

Костянтин Задорожний, Галина Ягенська,
Володимир Додь

БІОЛОГІЯ



9 Клас

РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИТТЯ

БІОСФЕРНИЙ

ЕКОСИСТЕМНИЙ

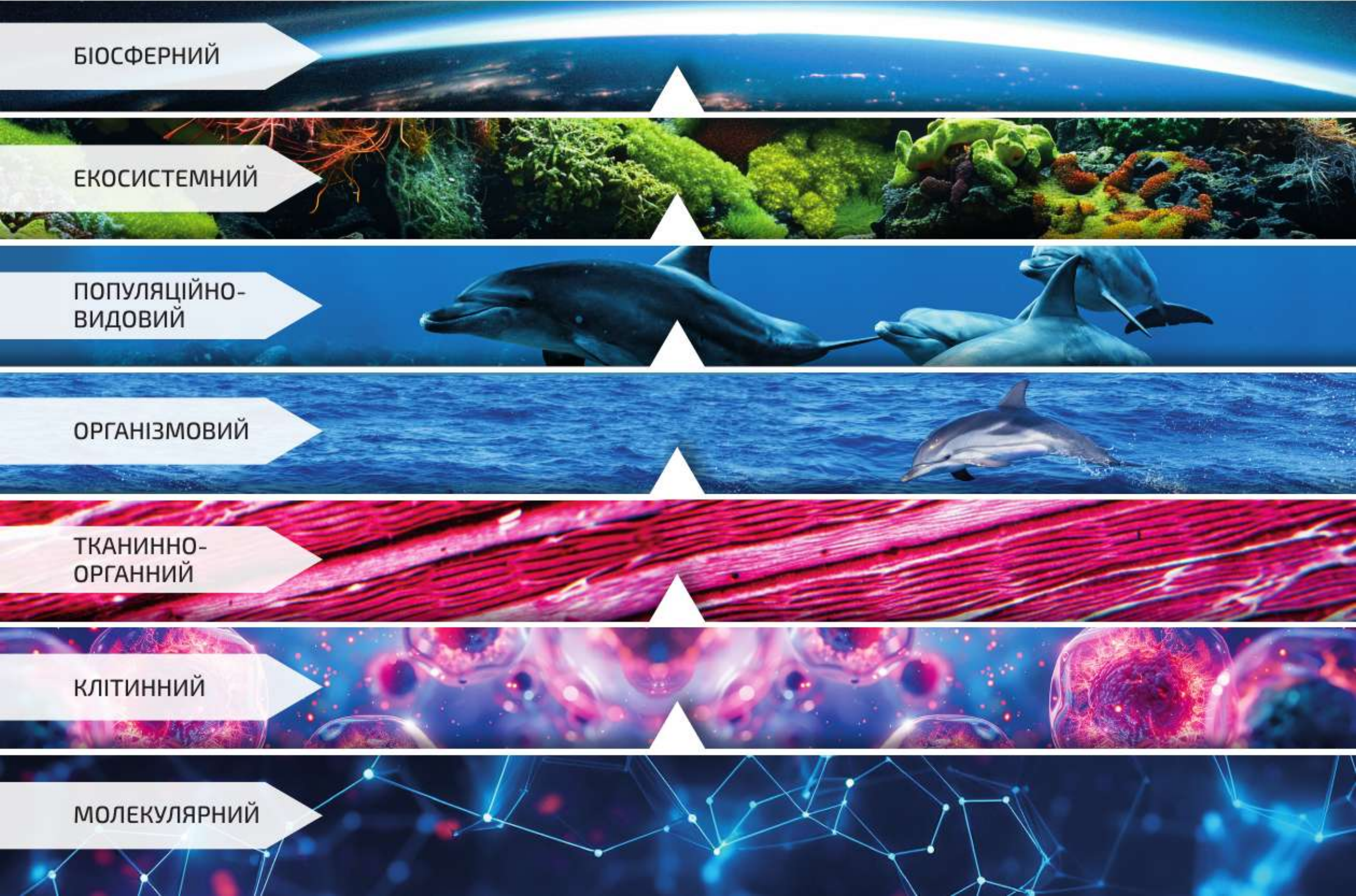
ПОПУЛЯЦІЙНО-
ВИДОВИЙ

ОРГАНІЗМОВИЙ

ТКАНИННО-
ОРГАННИЙ

КЛІТИННИЙ

МОЛЕКУЛЯРНИЙ



Костянтин Задорожний, Галина Ягенська,
Володимир Додь

БІОЛОГІЯ

Підручник для 9 класу
закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Київ
Видавничий дім «Освіта»
2026

УДК 57*кл9(075.3)
3-15

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

ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО

Підручник розроблено
за модельною навчальною програмою
«Біологія. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти
(авт. Балан П. Г., Кулініч О. М., Юрченко Л. П.)

Інтерактивний електронний додаток (далі — **е-додаток**)
до підручника розміщено за посиланням:

<https://smarttextbook.com.ua/bio-9/>



Задорожний К. М.

3-15 Біологія : підруч. для 9 класу закладів загальної
середньої освіти / К. М. Задорожний, Г. В. Ягенська,
В. В. Додь. — К. : Видавничий дім «Освіта», 2026. —
256 с. : іл.

ISBN 978-966-983-648-9.

УДК 57*кл9(075.3)

ISBN 978-966-983-648-9

© Задорожний К. М., Ягенська Г. В., Додь В. В.,
2025
© Комарова А. В., художнє оформлення, 2026
© Видавничий дім «Освіта», 2026

Вітаємо тебе на сторінках підручника «Біологія»!

Цьогоріч ти продовжиш вивчення курсу біології. Протягом року ти ознайомишся із загальними основами функціонування як окремих організмів, так і цілих біологічних систем. Ти розберешся з тим, як працює життя на різних рівнях — від окремих біологічних молекул до біосфери в цілому.

Ти отримаєш уявлення про хімію життя, зрозумієш, чому клітини є основою життєдіяльності всіх організмів і навіть неклітинних біологічних структур. Важливою частиною твого навчання буде розгляд механізмів спадковості і мінливості організмів. Ти зрозумієш, чому нащадки одночасно і схожі, і несхожі зі своїми предками.

Розуміння тісних взаємозв'язків усього живого ти зможеш сформувати в процесі розгляду екосистем нашої планети та процесів, які в них відбуваються. Також дуже важливим для цього буде знайомство з еволюційними процесами, які відбувалися і продовжують відбуватися на нашій планеті. Таке розуміння буде важливим для того, щоб зберегти середовище існування на нашій планеті і не стати причиною катастрофічних змін, які можуть знищити навіть саме людство.

Якщо ти плануєш стати лікарем / лікаркою, психологом / психологинею, біологом / біологинею чи біотехнологом / біотехнологинею, вивчення біології стане важливим етапом на шляху до реалізації твоїх планів. Життя є дуже різноманітним, але функціонує воно за однаковими принципами і законами. Їх знання є необхідним для виживання в сучасному світі і для збереження планети для наступних поколінь.

Пригадаймо структуру підручника.

