрейф генів, ізоляція та популяційні хвилі;
- головною рушійною силою еволюції є природний добір, який є наслідком боротьби за існування в різних її формах;
- еволюційний процес відбувається у формах мікроеволюції, видоутворення та макроеволюції;
- здебільшого еволюція має дивергентний характер;
- еволюційні зміни обумовлюють адаптації та є незворотними.

Дослідження останніх десятиліть засвідчили, що споріднені види подібні на рівні структури ДНК й білків, а відмінності спричинені переважно точковими мутаціями. Це дає змогу точно визначити родинні зв'язки між порівнюваними видами. Дослідження молекулярної генетики підтвердили дані про родинні зв'язки видів, що їх було отримано іншими методами.

Адаптації на молекулярному та клітинному рівні організації живого. Важливим є забезпечення клітин організмів сполуками, необхідними для синтезу власних макромолекул або для отримання енергії. Наприклад, у разі надходження надлишкових енергетичних сполук, вони можуть перетворюватися на резервні речовини (пригадайте відомі вам резервні вуглеводи рослинних і тваринних клітин). У випадку додаткової потреби в енергії резервні речовини розщеплюються.

Існують адаптації, скеровані на регуляцію обміну речовин, що підлаштовує функціонування клітин до змін у навколишньому середовищі. Наприклад, збільшення концентрації розчинених сполук у воді знижує температуру її замерзання, що забезпечує функціонування організму за низької температури. Так, у клітинах рослин накопичуються вуглеводи й олії, а в клітинах членистоногих — гліцерол (іл. 250).

Іл. 250. Активні комахи взимку: а — жук з родини Staphylinidae; б — комар з роду Chionea



а б

Підготуйте повідомлення про пристосування рослин і тварин до низьких температур.

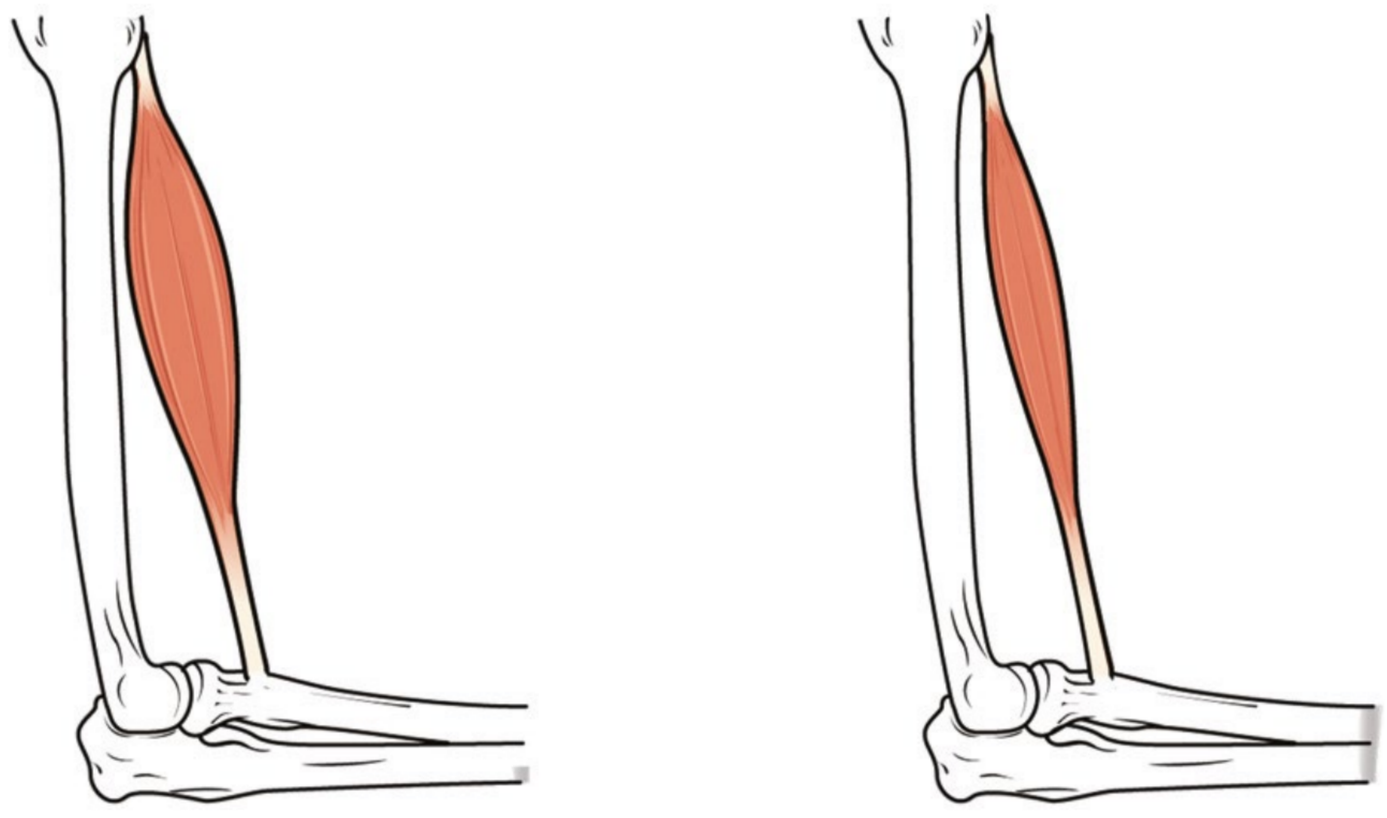
Наведемо приклади адаптацій на клітинному рівні, використавши набуті раніше знання з курсу біології людини. За певних впливів може відбуватися істотне зменшення об'єму клітини — атрофія. У разі, якщо таких клітин багато, може змінюватися об'єм і функціонування органу, який утворений цими клітинами. Відомим ефектом є атрофія скелетних м'язів, спричинена зниженням їхньої активності внаслідок травм (ушкодження нервів) або ж істотного зниження рухової активності (іл. 251). Адаптивність цієї реакції полягає в тому, що організм витрачає менше ресурсів на підтримання життєдіяльності органу, який не використовується. Подібний ефект притаманний і серцевому м'язу. Для того щоб запобігти зниженню об'єму та маси м'язів, необхідно підтримувати мінімальний обсяг щоденної фізичної активності. Гіпертрофія — процес, який характеризується збільшенням об'єму клітини. Гіпертрофія забезпечує збільшення об'єму органів, клітини яких нездатні до поділу. Так, гіпертрофія клітин печінки уможливлює відновлення функціональності цього органу після загибелі частини клітин, наприклад унаслідок перенесеного вірусного гепатиту.

Адаптації на організмовому та екосистемному рівнях. Організми, далекі за систематичним положенням і, отже, за походженням, мешкаючи в схожих умовах, нерідко мають подібні ознаки зовнішньої будови. До такої групи організмів застосовують назву «життєва форма».

Життєва форма — морфологічна будова організму, що є результатом еволюційних змін і відображає пристосування їх до середовища мешкання.

У якості прикладу наведемо класифікацію життєвих форм тварин. Найбільше значення має характер переміщення тварин у різних середовищах, тому вирізняють такі життєві форми тварин: наземні,

Іл. 251. Нормальний м'яз (ліворуч) та атрофований унаслідок низького рівня активності (праворуч)



Створіть просвітницький проєкт для молодших школярів «Вплив рухової активності на стан скелетних і серцевого м'язів людини».

підземні, деревні, повітряні, водяні. У межах кожної форми формують більш специфічні пристосувальні форми, тому часто виокремлюють ще й перехідні форми. Наприклад, наземні ссавці пересуваються переважно за допомогою ходьби, бігу, стрибків, що позначається на їхньому зовнішньому вигляді.

Цікавими прикладами адаптацій є пристосування організмів до співіснування в екосистемах. У хижаків і тварин, якими вони живляться, виробилося захисне забарвлення, що робить їх непомітними на місцевості. У хижаків воно закріпилося завдяки тому, що вони могли непомітно підкрастися до здобичі, а в здобичі — унаслідок того, що жертва залишалася менш помітною для хижаків. Наприклад, комахи, ящірки, жаби, які ховаються між листям рослин, мають зелений або бурий колір, мешканці пустель — пісочний, а мешканці арктичних пустель — білий (іл. 252, а). У деяких тварин з'явилося забарвлення, утворене чергуванням світлих і темних смуг або плям, що робить їх менш помітними в чагарниках і густих чагарниках (тигри, молоді кабани, зебри, плямисті олені тощо). А деякі тварини здатні дуже швидко міняти забарвлення залежно від умов, зокрема хамелеони, восьминоги, камбала. Види отруйних комах часто мають яскраве застережливе забарвлення, яке слугує попередженням хижакам (оси, джмелі, сонечка, колорадські жуки тощо). У деяких тварин виробилися адаптації, за яких форма тіла та його забарвлення роблять їх схожими на листя, сучки, гілки, кору, колючки рослин і навіть квітки (іл. 252, 1). Цікавою формою захисних адаптацій у тварин є мімікрія, за якої незахищені види імітують своїм забарвленням і формою тіла захищені види. Наприклад, цикади і цвіркуни нагадують великих мурах, дзюрчалка схожа на отруйну осу, неотруйні змії схожі на отруйних (іл. 252, 2).

Іл. 252. Приклади маскування (1) та мімікрії (2): а — листохвостий гекон; б — метелик-листовидка; в — кораловий аспід (отруйний); г — королівська змія (неотруйна)

1 2



а б в г

Виконайте інтерактивне завдання «Приклади адаптацій».

Наведіть власні приклади адаптацій. Поміркуйте, чому вони відносні?

1. Дайте означення понять *дивергенція, конвергенція*, *паралелізм.* **2.** Перелічіть основні положення сучасної синтетичної теорії еволюції. **3.** Змоделюйте на вибраному вами прикладі можливі етапи виникнення виду.