Кожен параграф підручника розпочинається з пізнавальної рубрики

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

Рубрика **ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ** призначена для тренування розуму. Тут ти навчишся міркувати, доводити, робити висновки. Щоб виконати ці завдання, потрібна інформація з рубрик **РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ** і **ДЛЯ ТИХ, ХТО ХОЧЕ БІЛЬШЕ ЗНАТИ...**. Відомості в них подано у форматі таблиць, схем, інфографіки, текстів.

Рубрика **БІОСЛОВО** допоможе ознайомитися з біологічними термінами й поняттями.

Узагальнення та виокремлення найважливіших теоретичних моментів здійснюються в рубриці **ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ**.

Завершують параграфи рубрика **ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ**, яка дає змогу повторити й закріпити опанований матеріал, та рубрика **СКЛАДАЮ РЕФЛЕКСИВНУ МОЗАІКУ** — завдання, які допоможуть краще зрозуміти те, що було опановано під час роботи.

Сучасний підручник вже давно перестав бути просто книжкою. Він став суттєво більшим за допомогою **інтерактивного електронного додатка**, який дає змогу доєднатися до міжнародних ресурсів із вивчення біології, ознайомитися з інтерактивними симуляціями та іграми, дізнатися багато цікавих фактів, долучитися до досліджень, переглянути відео, виконати інтерактивні завдання та вправи, перевірити свої знання за допомогою тестів.

Інтерактивний електронний додаток (далі — **е-додаток**) розміщено за посиланням:

<https://smarttextbook.com.ua/bio-9/> →



<https://vse.ee/cvyx>

Успішного і захопливого тобі пізнання біології!
Будь розумним / розумною!

ВСТУП

1 ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ



§1 Біологія як наука. Методи біології

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Дельфіни і бегемоти завжди здавалися такими далекими в еволюційній історії. Хто міг уявити, що вони є близькими родичами? Тепер їх відносять в один ряд — Китопарнокопитні. Розробка і застосування яких методів дослідження спричинила такий переворот у систематиці живих організмів?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

1 Одним із класичних прикладів математичного моделювання в біології є модель «стокротового світу», у якій розглядалася подібна до Землі планета, що оберталася навколо зорі, схожої на Сонце, рівень випромінювання якої поступово зростав. За відсутності життя на планеті температура її поверхні змінювалася відповідно до зміни випромінювання зорі. Але, якщо поверхня планети заселялася стокротками двох кольорів (чорного і білого), ситуація змінювалася. Як могла змінюватися температура поверхні планети за умови, що стокротки можуть існувати в діапазоні температур від 5 до 40 °C, а оптимальна температура для них +20 °C?



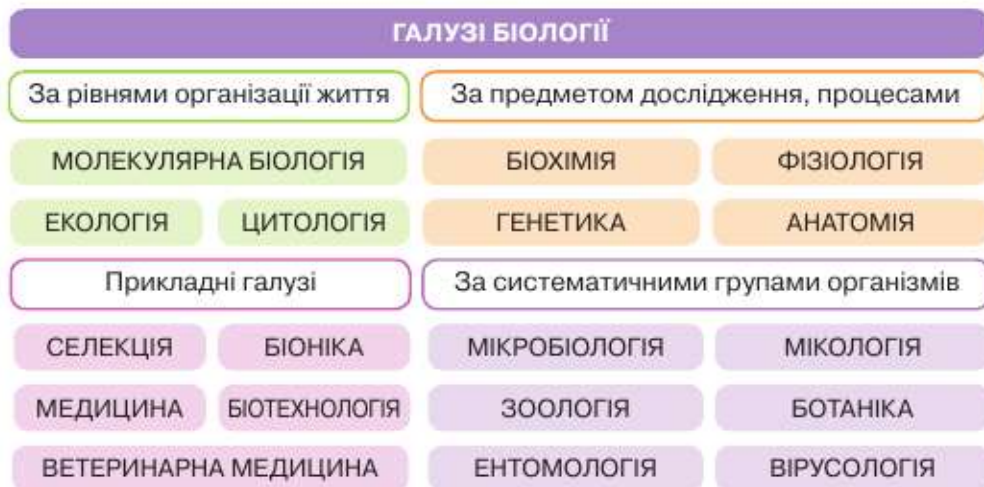
2 Відшукай принаймні три суттєві помилки в дослідженні учня і сформулюй власні рекомендації для якісного експерименту.

Учень досліджував вплив стимуляторів росту на зміну висоти проростків. Для експерименту він узяв по одному проростку пшениці й огірка; обробив їх розчинами двох різних стимуляторів. Протягом 10 днів у щоденнику спостережень занотовував висоту рослин. Вона збільшувалася. Учень зробив висновок, що стимулятори діють.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Біологія є однією з природничих наук, яка вивчає життя в усьому його різноманітті. Тож сучасна біологія перетворилася на цілу систему наук, кожна з яких проводить дослідження у певній сфері.

Пригадай, що досліджують різні галузі біології (мал. 1.1).



Мал. 1.1. Розмаїття галузей біології

Методи біологічних досліджень поділяють на: *емпіричні* (пов'язані з безпосередньою роботою з природними об'єктами) і *теоретичні* (робота з моделями, статистичний аналіз даних тощо).

Емпіричні методи — спостереження та експеримент. Спостереження не передбачає втручання в природні процеси і відбувається у формі фіксації певних фактів. Експеримент проводиться з активним втручанням дослідника у заздалегідь визначених умовах.

Спостереження може бути описовим (досліджується окремий об'єкт) або порівняльним (досліджуються кілька об'єктів). Учені використовують саме порівняльно-описовий метод для виявлення нових видів організмів.

Важливим сучасним різновидом спостережень є моніторингові дослідження, коли певна сукупність параметрів вивчається протягом тривалого часу. Їх застосовують для оцінки динаміки змін екосистем та біосфери загалом. На основі зібраних таким способом даних створюються моделі, що є основою для прогнозування змін.

До прикладу, комп'ютерна модель «стокротковий світ» (мал. 1.2, с. 8) (перший варіант розроблено у 1983 р.) показала, що без наявності життя температура на планеті підвищується відповідно до рівня випромінювання зорі. А от наявність лише двох видів стокроток (темних і світлих) завдяки кількості давала змогу тривалий час підтримувати сталу температуру (оптимальну для стокроток — +20 °C). Нові варіанти моделі показали, що збільшення складності екосистеми суттєво підвищує стабільність умов існування на планеті.

Насамперед дослідник виявляє певну проблему, висуває гіпотезу для її розв'язання. Створення моделей, проведення експериментів дуже важливі у перевірці гіпотези.

Пригадай етапи наукового дослідження і простеж застосування наукового методу на прикладі відкриття хімічних синапсів в **е-додатку** (завдання 1.1).

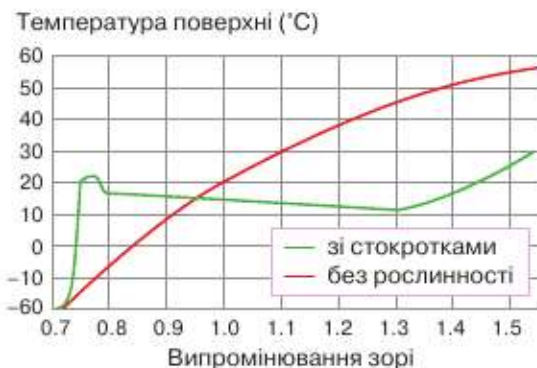
Під час планування і проведення дослідження необхідно дотримуватися певних правил.