§ 61. Еволюція людини



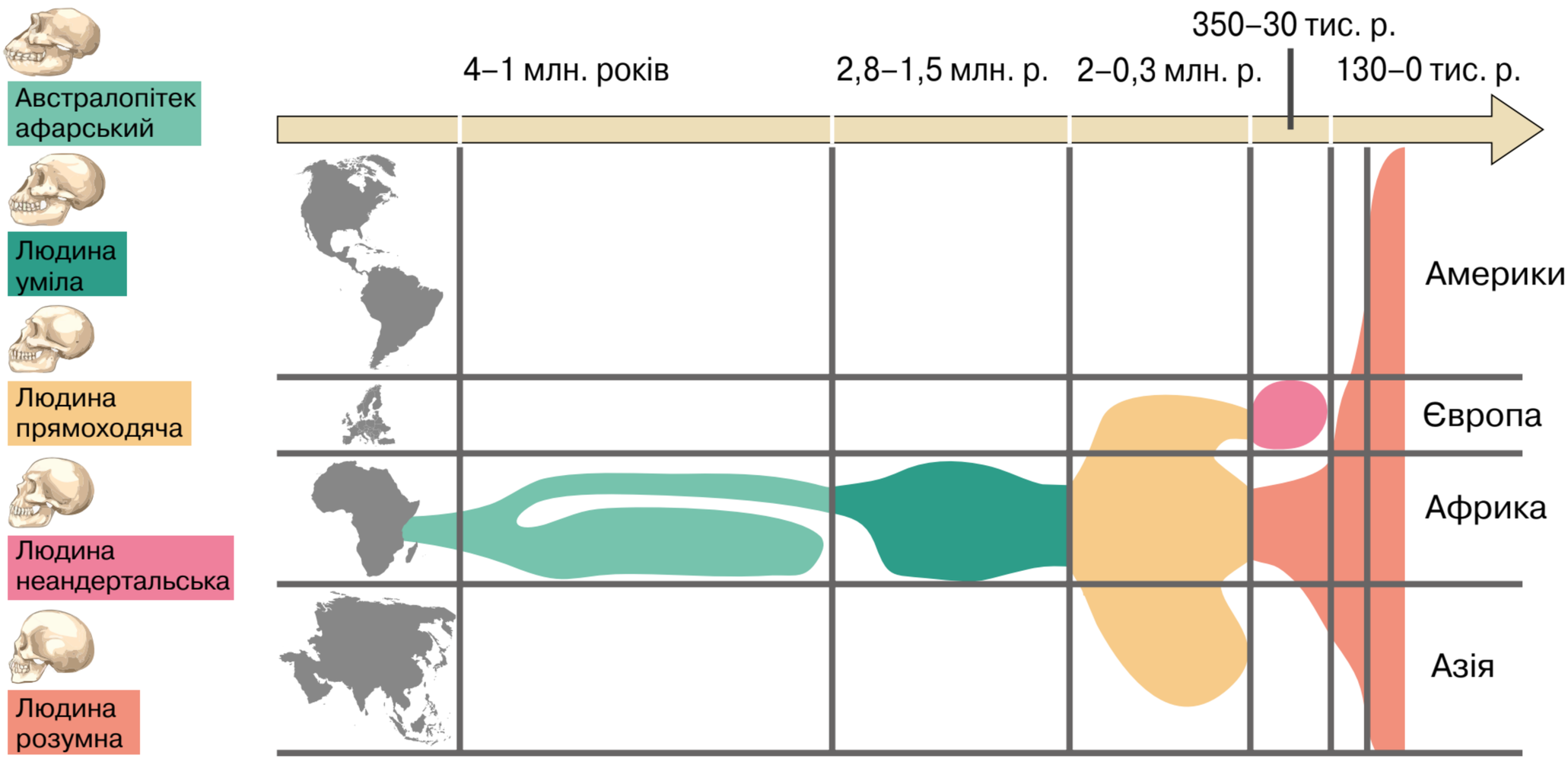
Якими є особливості будови скелета людини, що пов'язані з прямоходінням?

Сучасне людство належить до одного біологічного виду ***Людина розумна*** (*Homo sapiens*), роду Людина, родини Гомініди, ряду Примати, класу Ссавці. До цієї самої родини належать сучасні людиноподібні мавпи — орангутани, горили, шимпанзе, а також деякі вимерлі форми людей. Процес еволюційного розвитку нашого виду називається **антропогенезом**.

Характерні особливості людини. Які характеристики вважаються притаманними переважно людині? Учені виокремлюють кілька таких ознак, і розвиток деяких із них можна простежити за аналізом викопних решток. Це прямоходіння, розвинений головний мозок, пристосована для виготовлення та використання знарядь праці кисть руки, щелепи із невеликими зубами й невиразними іклами, а також утрата густого волосяного покриву на більшій частині шкіри.

Еволюція людини та гомінід. Науці відомо велику кількість викопних знахідок давніх гомінід, що формують наше еволюційне дерево. Еволюційний розвиток не є винятково лінійним процесом, коли один вид із часом поступово перетворюється на інший. Певні види можуть унаслідок дивергенції давати початок різним лініям. Одна з них привела до появи сучасної людини, інші — до сучасних людиноподібних мавп. Деякі ж гілки еволюційного дерева стали тупиковими, а види, до розвитку яких вони призвели, вимерли. Згадати ключові моменти антропогенезу, які ви вивчали в курсі біології людини, ви можете під час аналізування схеми (іл. 253).

Іл. 253. Узагальнена схема еволюції людини

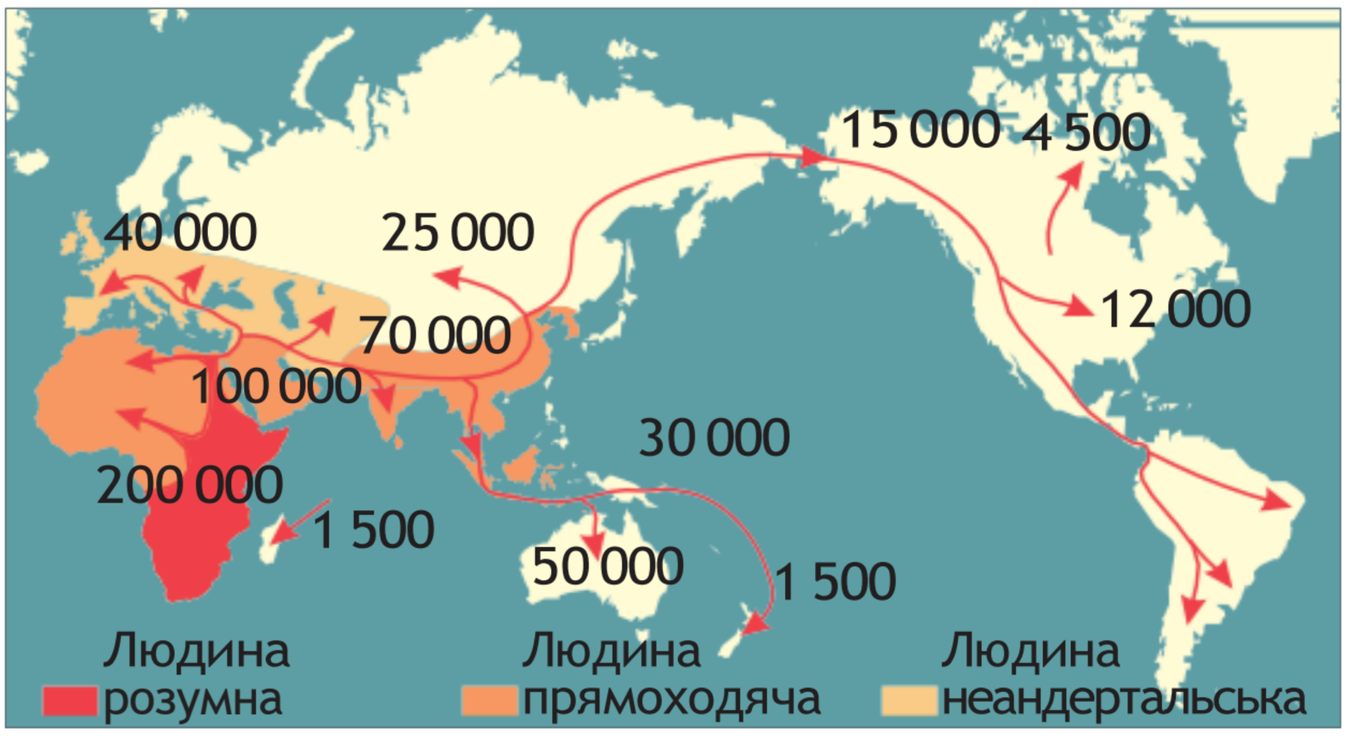


Створіть презентацію «Етапи антропогенезу».

Виникнення і поширення виду *Людина розумна*. Унаслідок еволюції *Людини прямоходячої* виникла ***Людина гейдельберзька***, яка мешкала в Африці, Європі та Західній Азії (800–130 тис. років тому). У неї був великий головний мозок, зріст 1,5–1,8 м, маса 50–60 кг. Під час еволюції гейдельберзької людини в Європі виник вид ***Людина неандертальська*** (230–28 тис. років тому), який згодом поширився в Азії. Вид ***Людина розумна*** виник унаслідок еволюції гейдельберзьких людей Африки. Найдавніші кістяки людей із сучасною будовою датуються 200 тис. років тому, їх було знайдено на території Ефіопії. Унаслідок збільшення кількості й розселення популяцій люди почали мігрувати з Африки. Перша спроба виходу на Близький Схід майже 125 тис. років тому була невдалою через конкуренцію із панівними на той час неандертальцями. Успішною виявилася друга спроба, що почалася близько 75 тис. років тому (іл. 254).

Еволюція людини відбувалася під дією біологічних та соціальних чинників. До соціальних чинників антропогенезу відносять працю, суспільний спосіб життя, розвинену свідомість і мову. На пізніших етапах становлення людини їм належала провідна роль. Найважливіший чинник еволюції людини — праця. Упродовж життя багатьох поколінь унаслідок природного добору зберігалися особини зі спадковими змінами, що сприяло прямоходінню. Прямоходіння спричинило вивільнення руки. Розвинена рука вможливила виготовлення людиною примітивних знарядь праці. Спільна трудова діяльність сприяла об'єднанню членів колективу, що потребувало спілкування за допомогою слів. Вид Людина розумна залишився єдиним представником роду. Її стратегія виживання виявилася настільки успішною, що вона заселила всі континенти (крім Антарктиди) і стала одним із панівних видів сучасної біосфери.