Бажано, щоб об'єм вибірки (кількість об'єктів, що досліджуються) був достатнім. Спостереження лише за одним-двома об'єктами часто призводить до хибних висновків. Пам'ятай, що не можна досліджувати вплив багатьох чинників одночасно, позаяк буде складно визначити, що саме спричинило ті чи інші наслідки.

В експерименті розрізняють залежну і незалежну змінні. *Залежна змінна* — це параметр, який досліджується (вимірюється), а *незалежна* — параметр, що змінюється (маніпулюється) дослідником для того, щоб оцінити його вплив на залежну змінну. Наприклад, якщо ми досліджуємо, як підживлення мінеральними добривами впливає на врожайність рослин одного сорту, то маса мінеральних добрив, доданих на 1 м², — це незалежна змінна (вона завчасно визначається дослідником), а врожайність — залежна.

Поява нового методу дослідження завжди відкриває нові перспективи. Наприклад, молекулярно-біологічні методи, зокрема секвенування ДНК, створило основу для розуміння ходу еволюції. Порівнюючи великі бази отриманих даних, науковці простежили, як набувалися та успадковувалися генетичні зміни. Часто отримані результати суперечили усталеним поглядам на еволюцію тих чи інших груп.

В останні десятиліття стрімко розвиваються метагеноміка, біоінформатика, відбулися суттєві зрушення в еволюційній біології. Досягнення фундаментальної науки впроваджуються прикладними галузями — біотехнологією, селекцією, медициною. На основі аналізу ДНК уже можна передбачити ймовірність розвитку хвороб, ефективність дії ліків. Прискорення в науці і технологіях зростає, що розширює можливості для гнучкої



Мал. 1.2. Зміна температури у «стокротковому світі»

креативної молоді. Вивчаючи історію наукових відкриттів чи винаходів, намагайся думати як дослідник чи винахідник. Можливо, післязавтра саме ти запропонуєш геніальну ідею наукового дослідження або винаходу.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Біологія — це система наук, що вивчає життя в усіх його проявах і на всіх рівнях організації живого. Методи біологічних досліджень поділяють на емпіричні (спостереження, експеримент) і теоретичні (статистична обробка, моделювання). В експерименті розрізняють залежну (параметр, який досліджується) і незалежну (параметр, що змінюється дослідником) змінні. Впровадження новітніх методів суттєво розширює можливості біологічних досліджень.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Назви 8–10 галузей біологічної науки та сферу їх досліджень. Скористайся малюнком 1.1 (с. 7) та завданням 1.2 в **е-додатку**.
2. Які галузі біології відносять до прикладних? Поясни їх роль у житті людини і суспільства.
3. Поясни відмінність між спостереженням і експериментом.
4. Наведи конкретні приклади використання моделювання у біології.
5. Ознайомся з історією відкриття хімічних синапсів в **е-додатку**. Проаналізуй, як було реалізовано кожен етап наукового дослідження.
6. Ознайомся в **е-додатку** з дослідженням впливу фізичних і хімічних чинників на проростання насіння (завдання 1.3). Визнач: а) скільки варіантів було у дослідженні; б) який об'єм вибірки загалом; в) що є залежною і незалежною змінними.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

1. Назви три факти, які ти дізнався / дізналася після опанування параграфа.
2. Закінчи одне з речень:
 - Я став / стала більш обізнаним / обізнаною щодо...
 - Мене здивувало... • Я побачив / побачила зв'язок...
3. З якими перешкодами ти зіткнувся / зіткнулася під час опанування параграфа? Як ти подолав / подолала труднощі?
4. Де і як ти зможеш використати знання і набутий досвід?

§ 2 Рівні організації живої матерії

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Уяви ситуацію, коли в одне з озер на території України у значній кількості потрапила токсична речовина, яка взаємодіє з молекулами хлорофілу і руйнує їх. Для інших молекул живих організмів ця речовина не є шкідливою. Як ця подія може вплинути на різні рівні організації життя у цьому озері?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Перелік рівнів організації життя починають розглядати з молекулярного. Чому рівень атомів не включають до складу цього переліку?
- 2 До складу яких рівнів організації живої матерії можуть входити інфузорії (мал. 2.1)?



Мал. 2.1. Інфузорія

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Однією з характерних рис життя є ієрархічність його організації. Найявність кількох рівнів організації характерна для всіх живих систем. Вони взаємопов'язані, і процеси на кожному з них відбуваються узгоджено. Наприклад, потрапляння надлишку сполук Фосфору у водойму впливає на перебіг біохімічних реакцій у клітинах водоростей. Наслідком цього стає їхнє інтенсивне розмноження, що впливає як на популяції цих видів, так і на стан усієї екосистеми. Зазвичай виокремлюють такі рівні організації живої матерії: молекулярний, клітинний, тканинно-органный, організмовий, популяційно-видовий, екосистемний, біосферний (мал. 2.2).

Молекулярний рівень об'єднує молекули, які входять до складу організмів і створюються ними. Атоми живих і неживих об'єктів ніяк між собою не відрізняються. Відмінностей між живою і неживою матерією на атомарному рівні немає. А от молекули живих і неживих систем суттєво відрізняються за співвідношенням атомів різних елементів. Також характерною особливістю є наявність тільки певних форм складних молекул, не всі з яких можуть використовуватися клітинами. Прикладами цього рівня організації є молекули гемоглобіну, колагену, целюлози тощо.

Клітинний рівень організації утворюється органічними і неорганічними молекулами та клітинними органелами, що, об'єднуючись, утворюють клітини. Цей рівень є базовим для всіх живих систем.

Без клітин існування і відтворення життя неможливі. Навіть неклітинні форми життя (як-от віруси) здатні відтворюватися тільки за участі клітин (у яких вони паразитують). На цьому рівні організації містяться нейрони, остеоцити, лейкоцити та інші клітини.

У багатоклітинних організмах клітини утворюють різноманітні структури (тканини і органи), які представляють *тканинно-органний рівень* організації життя. Об'єднання клітин утворюються шляхом їхньої спеціалізації та диференціації. Адже тканини і органи є структурами, що забезпечують виконання певних функцій. Прикладами цього рівня є лімфа, камбій, квітка, печінка, плодове тіло опенька тощо.

Тканини і органи, об'єднуючись, утворюють наступний рівень організації — *організмівий*. Залежно від систематичної групи організмів (зелені рослини, справжні гриби, тварини тощо) склад тканин і органів може бути різним. Але в усіх випадках їх функціонування потребує узгодження. Для цього створюються спеціальні системи регуляції, як-от нервова та ендокринна системи тварин. Організмівий рівень



Біосферний



Екосистемний



Популяційно-видовий



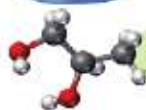
Організмівий



Тканинно-органний



Клітинний



Молекулярний

Мал. 2.2. Рівні організації живої матерії

представлений окремими особинами тварин (наприклад, собака, папуга, людина), рослин (дуб, пшениця, сосна) або інших організмів.