Іл. 254. Карта міграції ранніх людей (числа позначають час відповідних хвиль міграції — років тому)



Складіть оповідання про розселення людини розумної на різні материки.

1. Що таке *антропогенез*? **2.** Які ознаки відрізняють людину від інших приматів? **3.** Опишіть основні етапи розвитку роду *Людина*. **4.** Які чинники впливали на еволюцію виду *Людина розумна*?

§ 62. Світоглядні та наукові погляди на походження життя



Що таке життя? Які ознаки живого?

У попередніх параграфах ми розглядали розвиток життя на нашій планеті. Однак людина прагне знайти відповідь і на запитання щодо походження життя, яке до сьогодні остаточно не розв'язане (іл. 255). Ви ознайомитеся з різними поглядами, що мають кожний свою історію становлення, своїх прихильників і прихильниць. Ці погляди можна назвати лише гіпотезами, бо вони є припущеннями, що їх висунуто з метою з'ясування походження життя. З розвитком науки деякі гіпотези доповнюються фактами, що спонукають продовжувати дослідження в цьому напрямі, інші гіпотези поступово спростовуються.

Креаціоністська гіпотеза. Цієї гіпотези дотримуються послідовники майже всіх найпоширеніших релігійних вірувань. Її основне положення: усе існуюче у Всесвіті, у тому числі життя, було створене в минулому єдиною Силою — Творцем у результаті декількох актів надприродного творіння. Організми, що населяють сьогодні Землю, не мають родинних зв'язків і походять від створених окремо основних груп живих істот. Створені живі істоти були досконалими і, за деякими віруваннями, можуть змінюватися в певних межах.

Гіпотеза стаціонарного стану. Відповідно до цієї гіпотези Земля ніколи не виникала, а існувала вічно. Життя на планеті було завжди, види при цьому змінювалися не суттєво. Таке уявлення характерне для східних релігій, таких як індуїзм і буддизм, погляду на планету як на вічний нетворений Всесвіт.

Іл. 255. Як виникло життя на планеті Земля?





Чи цікавило вас це питання? Якими знаннями щодо походження життя на планеті ви володієте?

Гіпотеза самозародження. Протягом тисячоліть люди вірили в самозародження життя, уважаючи його звичайним способом появи живих істот з неживої природи: джерелом спонтанного зародження слугують або неорганічні сполуки, або гнилі органічні рештки. Гіпотеза була поширена в Стародавньому Китаї, Вавилоні та Стародавньому Єгипті, її висловлювали філософи Стародавньої Греції, тобто таке сприйняття світу було одним із найдавніших. Арістотель, якого часто проголошують засновником біології, писав, що жаби й комахи зароджуються в сирому ґрунті.

Перші дослідження, що похитнули думку про самозародження життя, провели італійські природодослідники — лікар Франческо Реді (1626–1697) і вчений Ладзаро Спаланцані (1729–1799).

Нищівного удару цій гіпотезі було завдано в XIX ст. французьким мікробіологом Луї Пастером (1822–1895) й англійським біологом Джоном Тіндалем (1820–1893) (іл. 256). Вони зробили припущення: якщо бактерії, які поширюються повітрям, не зможуть потрапити до колб зі стерилізованим бульйоном, то в самому бульйоні вони не виникнуть. Пастер користувався для цього колбами із зігнутим S-подібним горлом (воно слугувало пасткою для бактерій), а Тіндаль стерилізував повітря, що надходить у колби, пропускаючи його крізь полум'я або вату (іл. 257). До кінця 70-х років XIX ст. майже всі вчені визнали, що організми зароджуються лише від інших живих організмів. Це привело до формулювання нових гіпотез, подальших пошуків, досліджень із метою розкриття таємниць походження життя.

Гіпотеза панспермії. Гіпотеза походження життя на Землі в результаті перенесення живих істот з інших планет називається *панспермією*. Одним із перших ідею про космічне походження життя висловив німецький учений Г. Ріхтер у 1865 р. Першими захисниками його погляду були

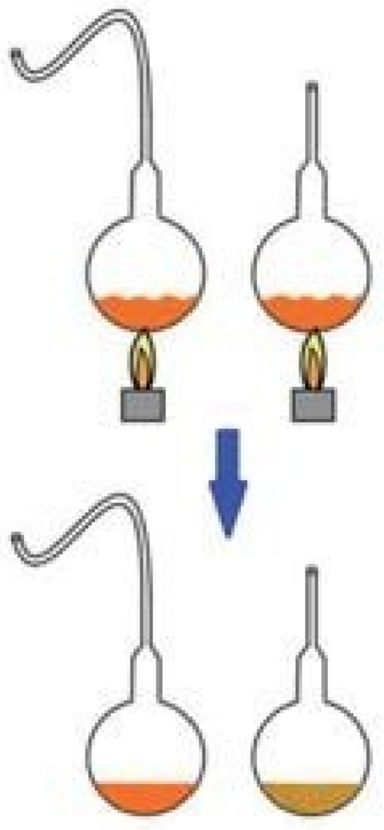
Іл. 256. Пам'ятник Луї Пастеру біля Пастерівського інституту (Франція)





Поясніть результати досліду Л. Пастера.

Іл. 257. Схема досліду Луї Пастера



а б

У колбі із S-подібним горлом поживне середовище після кип'ятіння довго залишається стерильним (а); якщо прибрати S-подібну трубку, то в середовищі швидко розвиваються мікроорганізми (б)

видатні вчені-фізики Г. Гельмгольц, С. Арреніус, Дж. Томсон. За версією Томсона й Гельмгольца спори бактерій та інших організмів могли бути занесені на Землю з метеоритами.

Гіпотезу панспермії поділяють астрономи Ч. Вікрамасінгха (Шрі-Ланка) і Ф. Хойл (Велика Британія). Вони вважають, що мікроорганізми утворюються в космічному просторі, переважно в газових і пилових хмарах. Далі ці мікроорганізми захоплюються кометами й у такий спосіб переносяться на Землю. Під час вивчення метеоритів і комет у них було виявлено такі речовини, як ціаногени, синильну кислоту й органічні сполуки (іл. 258).

Гіпотеза абіогенного синтезу (біохімічної еволюції). Розвиток біохімії, накопичення фактів, що свідчили про хімічну й генетичну основу життя, неминуче привели до створення гіпотези абіогенного синтезу. Першою спробою стала праця біохіміка О. І. Опаріна «Виникнення життя» (1924). Учений зробив припущення: за умов, що існували на нашій планеті 4,0–4,5 млрд років тому, найпростіші органічні сполуки синтезувалися з неорганічних у первісному океані, тобто поза клітиною. Через 5 років незалежно від О. І. Опаріна те саме припущення висловив англійський учений Дж. Холдейн. За цією гіпотезою, процес, унаслідок якого виникло життя на Землі, можна поділити на три етапи: виникнення органічних речовин; утворення з найпростіших органічних речовин біополімерів; виникнення організмів, здатних до самовідтворення. Земля виникла близько 5 млрд років тому, і спочатку температура на її поверхні становила декілька тисяч градусів. У міру її остигання утворилася літосфера. Надалі утворилася атмосфера, яка спочатку складалася з легких газів, що замінювалися на важчі: водяну пару, вуглекислий газ, амоніак і метан. Зі зниженням температури

Іл. 258. Гіпотеза панспермії — життя занесене на Землю з космічного простору



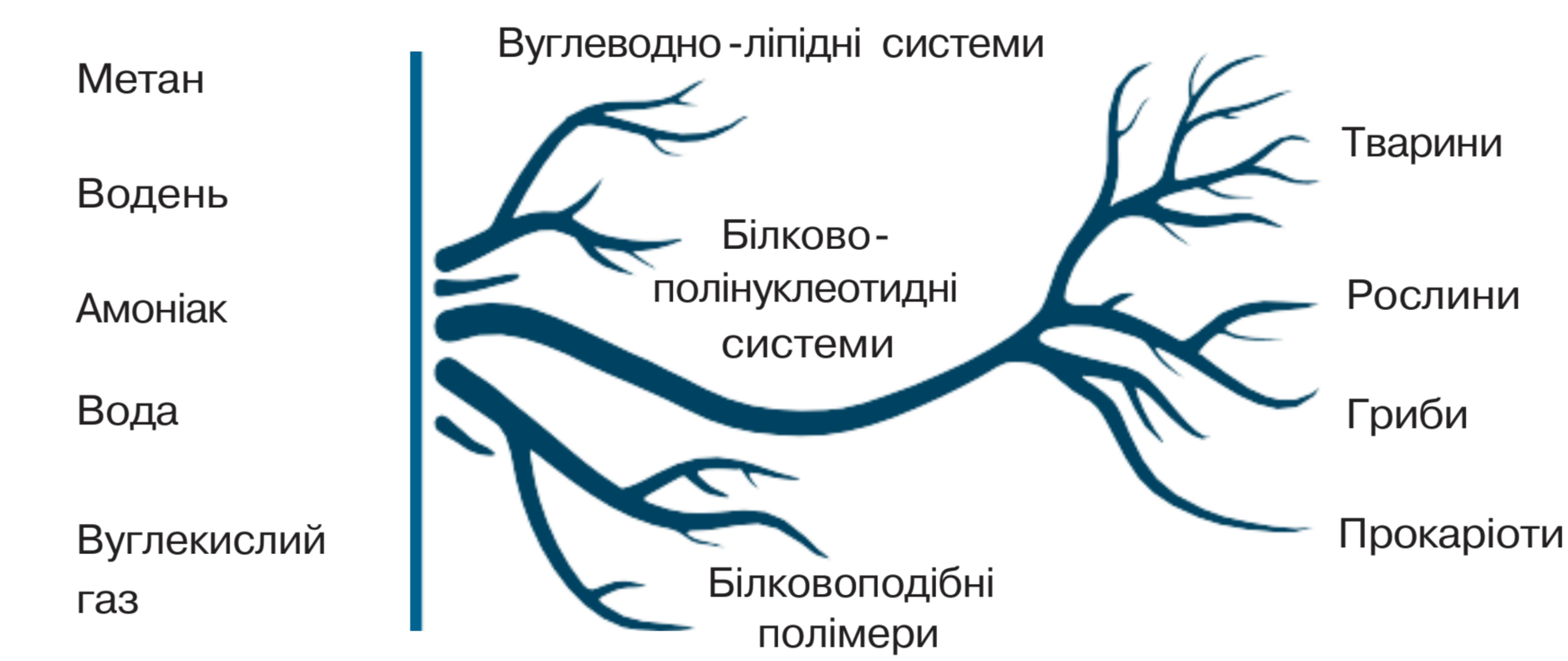
На яке запитання, на вашу думку, не дає відповіді гіпотеза панспермії?

водяна пара почала конденсуватися, утворюючи Світовий океан. Відповідно до уявлень учених у цей час відбувся абіогенний синтез — синтез органічних сполук поза клітиною.

Перед ученими постали інші запитання: як і чому складні органічні речовини утворили організми? О. І. Опарін уважав, що вирішальна роль у перетворенні неживого на живе належить білкам, молекули яких, притягуючи молекули води, утворювали колоїдні гідрофільні комплекси. Подальше злиття таких комплексів сприяло відділенню колоїдів від водного середовища, тобто утворенню коацерватів. На межі між коацерватом і середовищем «шикувалися» молекули ліпідів: утворювалася примітивна клітинна мембрана. Колоїди могли обмінюватися молекулами з навколишнім середовищем, тобто відбувався обмін речовин. Ще один тип молекул — нуклеїнові кислоти забезпечували здатність до самовідтворення. Ці зміни сприяли біологічній еволюції (іл. 259).

Підтвердження можливості за певних умов абіогенного синтезу органічних сполук експериментально отримав американський хімік Л. С. Міллер (1953). Він довів, що з неорганічних складових первинної земної атмосфери під дією електричних розрядів й ультрафіолетового випромінювання можуть утворюватися амінокислоти та інші органічні молекули. Правомірність абіогенного синтезу органічних сполук надалі підтверджена численними експериментами: абіогенним шляхом синтезовано аденін, піримідин, рибозу, дезоксирибозу, полісахариди й полінуклеотиди. Наразі гіпотеза біохімічної еволюції має найбільше прихильників. Уважається, що на ранніх етапах вирішальна роль належала молекулам РНК, які могли як зберігати інформацію, так і виконувати ферментативні функції. Надалі зазначені функції відійшли до ДНК і білків, а РНК залишилися посередниками між ними.

Іл. 259. Передбачувані етапи гіпотези абіогенного синтезу, або біохімічної еволюції



1. Які ви знаєте гіпотези походження життя? **2.** Поясніть сутність гіпотези абіогенного синтезу. **3.** Яка гіпотеза походження життя здається вам найбільш вірогідною? Чому?

ПРАКТИЧНА РОБОТА

Адаптованість організмів до середовища існування як наслідок еволюції

Мета: визначити ознаки адаптованості різних видів організмів до водного, наземного й ґрунтового середовища існування.

1. Розгляньте зображення представників видів організмів. Розподіліть їх на групи відповідно до середовища існування.
2. Складіть план опису ознак адаптованості організмів до середовища існування (зверніть увагу на форму й особливості покриву тіла, особливості будови кінцівок тощо).
3. Опишіть ознаки адаптованості різних організмів до певного середовища існування.



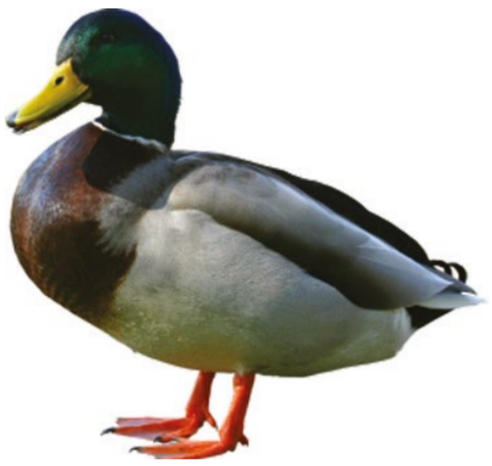
Горобець хатній



Фукус пухирчастий



Жаба сіра



Качка дика



Сосна звичайна



Афаліна звичайна



Вовчок звичайна



Стрілиця звичайна



Верблюд двогорбий



Краб трав'яний



Муха хатня



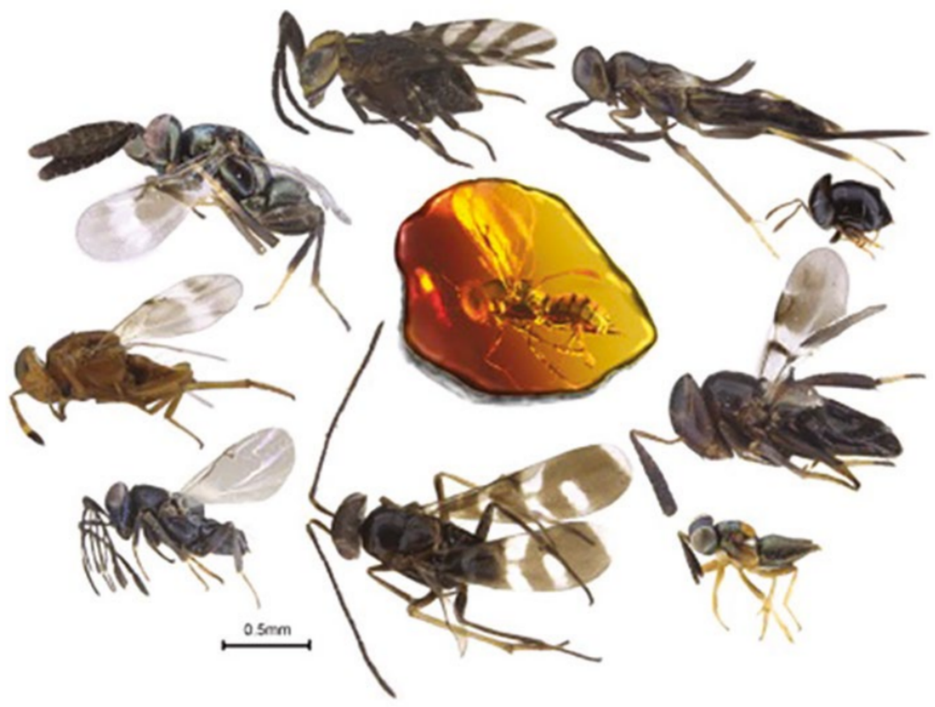
Кріт європейський

Аналізуємо інформацію, робимо висновки

Ознайомтеся з інформацією та виконайте тестові завдання.

Еволюція давньої комахи

Унаслідок еволюції утворюються різноманітні форми організмів у межах виду або групи споріднених видів, що є результатом пристосування до різних умов середовища існування. Схожість форм пояснюють спільним походженням, а відмінності — пристосуванням до різних умов існування. Наявність у еволюційно старших організмів будь-яких структур або фізіологічних функцій, які є у видозміненій формі у більш пізніх форм, можна вважати аргументом на користь походження одних від інших.



Дослідження еволюції комах із використанням палеонтологічних знахідок вимерлих форм і порівнянням їх із сучасними видами за допомогою мікроскопічної техніки проводять в Інституті зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України. У 2006 році український ентомолог Сергій Сімутнік знайшов у рівненському бурштині викопні рештки вимерлого виду перетинчастокрилої комахи (мешкала в еоцені близько 40 млн років тому). Учений уперше описав тварину й дав видову назву на честь свого шкільного вчителя біології Анатолія Вихренка, заслуженого вчителя України — Eocenpetus vichrenkoi. Розгляньте ілюстрацію, на якій у центрі розташоване зображення Eocenpetus vichrenkoi — вимерлого виду, максимально наближеного до предка сучасних видів роду енцертид. Навколо нього розташували зображення сучасних видів, які є нащадками й мешкають у різних умовах

Завдання 1. Вимерла тварина, яку описав український учений, належить до групи

А молюски
Б членистоногі
В кільчасті черви
Г кишковопорожнинні

Завдання 2. Сучасні види комах, наведені на ілюстрації, виникли внаслідок

А дивергенції
Б конвергенції
В паралелізму

Завдання 3. Учень та учениця обговорювали наведену ілюстрацію. Учень зазначив, що крила сучасних видів комах видозмінені внаслідок пристосування до різних умов існування. Учениця висловила судження, що крила цих комах і крила предкової форми можна вважати гомологічними органами.

Чи має хтось із них рацію?

А лише учень
Б лише учениця
В обоє мають рацію
Г обоє помиляються

Самоконтроль рівня навчальних досягнень

Тестові завдання з однією відповіддю (0,5 бала)

1. У природничих музеях України є експозиції вимерлих тварин і рослин, що населяли нашу планету в попередні геологічні ери. Ці експозиції демонструють об'єкти вивчення
   А зоології
   Б ботаніки
   В антропології
   Г палеонтології
2. Перше еволюційне вчення розробив у своїй праці «Філософія зоології»
   А Ж.Б. Ламарк
   Б Ч. Дарвін
   В К. Лінней
   Г Ф. Реді
3. Процес виживання найбільш пристосованих організмів до умов існування Ч. Дарвін назвав
   А внутрішнім прагненням до прогресу
   Б боротьбою за існування
   В природним добором
   Г штучним добором
4. За сучасними поглядами елементарною одиницею еволюції є
   А вид
   Б особина
   В популяція
   Г екосистема
5. Рудиментом уважають
   А вусики гороху
   Б бічні пальці у коня
   В коренеплід моркви
   Г тазові кістки у кита
6. Соціокультурним чинником антропогенезу є
   А боротьба за існування
   Б природний добір
   В популяційні хвилі
   Г трудова діяльність

Тестові завдання з однією відповіддю (1 бал)

7. Зображені видозміни пагона можуть слугувати прикладом
   А гомологічних органів
   Б аналогічних органів
   В рудиментів
   Г атавізмів





8. Прикладом внутрішньовидової боротьби за існування може слугувати
   А турнірні бої оленів за самицю
   Б полювання лисиці на зайця
   В запилення квіток комахами
   Г поширення насіння мурахами
9. Випадкова зміна частоти зустрічальності алелей у малих популяціях — це
   А ізоляція
   Б міграція
   В дрейф генів
   Г популяційні хвилі

Тестові завдання з однією правильною відповіддю (1,5 бала)

10. Учень та учениця розглядали фотографії, на яких зображено близькі види — Конвалія закавказька (1) й Конвалія травнева (2). Ці види виникли внаслідок дії льодовика, який розділив ареал існування предкового виду. Учень зробив припущення, що види виникли унаслідок конвергенції. Учениця зазначила, що це є прикладом географічного видоутворення.