Окремі особини організмів не існують самі по собі. Вони є компонентами, які, об'єднуючись, утворюють популяції відповідних видів. Таким чином утворюється *популяційно-видовий рівень* організації, на якому популяції певного виду можуть складатися з досить відмінних організмів. Найбільш звичний приклад цього — самці й самиці одного виду (у глухарів, фазанів, оленів вони можуть досить суттєво відрізнятися). Але можливі й інші варіанти. Наприклад, робочі особини і солдати у термітів, або личинки та імаго метеликів тощо.

Популяції окремих видів організмів взаємодіють між собою на одній території. Складна система взаємодії багатьох видів організмів певного місця проживання утворює екосистему. Екосистеми представляють наступний рівень організації життя — *екосистемний*. Прикладами екосистем є озеро, кораловий риф, сосновий ліс, місто тощо.

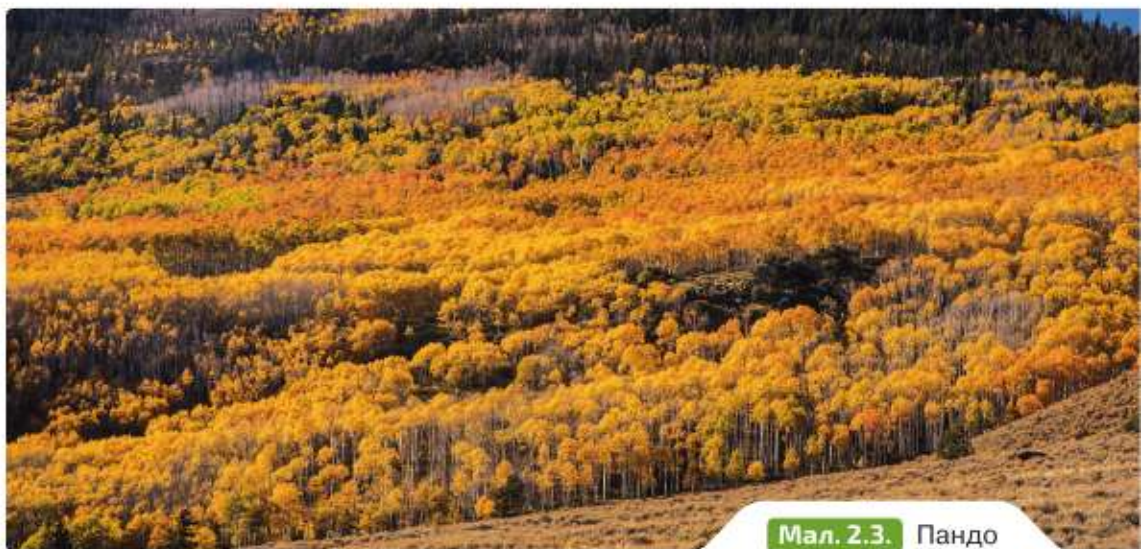
Найвищим рівнем організації життя є *біосферний*, який об'єднує всі екосистеми нашої планети. До його складу входять живі системи океанів, суходолу, ґрунтів та інших середовищ існування, а також агроценози — штучні екосистеми, створені людиною.

Далеко не у всіх випадках організми чітко вписуються в ієрархію рівнів організації життя. Наприклад, в одноклітинних організмів (сальмонели, амеби, хламідомонади) клітинний рівень організації співпадає з організмовим, бо їхній організм складається з єдиної клітини. А от тканинно-органний рівень у них взагалі відсутній.

Виконай в -додатку завдання 2.1.

ДЛЯ ТИХ, ХТО ХОЧЕ БІЛЬШЕ ЗНАТИ...

Коли говорять про організмовий рівень організації, як приклад зазвичай використовують тварин. Але в деяких випадках (особливо для інших систематичних груп) визначення організмового рівня може бути складнішим. Наприклад, Пандо — клональна колонія тополі тремтливої (росте в штаті Юта, США) (мал. 2.3). Ця структура виникла шляхом вегетативного розмноження і має 47 000 стовбурів, але єдину кореневу систему. Час її існування оцінюють в 9–16 тисяч років, а загальну масу — у 6 тисяч тонн. Усі стовбури цієї колонії генетично ідентичні, адже походять від одного материнського організму. Тому Пандо часто розглядають як один із найбільших і найдавніших живих організмів на Землі.



Мал. 2.3. Пандо

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Наявність кількох рівнів організації є характерною рисою, що притаманна всьому живому. Зазвичай виокремлюють такі рівні організації живої матерії: молекулярний, клітинний, тканинно-органный, організмовий, популяційно-видовий, екосистемний, біосферний.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Наведи приклади компонентів, які утворюють клітинний рівень організації життя.
2. Які особливості притаманні молекулярному рівню організації життя?
3. Проілюструй особливості різних рівнів організації життя на прикладі будь-якої тварини.
4. Порівняй екосистемний та організмовий рівні організації.
5. На поверхні і всередині тіла людини живе близько 2–3 кг мікроорганізмів. Чи можна через це вважати, що організм конкретної людини представляє екосистемний рівень організації? Обґрунтуй свою точку зору.
6. Чи можливе існування рівня організації життя вище за біосферний? Якщо можливо, то за яких умов? Обґрунтуй свою точку зору.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Чи однаково розподілено хімічні елементи у живій і неживій природі? Який елемент є основою всіх органічних молекул? Чому саме він? Чи є у природі інший елемент, що має подібні властивості та міг би стати основою життя деінде?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Вода має ряд унікальних властивостей. Одна з них — розширення за замерзання. Змодельюй ситуацію на Землі, якби вода була позбавлена такої властивості. Як би це вплинуло на зародження та формування життя?
- 2 Живі організми поглинають важкі метали та отрути із забрудненого довкілля. У яких організмів — рослин, рослиноїдних тварин чи хижаків — уміст важких металів чи отрут найвищий? Обґрунтуй свою думку.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

З 92 хімічних елементів, що виявлені у природі, 25 є важливими для функціонування живих організмів. Елементний склад усіх живих організмів досить подібний, але суттєво відрізняється від складу середовища, яке їх оточує. *Переконайся у цьому, аналізуючи інформацію у таблиці.*

Хімічні елементи, уміст яких найбільший в організмах та оболонках Землі (у %)

Живі організми	Гідросфера	Атмосфера	Літосфера
O (65 %)	O (≈ 86 %)	N (78 %)	O (46 %)
C (19 %)	H (≈ 11 %)	O (21 %)	Si (28 %)
H (≈ 10 %)	Cl (≈ 2 %)	Ar (≈ 1 %)	Al (8 %)
N (>3 %)	Na (≈ 1 %)	C (<0,04 %)	Fe (5 %)
P (>1 %)	Mg (>0,1 %)		Ca (3,5 %)

Уміст Карбону в земній корі становить лише 0,09 %, а в живих організмах — близько 19 %! Усі органічні сполуки побудовані зі «скелетів» атомів Карбону. Вони здатні утворювати міцні стабільні зв'язки з іншими атомами Карбону та атомами інших елементів. Таким чином утворюється величезне розмаїття органічних молекул.

За вмістом у живих організмах хімічні елементи умовно поділяють на *макро-* і *мікроелементи*.

Макроелементи (уміст понад 0,01 %)

C, H, O, N, P, S, Na, K, Ca, Cl, Mg

Мікроелементи (уміст менше 0,01 %)

Fe, Co, Cu, F, I, Zn, Mn, Mo, Br, B

Загалом на Оксиген, Карбон, Гідроген, Нітроген припадає понад 97 % маси живих організмів. Тож ці елементи називають *органогенними*. Більшість молекул вуглеводів, жирів побудовано з атомів C, O, H; до складу білків обов'язково входить N. Чимало важливих органічних сполук містять Фосфор (нуклеїнові кислоти, фосфоліпіди), Сульфур (білки). Інші макроелементи зазвичай перебувають в організмі у вигляді йонів (Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , Mg^{2-}). Кальцій і Фосфор також у вигляді нерозчинних карбонатних і фосфатних солей входять до складу кісток та інших опорних елементів.

Пригадай, яку роль виконують деякі з мікроелементів.

Елемент	Деякі функції
Ферум	Є компонентом ферментів дихального ланцюга, у складі білка гемоглобіну бере участь у транспортуванні кисню
Йод	Входить до складу тироксину — гормону щитоподібної залози
Флуор	Необхідний для формування емалі та дентину, кісткової тканини загалом
Купрум	Є компонентом багатьох ферментів, білка гемоціаніну, що у головоногих молюсків і ракоподібних транспортує кисень
Кобальт	Входить до складу вітаміну B_{12} , що задіяний у процесах дозрівання еритроцитів

Організми отримують хімічні елементи з довкілля у складі різних речовин у невеликих кількостях, деякі з них можуть бути шкідливими для процесів життєдіяльності.

Наприклад, важкі метали (Плюмбум, Меркурій, Цезій тощо) здатні вступати в хімічні реакції з органічними сполуками, внаслідок чого порушуються їхні функції. Ці елементи проникають в організми рослин і тварин, можуть накопичуватися і передаватися ланцюгами живлення. На забруднених територіях можуть поширюватися екологічні хвороби.

Ознайомся з детальнішою інформацією в е-додатку (завдання 3.1).

До складу живих організмів входять органічні і неорганічні речовини. Найважливішою з неорганічних сполук в організмах є вода. Її вміст в організмах коливається в межах 50–98 %. Вода є основою внутрішнього середовища клітин і міжклітинного простору, середовищем перебігу всіх біологічних процесів. Вода має унікальні властивості (*пригадай їх за мал. 3.1*).

ВОДА		
Гарний розчинник	Має велику теплоємність	У твердому стані має меншу густину, ніж у рідкому
Відзначається великим поверхневим натягом		
Кипить за $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, замерзає за $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	У рідкому стані є рідиною	Має високу теплоту випаровування

Мал. 3.1. Властивості води

У 5 класі ти досліджував / досліджувала розширення об'єму води за замерзання і зменшення за плавлення. Саме ця властивість зумовлює утворення шару льоду на поверхні водойм, а не на дні. Унікальні властивості води пов'язані з утворенням водневих зв'язків між молекулами, що у 20 разів слабші за ковалентні. Такі зв'язки постійно то розриваються, то виникають знову, що зумовлює швидку динаміку, текучість води, її здатність розчиняти полярні (гідрофільні) речовини (*пригадай з курсу хімії*).

Досліди формування і руйнування водневих зв'язків між молекулами води за різних температур з інтерактивною симуляцією (виконай в е-додатку завдання 3.2).

Висока теплоємність дає можливість уникнути різких температурних коливань, теплопровідність — забезпечити рівномірний розподіл тепла всередині організму. Властивості води як універсального розчинника забезпечують її роль у транспортуванні речовин в організмі. Молекули води відіграють метаболічну функцію (в реакціях обміну).

У функціонуванні живих організмів важлива роль інших неорганічних сполук — солей, кислот, оксидів.

Нерозчинні солі зазвичай утворюють скелетні структури, як-от солі Кальцію і Фосфору у скелеті хребетних, Кальцію у черепашках молюсків, скелетах коралів, форамініфер тощо. Опорну роль у скелетах деяких організмів (діатомових водоростей, радіолярій) виконує оксид Силіцію.

Розчинні солі утворюють надважливі для функціонування йони. Наприклад, NaCl у крові та інших рідинах внутрішнього середовища дисоціює з утворенням йонів Na^+ і Cl^- , які беруть участь у багатьох фізіологічних процесах організму.

Проведення нервових імпульсів, скорочення м'язів неможливе без йонів Натрію, Калію, Кальцію, Хлору. Йони Гідрогену надважливі у збереженні відповідного рівня кислотності середовища, а разом з ортофосфатною кислотою відіграють ключову роль у синтезі АТФ. Хлоридна кислота є складовою шлункового соку. Перелік неорганічних сполук, важливих для процесів життєдіяльності, можна продовжувати.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

За вмістом у живих організмах хімічні елементи умовно поділяють на макро- та мікроелементи. Живі організми складаються з органічних і неорганічних речовин. Основою органічних речовин є «скелет» з атомів Карбону, що приєднують атоми О, Н, N, P, S.

Вода — основна неорганічна речовина у живих організмах, що завдяки своїм властивостям виконує структурну, транспортну, теплорегуляторну, метаболічну та інші функції.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Розподіли елементи С, Na, N, P, Cl, K, S на групи: а) зазвичай виконують функції у вигляді йонів; б) зазвичай перебувають у складі сполук.
2. В організмі людини та інших ссавців Ферум можна віднести до макроелементів, тоді як для членистоногих і молюсків — ні. Поміркуй, як це пов'язано з особливостями їхніх транспортних систем.
3. До складу молекули хлорофілу входить Магній. Які зміни у зовнішньому вигляді та функціонуванні рослин може спричинити нестача Магнію?
4. Виконай в **е-додатку** завдання 3.3.
5. Як біологічні функції води пов'язані з утворенням між молекулами водневих зв'язків? Скористайся малюнком 3.2.
6. Де в організмі людини і тварин містяться розчинні і нерозчинні солі? Які функції виконує кожна із цих груп?



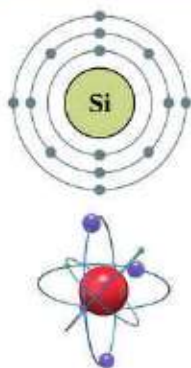
Мал. 3.2. Водневі зв'язки між молекулами водню

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 4 Органічні речовини живих організмів

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

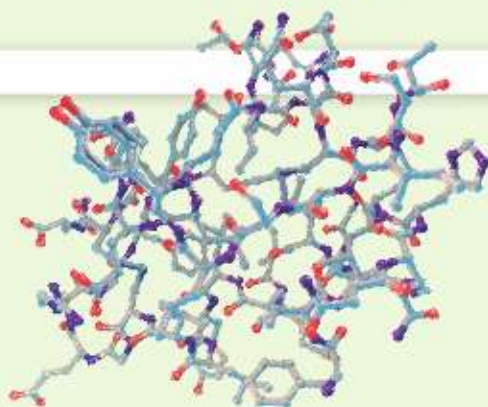


Деякі письменники-фантасти у своїх творах розглядали можливість існування життя, заснованого на органічних речовинах, які мають скелет не з атомів Карбону, а з атомів Силіцію. Ця ідея базувалася на тому, що атоми Силіцію також можуть утворювати чотири хімічні зв'язки, подібно до атомів Карбону. Але вчені вважають, що такі ідеї, найімовірніше, залишаться надбанням тільки фантастики. Які особливості Силіцію можуть, на твій погляд, завадити цьому елементу зайняти місце Карбону в органічних речовинах?