1 

2 

Чи має хтось із них рацію?
А лише учень
Б лише учениця
В обоє мають рацію
Г обоє помиляються

11. Прочитайте твердження щодо адаптацій зображених тварин.
I. Особливості будови кінцівок є пристосуванням до умов мешкання.
II. Відміни в будові між тваринами виникли внаслідок дивергенції.
Чи є поміж них правильні?
А правильне лише I
Б правильне лише II
В обидва правильні
Г немає правильних





Тестове завдання з однією відповіддю в кожному стовпчику (3 бали)

12. Розпізнайте зображених тварин, позначених буквами А–Г.
Доберіть правильне продовження кожного наведеного речення.

А



Б



В



Г



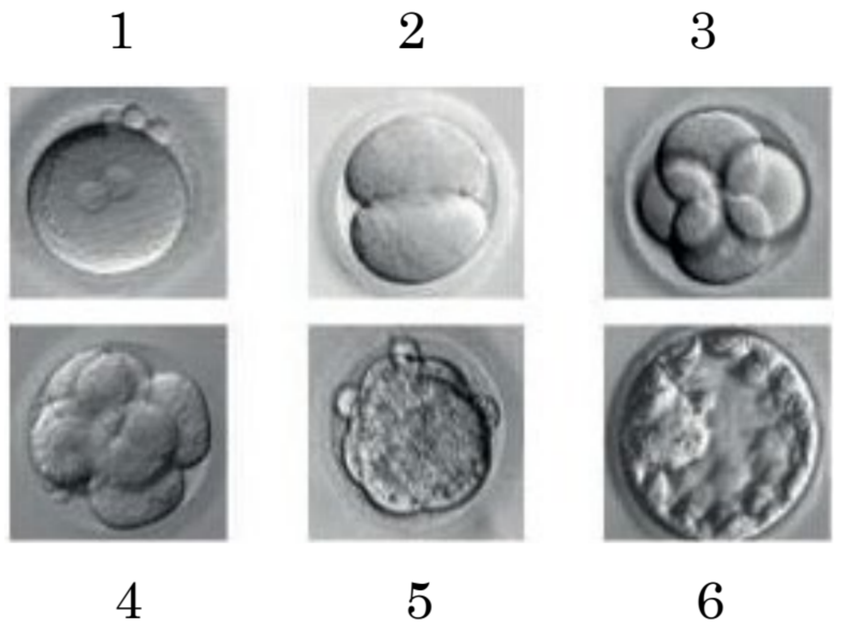
Крило тварин, позначених буквами А та Б, є прикладом органів	*Прикладом гомологічних органів можуть слугувати кінцівки тварин, позначених буквами*	*Кінцівки у тварин, позначених буквами Б та Г, виникли внаслідок*
1 аналогічних	1 А та В	1 дивергенції
2 гомологічних	2 А та Г	2 конвергенції
3 рудиментарних	3 Б та В	3 паралелізму

Чи досягнуто результатів навчання?

Тема 4–7

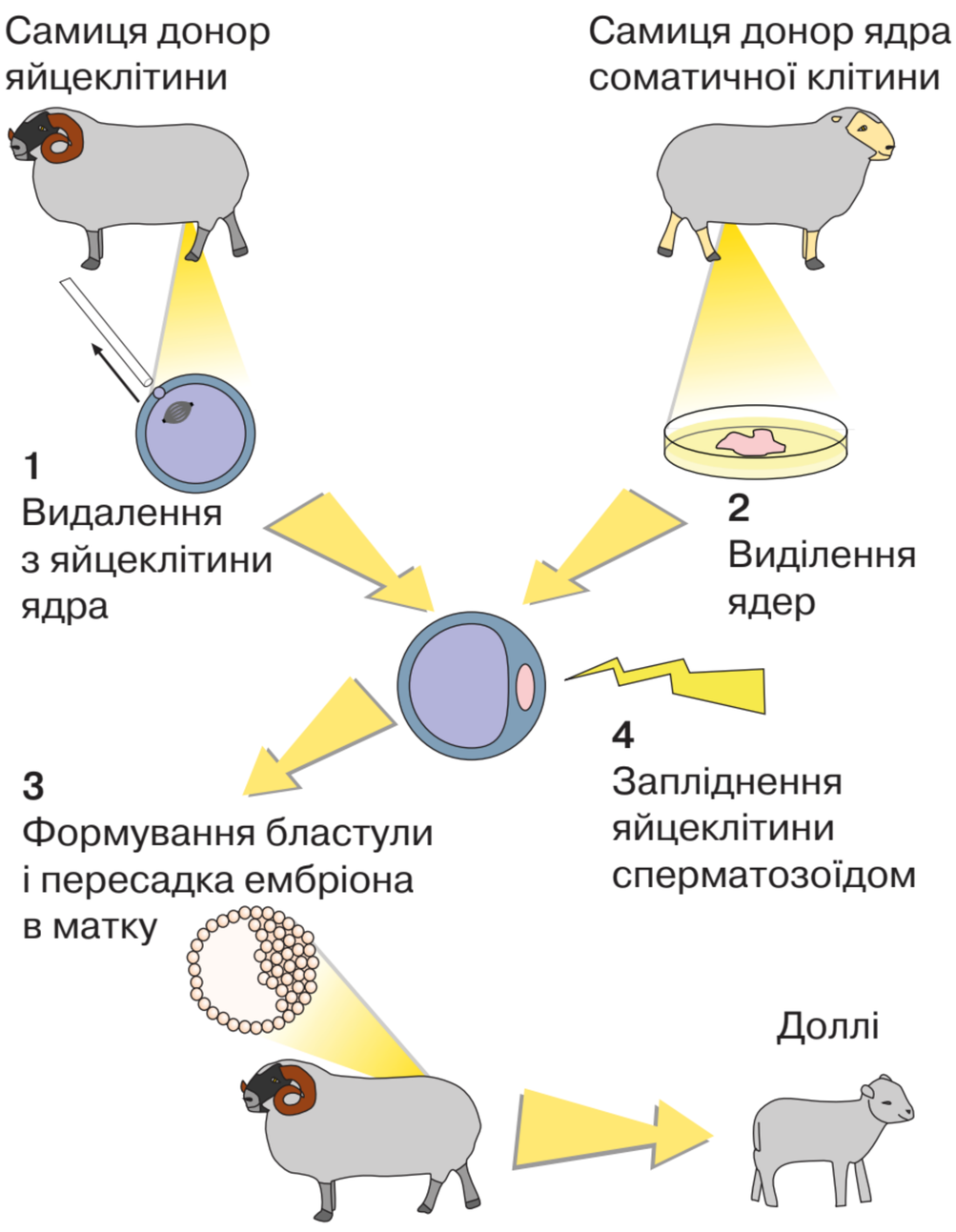
Досліджую природу

1. Розгляньте зображення стадій ембріогенезу хордових тварин, отриманих за допомогою оптичного мікроскопа. Стадії позначено цифрами (1–6). Якою цифрою позначено стадію чотирьох бластомерів?



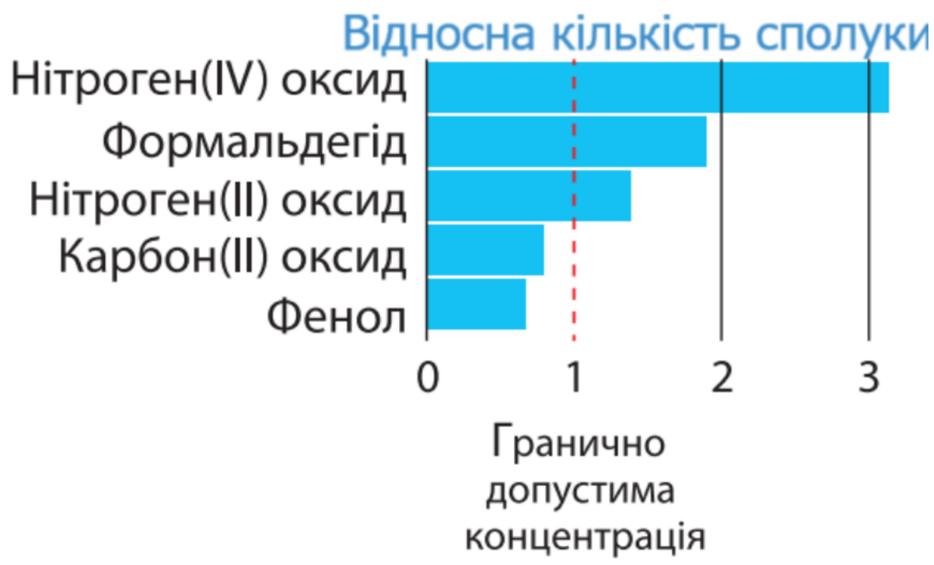
А 1
Б 3
В 4
Г 6

2. Проаналізуйте схему клонування, яке було здійснено 1996 року. Цифрами (1–4) позначено опис етапів клонування. Опис якого етапу зроблено ПОМИЛКОВО?



А 1
Б 2
В 3
Г 4

3. Дві учениці аналізували діаграму перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) забрудників повітря в Києві (2016). Перша учениця зазначила, що лише кількість нітрогену (IV) оксид перевищує гранично допустимі концентрації в повітрі. Друга учениця зауважила, що карбон(II) оксид та феноли містяться в повітрі в ГДК. Чи має хтось із них рацію?

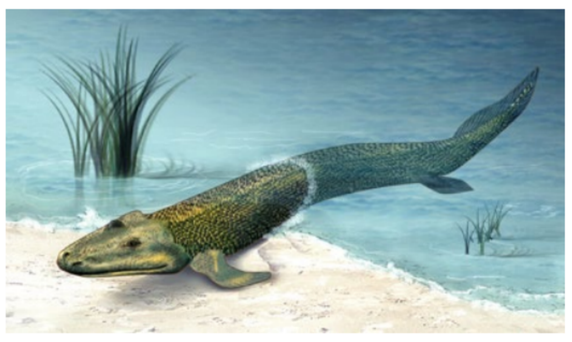


Дані: Щорічник стану забруднення атмосферного повітря на території України за даними державної системи спостережень Гідрометеослужби за 2016 рік

А лише перша учениця
Б лише друга учениця
В обидві мають рацію
Г обидві помиляються

4. На ілюстрації зображено тварину Тіктаалік, яка належить до роду викопних лопатеперих риб. Її викопні рештки були виявлені 2004 р. у відкладеннях пізнього девону (близько 375 млн років тому) на острові Елсмір (північ Канади). Ця тварина мала плечовий пояс у будові передніх кінцівок і легені, що вможливлювало її вихід на суходіл. Ці особливості можуть свідчити, що зображена тварина є перехідною формою між рибами та

А членистоногими
Б молюсками
В амфібіями
Г ссавцями



Реконструкція



Кінцівка — від плеча до плавця

5. Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник — унікальний об'єкт природно-заповідного фонду України. Незважаючи на катастрофу планетарного масштабу, природа відновлюється тут на диво швидкими темпами. Дослідники й дослідниці спостерігають повернення великих тварин у місця природних ареалів, де раніше вони були повністю винищені людиною. Фотопастки час від часу фіксують перебування тварин на території заповідника. До прикладу такими видами є ведмідь бурий та рись європейська. Ці тварини відображені на пам'ятних монетах Національного банку України із серії «Чорнобиль. Відродження».



Поміркуйте й дайте відповіді на запитання.

Який метод використано для дослідження?
1 моніторинг
2 моделювання
3 експериментальний

Яку роль виконують в екосистемі зображені тварини?
1 продуценти
2 консументи
3 редуценти

Який тип взаємозв'язку зображених тварин із оленем?
1 хижацтво
2 мутуалізм
3 паразитизм

6. Складіть план дослідження біологічних особливостей росту організмів на прикладі тварин або рослин (акваріумні риби, молюски, домашні птахи та ссавці, кімнатні рослини, рослини на присадибних ділянках).

Здійснюю пошук та опрацьовую інформацію

7. Ознайомтеся з інформацією про Нобелівську премію в галузі фізіології або медицини 1986 року:

«Італійська дослідниця в галузі нейробіології Рита Леві-Монтальчіні вивчала закономірності ембріонального розвитку нервової системи, використовуючи курячі ембріони в якості модельного об'єкта. Під час експерименту в ембріон пересаджували ракові клітини миші та спостерігали за розвитком їх та навколишніх тканин. Було виявлено, що в пухлину проростали ембріональні нервові волокна, причому їхня щільність була вищою за нормальну. Надалі американському біохіміку Стенлі Коену вдалося виділити з пухлин хімічні сполуки, що стимулювали ріст нервових клітин навіть поза межами організму («у пробірці»). Пізніше дослідники ідентифікували сполуку, яка зараз відома як фактор росту нервів (Nerve growth factor — NGF). Вона виявилася першою із великої групи сполук, які називають факторами росту. Наразі відомо, що вони відіграють важливу роль у нормальному розвитку організмів, а порушення їх функцій пов'язано із різноманітними хворобами.» («Rita Levi-Montalcini — Nobel Lecture: The Nerve Growth Factor: Thirty-Five Years Later». Nobelprize.org. Nobel Media AB 2014)

Проаналізуйте висновки, які учні й учениці сформулювали на уроці.

Висновок 1. У хордових тварин ембріогенез регулюється, зокрема, за участю гуморальних чинників.

Висновок II. Фактори росту є сполуками, які негативно впливають на ріст клітин певного типу.

Чи є поміж них правильні?

А правильний лише висновок I
Б правильний лише висновок II
В обидва висновки правильні
Г немає правильних висновків

8. Розпізнайте зображених хребетних тварин. За допомогою підручників або інтернет-джерел повторіть їхню будову.

Ознайомтеся із переліком ознак тварин.

1 шкіра вкрита роговими лусками
2 є декілька шийних хребців
3 легеневе дихання
4 очі вкриті повіками
5 мають середнє вухо
6 яйце захищене шкаралупою





Якими цифрами позначені адаптації до наземного середовища, спільні для обох організмів?

А 1, 2, 3
Б 1, 4, 6
В 2, 5, 6
Г 3, 4, 5

9. На ілюстрації зображені тварини, які мешкають в екосистемах на території України. Можливо деяких ви бачили обабіч ваших помешкань, під час подорожей або відвідування зоопарку. Ви знайомилися із цими тваринами під час вивчення курсу біології 7 класу.

Згадайте або повторіть за допомогою інтернет-джерел особливості тварин, які позначено буквами (А–К).



Позначте букву (букви), які правильно продовжують наведені в стовпчиках речення.

На рисунку водяну рептилію позначено буквою
1 З
2 А
3 К

Хребетні тварини, які пристосовані до розмноження у воді, позначено буквами
1 З, Ж
2 А, Е
3 Б, К

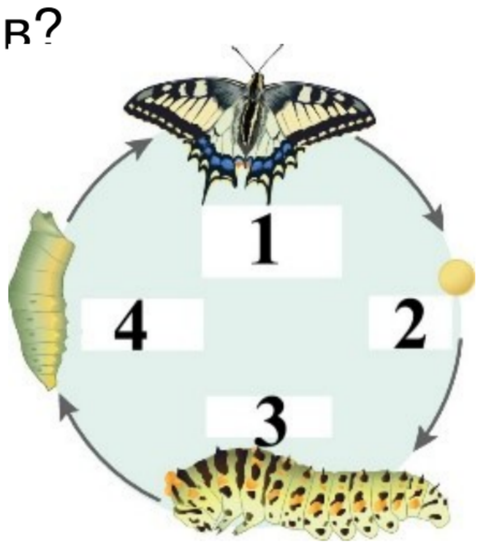
Тварини, які можуть бути ланками детритного трофічного ланцюга, позначено буквами
1 В, Г
2 А, Б
3 Д, З

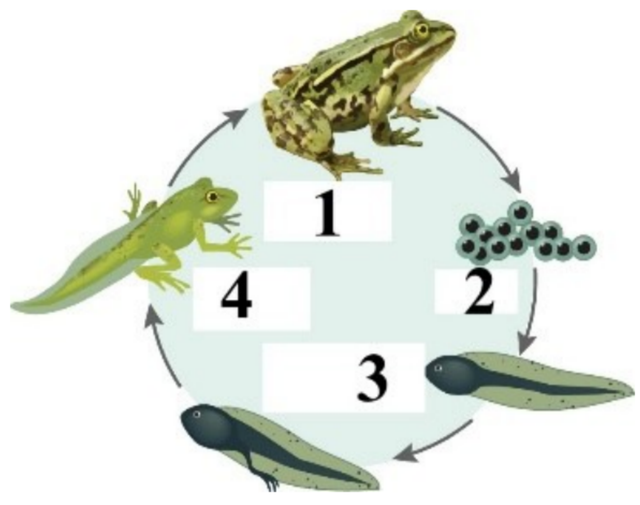
10. Складіть для однокласників й однокласниць тестові завдання із теми «Екологія», використавши ілюстрацію із завдання 9.

Усвідомлюю закономірності природи

11. На ілюстрації наведено життєві цикли метелика й жаби, стадії яких позначено цифрами 1–4. Якою цифрою позначено личинкову стадію в життєвому циклі обох організмів?

А 1
Б 2
В 3
Г 4





12. Дослідники виявили вплив біотичного чинника на зниження чисельності популяції Вивірки звичайної. Про який чинник ідеться?

А вирубування дерев у лісі
Б зменшення кількості опадів
В збільшення популяції куниці
Г зниження температури повітря

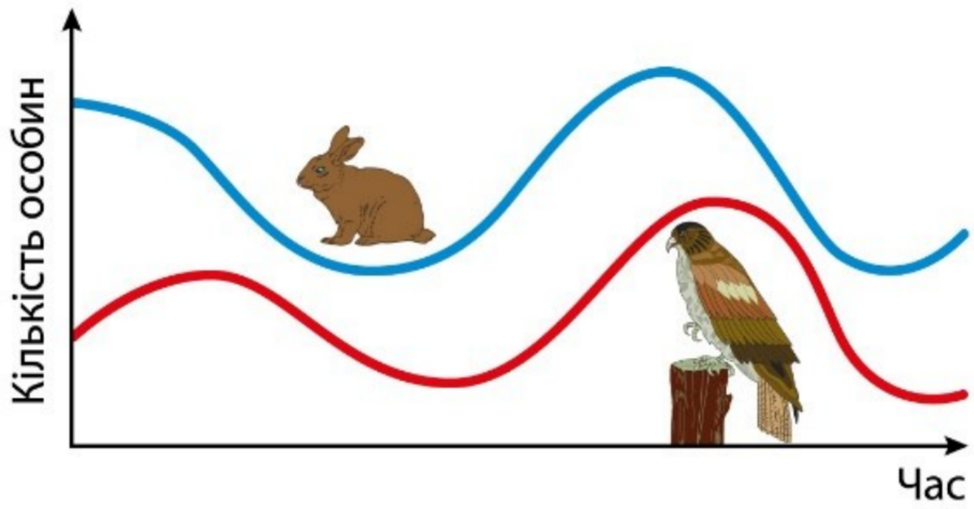
13. Унаслідок моніторингу було досліджено коливання чисельності популяції жертви та хижака. Результати дослідження наведено на графіках. Проаналізуйте твердження щодо них.