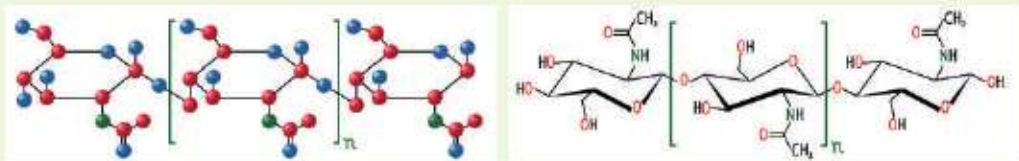
ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

1 Деякі полімерні молекули утворено мономерами одного типу. Наприклад, молекула глікогену складається із залишків глюкози. Інші утворено однотипними, але все-таки різними молекулами. Так, молекула інсуліну складається з різних амінокислот (глутаміну, аланіну, валіну тощо) (мал. 4.1). Які переваги можуть мати біополімери, складені з відмінних між собою, хоч і однотипних мономерів?



Мал. 4.1. Модель будови молекули інсуліну

2 Окремі біополімери є надзвичайно поширеними в природі. Наприклад, одним з найпоширеніших вуглеводів є хітин (мал. 4.2). Запропонуй пояснення такого поширення хітину серед живих організмів.



Мал. 4.2. Будова молекули хітину

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

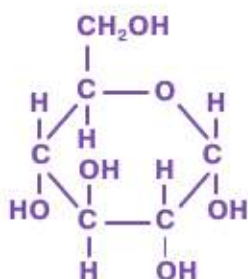
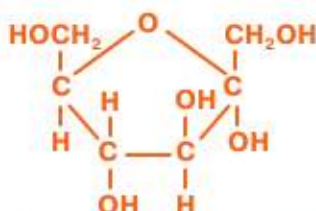
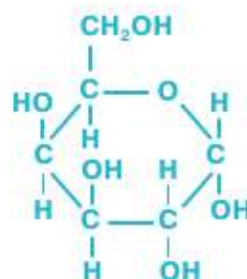
Основну частину будь-якого організму складає вода. Це не дивно, бо вона є тим середовищем, в якому відбуваються процеси обміну речовин. А серед інших речовин в організмах за кількістю переважають органічні речовини. Власне, свою назву вони отримали тому, що тривалий час основним джерелом цих сполук були саме організми.

Органічні речовини, що входять до складу організмів, вирізняються значною різноманітністю. Основними їх групами є нуклеїнові кислоти, білки, вуглеводи та ліпіди.

До складу речовин всіх цих груп обов'язково входять атоми Карбону, Гідрогену й Оксигену. Атоми Нітрогену містяться в усіх молекулах нуклеїнових кислот і білків, атоми Фосфору є складовою нуклеїнових кислот, а атоми Сульфуру — більшості білків. Атоми деяких інших хімічних елементів також можуть входити до складу органічних молекул.

ОСНОВНІ ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

- Містять ланцюжки з атомів Карбону, які утворюють «скелет» їхніх молекул.
- Зазвичай мають великий розмір.
- Можуть відрізнятися кількістю ланок в карбоновому ланцюзі, утворюючи групи подібних за властивостями речовин.
- Часто можуть існувати в кількох формах, що здатні перетворюватися одна на одну.
- Навіть незначна зміна в будові такої молекули може суттєво змінити її властивості (мал. 4.3.)

Глюкоза ($C_6H_{12}O_6$)Фруктоза ($C_6H_{12}O_6$)Галактоза ($C_6H_{12}O_6$)

Мал. 4.3. Будова молекул трьох органічних молекул із групи вуглеводів

Всі органічні молекули мають значний розмір і масу (навіть для глюкози M_r ($C_6H_{12}O_6$) = 180). Проте серед них є «велетні» — маса молекул білків і ДНК може перевищувати сотні тисяч Да (дальтон, 1 Да дорівнює 1 а. о. м.)!

Тож органічні речовини у живих організмах поділяють на дві групи — *малі і великі молекули* (макромолекули). Макромолекули важать понад 1000 Да, містять не менше 30 атомів Карбону в одній молекулі. Зазвичай макромолекули складаються з об'єднаних певним чином малих молекул, тобто ці сполуки є полімерами, мономерами яких є малі молекули. Наприклад, глюкоза є прикладом малих молекул, а крохмаль — полімером, у якому сотні молекул глюкози поєднано між собою ковалентними зв'язками. Полімерні молекули можуть бути лінійними або розгалуженими, набувати різноманітних форм.

У наш час широко використовують полімери, синтезовані штучно (наприклад, капрон). І термін «полімери» застосовують передусім до них, а для полімерних молекул у живих організмах використовують термін «біополімери».

Основні групи органічних речовин живих організмів виконують різноманітні функції, що забезпечують усі процеси життєдіяльності.

ФУНКЦІЇ ОСНОВНИХ ГРУП ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

ВУГЛЕВОДИ

(глюкоза, фруктоза, лактоза, сахароза, крохмаль, целюлоза, хітин)

Утворюють певні структури клітин, використовуються для запасання ресурсів та інших функцій, є джерелом енергії тощо

НУКЛЕІНОВІ КИСЛОТИ

(ДНК, РНК, АТФ)

Забезпечують зберігання, відтворення і реалізацію спадкової інформації, виконують регуляторні і каталітичні функції. АТФ є універсальним акумулятором енергії

ЛІПІДИ

(жири, фосфоліпіди, холестерол, вітамін D, тестостерон, естрогени)

Утворюють основу біологічних мембран, можуть брати участь у процесах регуляції, використовуватися для запасання ресурсів, є джерелом енергії тощо

БІЛКИ

(актин, міозин, гемоглобін, кератин, колаген, пепсин, амілаза, лізоцим, інтерферон)

Каталізують біохімічні реакції, утворюють певні структури клітин і міжклітинної речовини, забезпечують транспорт речовин, виконують регуляторну, сигнальну та захисну функції тощо

Особливості будови біополімерів тісно пов'язані з функціями, які вони виконують. Найширший спектр функцій виконують білки. Цьому сприяє те, що вони складаються з дещо схожих, але й відмінних мономерів (амінокислот). Таке різноманіття в будові дає змогу надавати різним ділянкам біополімера різні властивості, що і допомагає виконанню різноманітних функцій.