I. Графіки відображають залежність коливання чисельності популяцій тварин детритного ланцюга живлення.

II. Максимальне збільшення чисельності популяції хижака менше за максимальне збільшення чисельності популяції жертви.

Чи є поміж них правильні?

А правильне лише I
Б правильне лише II
В обидва правильні
Г немає правильних



14. Прочитайте вислів Чарльза Дарвіна з книги «Походження видів»: «*Природний добір діє тільки шляхом збереження і нагромадження малих спадкових змін, кожна з яких вигідна для істоти, що зберігається*».

Про який чинник еволюції ідеться?

А штучний добір
Б міграцію організмів
В спадкову мінливість
Г неспадкову мінливість

15. Продовжте твердження щодо значення відкриттів у біології для вирішення проблем людства.

Розвиток генетики вможливив пояснення причин хвороб, які називають
1 інфекційними
2 ендемічними
3 спадковими

Використання людиною ГМО забезпечено розвитком
1 клітинної інженерії
2 генетичної інженерії
3 мікробіологічного синтезу

Виявлення мутацій стало можливим завдяки
1 секвенуванню молекул ДНК
2 розвитку світлової мікроскопії
3 відкриттю бактерій та вірусів

16. Оцініть позитивні й негативні наслідки застосування сучасної біотехнології. Із якими етичними проблемами стикається людство, використовуючи методи клітинної та генетичної інженерії?

Оцінювання роботи

Група результатів	№ завдання	Кількість балів за завдання	Максимальна кількість балів
Досліджую природу	1, 2, 3, 4 5 6	0 або 1 0, 1, 2 або 3 5	12
Здійснюю пошук та опрацьовую інформацію	7, 8 9 10	0 або 1 0, 1, 2 або 3 7	12
Усвідомлюю закономірності природи	11, 12, 13, 14 15 16	0 або 1 0, 1, 2 або 3 5	12

§ 63. Загальні властивості біологічних систем

Це останній параграф підручника. Протягом навчального року на його сторінках ви ознайомлювалися із властивостями живого, які проявляються на різних рівнях. Ви вже знаєте, що рівні організації живої природи — це відносно одноманітні біологічні системи, складники яких взаємопов'язані між собою. Наприклад, біологічною системою є клітина, оточена плазматичною мембраною, у цитоплазмі якої містяться органели та включення, що взаємодіють між собою. Біосфера як біологічна система також функціонує в певних межах, де наявні умови для існування живого. Складниками цієї біологічної системи є її абіотична та біотична частини. Вивчення проявів властивостей живого ви розпочинали з молекулярного рівня й поступово дійшли до біосферного. Усі властивості живого проявляються на кожному рівні організації живого. Такими властивостями є обмін речовин та енергії з навколишнім середовищем, саморегуляція, самовідтворення, розвиток, здатність сприймати інформацію, адаптація до умов існування. Тож наведемо приклади проявів певних властивостей в окремих біологічних системах.

Основою існування живого на різних рівнях є функціонування високомолекулярних органічних сполук. Головними з-поміж органічних речовин є білки, нуклеїнові кислоти, вуглеводи й ліпіди.

Обмін речовин та енергії із навколишнім середовищем — необхідна умова існування живих систем. Два складники процесу — енергетичний та пластичний обмін — урівноважуючись, забезпечують динамічну сталість будови й властивостей внутрішнього середовища біологічних систем. Перебіг цих процесів в організмах ви вивчали в курсах біології людини, тварин та рослин у попередніх класах. У цьому ж навчальному році основну увагу було приділено вивченню цих процесів на рівні клітини та екосистеми.

Біологічні системи здатні до самовідтворення, росту й індивідуального розвитку. Самовідтворення на молекулярному рівні ґрунтується на здатності молекули ДНК до реплікації з утворенням її копії. Це забезпечує самовідтворення клітин унаслідок поділу, адже одним із головних результатів цього процесу є розподіл молекул ДНК між дочірніми клітинами. У свою чергу, статеві та соматичні клітини забезпечують відповідно статеве та нестатеве розмноження організмів, тобто самовідтворення на організмовому рівні.

Здатність біологічних систем адаптуватися до умов середовища також є однією з основних властивостей живого. Можна зілюструвати взаємозв'язок змін на різних рівнях, які забезпечують адаптацію організмів, наступним прикладом. Генотип реалізується у фенотипі шляхом синтезу

та функціонування білків та може змінюватися завдяки процесам мутацій і рекомбінацій. Ці зміни зумовлюють здатність організмів пристосовуватися до умов навколишнього середовища. Ви ознайомилися із сучасною еволюційною теорією, яка називає та пояснює рушійні сили й закономірності історичного розвитку органічного світу. Матеріальною основою еволюції є спадкова мінливість, а рушійною силою — природний добір. Унаслідок виживання найбільш пристосованих до умов існування організми адаптуються до умов навколишнього середовища. Отже, зміни, що відбуваються в генотипі окремого організму, є основою еволюційного розвитку органічного світу.

Для біологічних систем характерною ознакою є здатність до саморегуляції. Ядро забезпечує регуляцію процесів у клітині, на рівні організму саморегуляцію забезпечують регулятивні системи (нервова, ендокринна тощо). У цьому навчальному році ви більше дізналися про надорганізмові біологічні системи. Найменш інтегрованими й відповідно більш вразливими для зовнішніх впливів є популяційно-видовий, екосистемний та біосферний рівні. Зниження біорізноманіття веде до дестабілізації екосистем, порушення ланцюгів живлення й зрештою призводить до екологічної кризи, яка, своєю чергою, може спричинити біосферну кризу. Найзгубніше діють на стабільність надорганізмових біологічних систем чинники, інтенсивність дії яких неперіодично змінюється й виходить за межі витривалості біологічних систем. В основному так діють антропогенні чинники.

Вивчення властивостей живого на всіх його рівнях триває. Тож попереду великі відкриття, до яких, можливо, долучитеся й ви.

Бажаємо вам успіхів в опануванні основ біологічної науки!



Предметний покажчик

Абіотичні чинники 185
Автотрофи 67
Алель 101
Амінокислоти 24
Аналогічні органи 221
Антропогенез 237
Антропогенні чинники 185
Атавізми 222

Білки 24
Біологічна система 7
Біологія 5
Біополімери 17
Біорізноманіття 205
Біосфера 181
Біотехнологія 167
Біотичні чинники 185
Бластуляція 148

Вегетативне розмноження 142
Вид 229
Видоутворення 239
Віроїди 41
Віруси 38
Включення 56
Вторинна сукцесія 194
Вуглеводи 20

Гаметогенез 144
Гаструляцій 148
Ген 91
Генетична інженерія 168
Генетичний код 98
Генні (точкові) мутації 119
Геном 90
Геномні мутації 120
Генотип 91
Генофонд 226
Географічна ізоляція 228
Географічне видоутворення 230
Гермафродитизм 143
Гетерозиготний організм 102
Гетеротрофи 67
Гібридизація 164
Гліколіз 69
Гомозиготний організм 102
Гомологічні органи 221

Денатурація 26
Деструкція 26
Дивергенція 233
Дигібридне схрещування 103
Дизруптивний добір 232
Диференціація 151
Дрейф генів 227
Дроблення 148

Еволюція 221
Екологічна ізоляція 228
Екологічне видоутворення 231
Екологічне мислення 212
Екологічні чинники 185
Екосистема 189
Ембріогенез 148
Ембріональна індукція 151
Ембріональний період 152
Ендоплазматична сітка 57
Енергетичний обмін 66
Епістаз 110

Життєвий цикл 152
Життя 7

Запліднення 145
Захворювання екологічні 13
Захворювання ендемічні 13
Зчеплене успадкування 112

Ізоляція 227

Каріотип 92
Клітина 48
Клітина евкаріотична 51
Клітина прокаріотична 51
Клітинна інженерія 168
Клітинне дихання 68
Клітинний центр 56
Клітинний цикл 80
Кодомінування 108
Коменсалізм 188
Комплекс Гольджі 58
Комплементарність 33
Конвергенція 234
Консументи 189
Контрацепція 146

Ланцюг живлення 191
Летальна дія гена 109
Лізосоми 58
Ліпіди 22
Локус 101

Мейоз 82
Метаморфоз 153
Метод експериментальний 5
Метод порівняльно-описовий 5
Мікроеволюція 229
Мінливість 88, 118
Мітоз 81
Мітохондрії 59
Моделювання 6
Моніторинг 6
Моногібридне схрещування 103
Мономери 17
Мутації 118
Мутуалізм 188

Неспадкова мінливість 118, 122
Нестатеве розмноження 142
Ноосфера 200
Нуклеїнові кислоти 32

Обмін речовин (метаболізм) 66
Онтогенез 148
Оогенез 145
Органели 56
Організми 169
Органічні речовини 17
Органогенез 149

Паразитизм 188
Паралелізм 235
Партеногенез 143
Первинна сукцесія 194
Пероксисоми 58
Плазматична мембрана 52
Пластиди 59
Пластичний обмін 66
Плейотропія 111
Полігібридне схрещування 103
Поліембріонія 143
Полімери 17
Полімерія 110
Популяційні хвилі 226
Популяція 225
Порода 163
Постембріональний період 152
Природний добір 224
Природокористування 211
Пріони 40
Продуценти 189

Редуценти 189
Ренатурація 26
Реплікація 94
Репродуктивне здоров'я 147
Рибосоми 57
Рівні організації живої природи 8
Різностатеві організми 143
Рудименти 222
Рушійний добір 232

Селекція 163
Середовище існування 186
Сорт 163
Спадкова мінливість 118
Спадковість 88
Сперматогенез 144
Сперматозоїди 144
Стабілізувальний добір 231
Сталий розвиток 209
Статеве розмноження 142
Статеві клітини 144
Сукцесія 193