Біополімери надзвичайно різноманітні. Але деякі їх різновиди зустрічаються частіше за інші. Це пов'язано як із функціями, що вони виконують, так і з поширенням груп організмів, які синтезують відповідний вид біополімерів. Наприклад, всі зелені рослини виробляють целюлозу, яка утворює основу їхніх клітинних стінок. Тому целюлоза є найпоширенішим на Землі біополімером.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Значну частину маси організмів становлять органічні речовини. Саме вони забезпечують процеси життєдіяльності. Основними групами органічних речовин у живих організмах є вуглеводи, ліпіди, білки і нуклеїнові кислоти. Малі органічні молекули масою до 1000 Да часто є мономерами, з яких утворюються великі молекули — біополімери.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які речовини відносять до органічних речовин?
2. Які основні властивості притаманні молекулам органічних речовин?
3. Що таке біополімери і навіщо вони потрібні живим організмам?
4. STEM-проект. Об'єднайтеся у групи і змодельуйте молекули біополімерів (виконайте в -додатку завдання 4.1).
5. Порівняй функції вуглеводів і білків в організмі.
6. Поясни на конкретному прикладі, як будова біополімеру пов'язана з його функціями (можеш обрати целюлозу, хітин, крохмаль, гемоглобін, ДНК тощо). Відшукай інформацію про мономерний склад полімеру, зв'язки між мономерами, просторову форму молекули. Визнач, як така будова забезпечує виконання функцій біополімеру.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 5 Вуглеводи і ліпіди

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

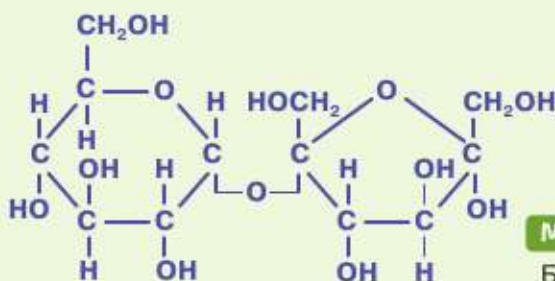


Поміркуй, чому тварини зазвичай накопичують запаси у вигляді молекул жирів, а рослини для цього використовують різні групи речовин, найчастіше — вуглеводи.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** Сахароза — дисахарид, що складається із залишків глюкози та фруктози. Емпіричні формули глюкози і фруктози однакові — $C_6H_{12}O_6$. Яка з емпіричних формул відповідає сахарозі: а) $(C_6H_{12}O_6)_2$; б) $C_{12}H_{24}O_{12}$; в) $C_{12}H_{22}O_{11}$; г) $C_{12}H_{23}O_{11}$? Скористайся малюнками 4.3 (с. 19) і 5.1.



Мал. 5.1.

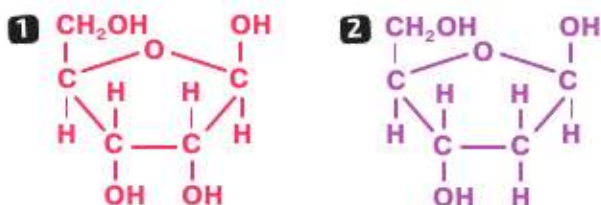
Будова молекули сахарози

- 2** Целюлоза — найпоширеніша на Землі органічна сполука. Її мономерами є залишки глюкози. Чому більшість організмів не може використовувати її як джерело енергії? Чи є целюлоза джерелом енергії для людини?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

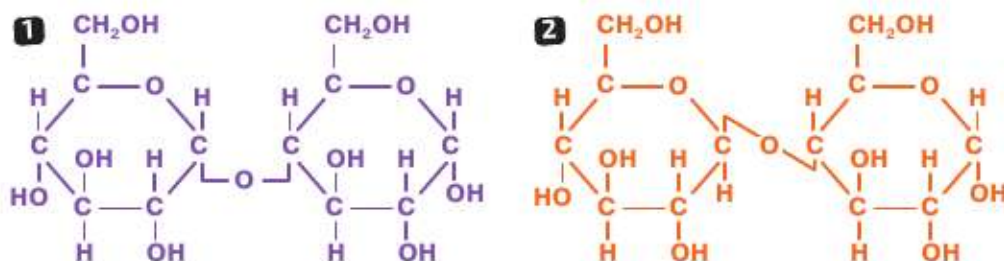
З вуглеводами ми знайомимося з раннього дитинства — пізнаємо солодкий смак одних, міцність інших, а зі сторінок паперових книг відкриваємо нові світи.

Загальна формула вуглеводів $(CH_2O)_n$, де n найчастіше дорівнює 6 (гексози) або 5 (пентози). Глюкоза, фруктоза і галактоза є гексозами і мають однакові емпіричні формули $C_6H_{12}O_6$. А от рибоза й дезоксирибоза, що є компонентами нуклеотидів ДНК і РНК, — пентозами (мал. 5.2).



Мал. 5.2. Молекули пентоз — **1** рибоза; **2** дезоксирибоза

Залежно від кількості мономерів, розрізняють *моно-* (1), *ди-* (2), *оліго-* (3–10) та *полісахариди*. Окрім сахарози, поширеними дисахаридами є мальтоза (солодовий цукор) і лактоза (молочний цукор) (мал. 5.3).

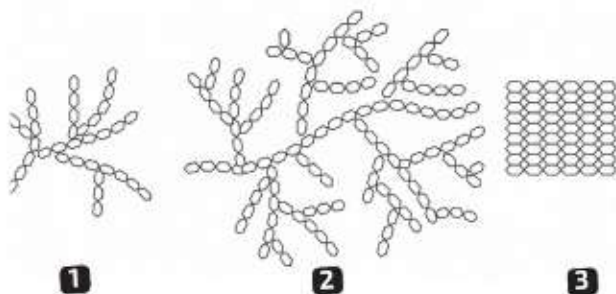


Мал. 5.3. Дисахариди:

- 1** — мальтоза (утворена двома залишками глюкози);
- 2** — лактоза (утворена залишками галактози і глюкози)

Моносахариди та дисахариди солодкі на смак і розчиняються у воді, тому їх називають *цукрами*. Зазвичай вони є джерелом енергії: за повного розщеплення 1 г вуглеводів вивільняється 17,6 кДж енергії.

Полісахариди (мал. 5.4) є полімерами, що можуть містити до 10 000 і більше мономерів.



Мал. 5.4.

Полісахариди:

- 1** — крохмаль;
- 2** — глікоген;
- 3** — целюлоза

Крохмаль і глікоген є резервними речовинами, тому їхні молекули мають розгалужену будову, що забезпечує можливість швидкого розщеплення з різних кінців. А от структурні полісахариди мають лінійні молекули, між ланцюгами яких формуються водневі зв'язки, що надає їм додаткової міцності.

	Полісахариди рослин	Полісахариди тварин і грибів
Резервні	<i>Крохмаль</i> (запасається у плодах, бульбах, стеблах, коренях)	<i>Глікоген</i> (запасається у печінці, м'язах та інших органах тварин, у клітинах грибів)
Структурні	<i>Целюлоза</i> (є основою клітинних стінок рослин)	<i>Хітин</i> (є основою клітинних стінок грибів, екзоскелету членистоногих)

Мономерами крохмалю, глікогену і целюлози є залишки глюкози, а хітину — залишки глюкозаміну, що містить Нітроген.

Переглянь в **е-додатку** відео та опрацюй його (завдання 5.1).