Транскрипція 96
Трансляція 100
Трофічна сітка (мережа) 192
Трофічний рівень 191

Фенотип 101
Ферменти 28
Фотоліз 73
Фотосинтез 72

Хемосинтез 76
Хижацтво 188
Хлорофіл 72
Хромосомні мутації 120

Цитоплазматична спадковість 116

Штам 163
Штучний добір 164

Ядро 60
Яйцеклітини 144
Якість довкілля 202

Джерела додаткової інформації

1. *Афанасьєва К. С.* Олімпіадний мінімум. Генетика та молекулярна біологія / *К. С. Афанасьєва, С. Р. Рушковський.* — Х. : Вид група: Основа, 2012. — 189 с.
2. *Баринов Е. Ф. и др.* Атлас электронной микроскопии : в 2 т. — Донецк, 1997–1998.
3. Біологія : довід. для учнів 10, 11 кл. та вступників до ВНЗ / В. О. Мотузний. — К. : НАУ, 2004. — 156 с.
4. *Бойчук Ю. Д., Солошенко Е. М., Бугай О. В.* Екологія і охорона навколишнього середовища : навч. посіб. — 2-ге вид., стереотип. — Суми : Унів. книга, 2003. — 284 с.
5. *Вернадский В. И.* Живое вещество биосферы. — М. : Наука, 1994. — 672 с.
6. *Дарвін Ч.* Походження видів. — Х. : Державне видавництво сільськогосподарської літератури УРСР, 1949. — 443 с
7. *Крисаченко В. С., Мостяєв О. І.* Україна: природа і люди. — К. : НІСД, 2002. — 623 с.
8. *Ситник О. С.* Культурна антропологія: походження людини і суспільства : навч. посіб. — Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2012. — 180 с.
9. *Сухомлинов А. И., Сухомлинова И. А., Микитюк А. Н. и др.* Экология и здоровье человека. — Харьков : ХГПУ, 1992. — 128 с.
10. *Царик Т. Є., Файфура В. В.* Основи екології. — Тернопіль, 2003. — 208 с.
11. Червона книга України : Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха — К. : Глобалконсалтинг, 2009. — 900 с.
12. Червона книга України : Тваринний світ / за ред. І. А. Акімова. — К. : Глобалконсалтинг, 2009. — 600 с.
13. http: // biology.org.ua (Новини в біологічній галузі, бібліотека для підготовки, архів завдань біологічних олімпіад та турнірів.)
14. htpp: // my.science.ua (Проєкт, що популяризує науку в Україні. Науково-популярні статті, анонси різноманітних наукових та навколо-наукових подій. Будьте в курсі!)
15. http: // nobelprize.org (Офіційний сайт Нобелівського комітету. У розділі «Фізіологія та медицина» можна ознайомитися з дослідженнями багатьох видатних учених, про яких ви дізналися з підручника.)
16. http: // wikipedia.org (Нескінченне джерело інформації про все.)

Зміст

Шановний дев'ятикласнику! Шановна дев'ятикласнице! 3

§ 1. Біологія — наука про живе. Рівні організації біологічних систем . . . 5

ТЕМА 1. Хімічний склад клітини 9
§ 2. Хімічний склад клітини. Неорганічні сполуки 10
§ 3. Органічні молекули. Біологічні макромолекули — біополімери . . . 16
§ 4. Вуглеводи та ліпіди 20
§ 5. Білки: структурна організація та функції 24
§ 6. Ферменти, їх біологічна роль 28
§ 7. Нуклеїнові кислоти: структурна організація та функції. АТФ 32
§ 8. Віруси та їхня біологічна роль 36
§ 9. Пріони та віроїди 40
Цікавинки 42
Аналізуємо інформацію, робимо висновки 44
Самоконтроль рівня навчальних досягнень 45

ТЕМА 2. Клітина — структурно-функціональна одиниця організмів 47
§ 10. Методи дослідження клітин 48
§ 11. Клітинна мембрана 52
§ 12. Цитоплазма й основні клітинні органели 56
§ 13. Ядро: будова та функції 60
§ 14. Типи клітин. Рослинна, тваринна та грибна клітини 62
§ 15. Обмін речовин і перетворення енергії у клітині 66
§ 16. Біохімічні механізми дихання 68
§ 17. Фотосинтез та його планетарна роль 72
§ 18. Хемосинтез та його біологічна роль 76
§ 19. Загальні принципи перетворення речовини у клітинах 78
§ 20. Клітинний цикл. Мітоз 80
§ 21. Мейоз та його біологічна роль 82
Аналізуємо інформацію, робимо висновки 84
Самоконтроль рівня навчальних досягнень 85

ТЕМА 3. Закономірності спадковості й мінливості організмів . . 87
§ 22. Генетика як наука 88
§ 23. Зберігання генетичної інформації у клітинах 90
§ 24. Передавання генетичної інформації від покоління до покоління . . 94
§ 25. Реалізація спадкової інформації:
транскрипція та процесинг РНК 96

§ 26. Реалізація спадкової інформації: синтез білків і формування ознак 98
§ 27. Гібридологічний метод. Закономірності, відкриті Грегором Менделем 102
§ 28. Неменделівське успадкування ознак 108
§ 29. Зчеплене успадкування ознак 112
§ 30. Цитоплазматична спадковість 116
§ 31. Поняття про мінливість. Спадкова мінливість 118
§ 32. Модифікаційна мінливість 122
§ 33. Медична генетика 124
§ 34. Медико-генетичне консультування 128
Аналізуємо інформацію, робимо висновки 132
Самоконтроль рівня навчальних досягнень 133

Чи досягнуто результатів навчання? Тема 1–3 135

ТЕМА 4. Розмноження та індивідуальний розвиток організмів 139
§ 35. Репродукція — універсальна властивість організмів 140
§ 36. Способи розмноження організмів 142
§ 37. Статеві клітини й запліднення 144
§ 38. Особливості репродукції людини 146
§ 39. Ембріогенез хордових тварин та його регуляція 148
§ 40. Післязародковий розвиток та життєві цикли 152
§ 41. Чинники, що впливають на ріст і розвиток людини 156
Аналізуємо інформацію, робимо висновки 160
Самоконтроль рівня навчальних досягнень 161

ТЕМА 5. Біологія як основа селекції, біотехнології та медицини 163
§ 42. Селекція 164
§ 43. Біотехнологія, її завдання та методи 168
§ 44. Генетична інженерія в сучасній селекції 170
§ 45. Генетична інженерія людини 172
§ 46. Клітинна інженерія 174
§ 47. Біологія і медицина 176
Аналізуємо інформацію, робимо висновки 178
Самоконтроль рівня навчальних досягнень 179

ТЕМА 6. Людина й біосфера 181
§ 48. Біосфера як цілісна система 182
§ 49. Екологічні чинники 186
§ 50. Екосистема. Різноманітність екосистем 190
§ 51. Харчові зв'язки та потоки енергії в екосистемах 192

§ 52. Стабільність екосистем та причини її порушення 194
§ 53. Учення Володимира Вернадського
про біосферу та ноосферу 198
§ 54. Антропогенний вплив на біосферу 202
§ 55. Сучасні напрями охорони природи 206
§ 56. Стратегія сталого розвитку людства 210
Аналізуємо інформацію, робимо висновки 215
Аналізуємо інформацію, робимо висновки 217
Аналізуємо інформацію, робимо висновки 218
Самоконтроль рівня навчальних досягнень 219

ТЕМА 7. Еволюція органічного світу 221
§ 57. Еволюція та її докази. Відкриття Ч. Дарвіна 222
§ 58. Популяція як елементарна одиниця еволюції 226
§ 59. Видоутворення як етап еволюційного процесу 230
§ 60. Сучасні погляди на еволюцію 234
§ 61. Еволюція людини 240
§ 62. Світоглядні та наукові погляди на походження життя 242
Аналізуємо інформацію, робимо висновки 247
Самоконтроль рівня навчальних досягнень 248

Чи досягнуто результатів навчання? Тема 4–7 250

§ 63. Загальні властивості біологічних систем 256

Предметний покажчик 258
Джерела додаткової інформації 260

ІНТЕРАКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОННИЙ ДОДАТОК ДО ПІДРУЧНИКА

https://lms.e-school.net.ua/courses/course-v1:EPC_Shkolyar+Bio09+2026_T1

Навчальне видання

АНДЕРСОН Оксана Анатоліївна
ВИХРЕНКО Марина Анатоліївна
ЧЕРНІНСЬКИЙ Андрій Олександрович

БІОЛОГІЯ

Підручник для 9 класу
закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Підручник відповідає Державним санітарним нормам і правилам
«Гігієнічні вимоги до друкованої продукції для дітей»

Підготовка оригінал-макета *Олена Корбуш*
Редакторка, коректорка *Тетяна Шахматенко*
Художня редакторка *Ярослава Головченко*
Художниця обкладинки *Анастасія Ткач*
Підготовка матеріалів для е-додатка *Арсен Іщук*
Розробка та підготовка е-додатка *Марія Корбуш*

Формат 70x100/16. Обл.-видавн. 15.5. Гарнітура Шкільна.
Підписано до друку ??.??.2026. Умов. друк. арк. 21.79. Друк офсет.
Тираж ????? пр. Зам. №

Виготовлено згідно зі СОУ 18.1-02477019-07:2015 (Зі змінами)

Учбово-видавничий центр «Школяр»
02094, Київ, вул. Сергієнка, 18
Свідоцтво ДК № 7925 від 04.09.2023 р.
Тел.: 066-061-01-76, 063-280-78-83, 067-209-60-88
www. shkolyar.com.ua
E-mail: shkolyar_info@ukr.net

Виготовлено у ТОВ «Конві-Прінт»
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 6369 від 23.08.2018 р.
03680, м. Київ, вул. Антона Цедіка, 12, тел. +38044 332-84-73

Права авторів і видавничі права УВЦ «Школяр» захищені Законом України
(Про авторське право і суміжні права) від 23.12.1993 р.
(зі змінами і доповненнями, внесеними Законом України
від 13.12.2022 р. № 2849-IX; від 20.03.2023 р. № 2974-IX)
Друковане копіювання книжки або її частини, будь-які інші контрафактні видання
тягнуть за собою відповідальність згідно зі ст. 52 цього Закону