Ліпіди — група органічних речовин, що практично не розчиняються у воді, оскільки є гідрофобними (повністю або у великій частині молекули). Основними класами ліпідів є жири, воски, стероїди та фосфоліпіди.

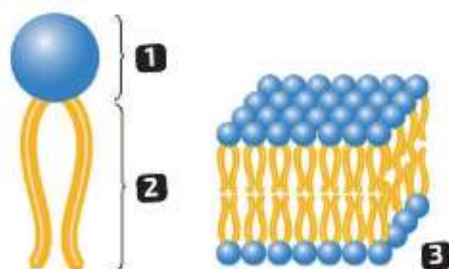
Компонентом більшості ліпідів є жирні кислоти — сполуки, що містять карбоксильну групу, приєднану до довгого гідрофобного вуглеводневого «хвоста» (мал. 5.5, 5.6). Жирні кислоти можуть бути насиченими (між атомами Карбону лише одинарні зв'язки) і ненасиченими (між атомами Карбону трапляються подвійні зв'язки). Насиченими жирними кислотами багаті жири більшості тварин, ненасиченими — рослин (тому рослинні олії є рідкими за кімнатних температур).

У складі жирів три залишки жирних кислот приєднані до молекули спирту гліцеролу, тож їх називають *тригліцеридами* (мал. 5.5). Жири є важливою резервною речовиною. За повного розщеплення 1 г жиру вивільняється 38,9 кДж енергії. Також жири є чудовим теплоізоляційним матеріалом, амортизатором, резервом внутрішньої води (за окиснення жиру вивільняється вода).



Мал. 5.5.

Будова молекули жиру (тригліцериду)



Мал. 5.6.

Фосфоліпіди: **1** — гідрофільна голова; **2** — гідрофобні хвости (залишки жирних кислот); **3** — подвійний шар молекул

Фосфоліпіди є полярними ліпідами (мал. 5.6) — два гідрофобні хвости (залишки жирних кислот) приєднано до гідрофільної голови, що, крім спирту гліцеролу, містить фосфатну групу. Фосфоліпіди є основою клітинних мембран, позаяк утворюють подвійний шар.

Стероїди для людини не є джерелом енергії, але виконують регуляторну, структурну та інші функції. Холестерол входить до складу клітинних мембран, однак може відкладатися у стінках артерій, спричиняючи атеросклероз і порушення кровопостачання органів. Із нього синтезуються гормони статевих залоз і кори наднирників — тестостерон, естрогени та кортикостероїди. До цієї групи належить і вітамін D.

Воски у рослин формують на поверхні листя захисний шар (кутикулу), що запобігає надлишковому випаровуванню. У тварин вони формують захисне покриття шкіри, а бджоли із цієї речовини будують свої стільники. *Об'єднайтеся в групи і проведіть лабораторне дослідження властивостей вуглеводів і ліпідів (виконайте в -ДОДАТКУ завдання 5.2).*

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Основні групи вуглеводів — моносахариди (глюкоза, фруктоза, рибоза тощо); дисахариди (сахароза, мальтоза, лактоза), полісахариди. Моно- і дисахариди солодкі на смак, розчиняються у воді. Полісахариди виконують резервну (крохмаль і глікоген) або структурну (целюлоза, хітин) функції. Ліпіди є гідрофобними сполуками. Основні групи ліпідів — жири (тригліцериди), фосфоліпіди, стероїди і воски.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Розглянь зображення молекул рибози і дезоксирибози на мал. 5.2 (с. 23). У чому відмінність між ними? Поясни, чому дезоксирибоза має таку назву.
2. Розглянь зображення дисахаридів на мал. 5.1 і 5.3 (с. 22–23). Порівняй будову молекул. У яких продуктах містяться ці дисахариди?
3. Які з полісахаридів є резервними, а які — структурними? Поясни, як їх функції пов'язані з будовою молекули.
4. Порівняй будову і функції жирів і фосфоліпідів.
5. Чому сучасні креми для взуття мають воскову основу? Де в живій природі віск виконує таку саму функцію, як і крем для взуття?
6. Які стероїди в організмі людини тобі відомі? Яке їхнє значення?

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 6 Амінокислоти. Білки

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Уяви, що в конструкторі ©LEGO є 20 видів елементів, але кількість деталей кожного виду величезна. Скільки видів конструкцій можна з них збудувати?

У природі для будівництва білків використовується близько 20 видів амінокислот, що можуть поєднуватися одна з одною певним типом зв'язку (як деталі конструктора). Скільки видів білків може утворитись у природі?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

1 Чому відносно прозорий білок яйця втрачає цю властивість за нагрівання?



2 У білковому ланцюзі є гідрофобні і гідрофільні амінокислоти. Поміркуй, як вони розмістяться у молекулі під час її згортання. До речі, згортання білка англійською називають *folding* («фолдінг»). Чому?

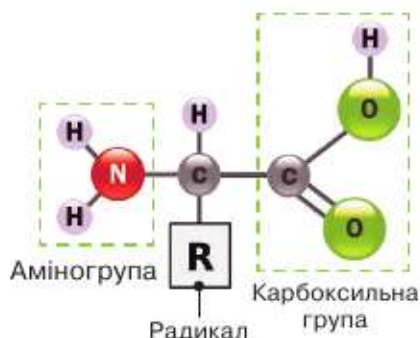
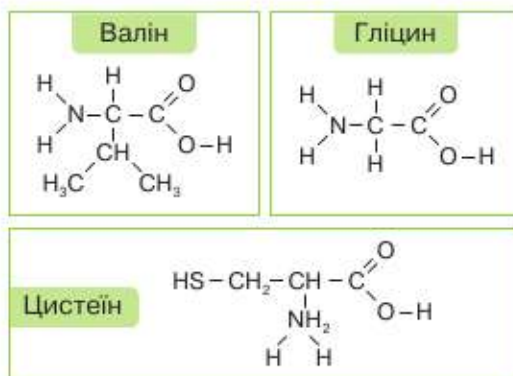
РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Амінокислоти (англ. *amino acids*) — це органічні молекули, до складу яких обов'язково входить: аміногрупа ($-\text{NH}_2$) і карбоксильна група ($-\text{COOH}$) (мал. 6.1). Різняться амінокислоти радикалом.

В **е-додатку** (завдання 6.1.) розглянь структуру 20 основних протейногенних амінокислот, що є компонентами білків.

На мал. 6.1 зображено три з них.

Загалом у природі існує велике розмаїття амінокислот, проте до складу білків входить близько 20 їх видів (зараз йдеться про 22 амінокислоти — переглянь відео в **е-додатку** (завдання 6.2)).



Мал. 6.1. Структура амінокислоти; приклади амінокислот

Окрім участі в синтезі білків, амінокислоти виконують низку інших функцій. Наприклад, амінокислота тирозин є основою молекул адреналіну, тироксину, а триптофан — серотоніну, відомого як «гормон щастя». Гама-аміномасляна кислота (ГАМК) є важливим гальмівним нейромедіатором.

Розрізняють *замінні* і *незамінні* амінокислоти. Замінні можуть синтезуватися в організмі з інших сполук, а незамінні — ні, тож мають обов'язково надходити в організм із їжею.

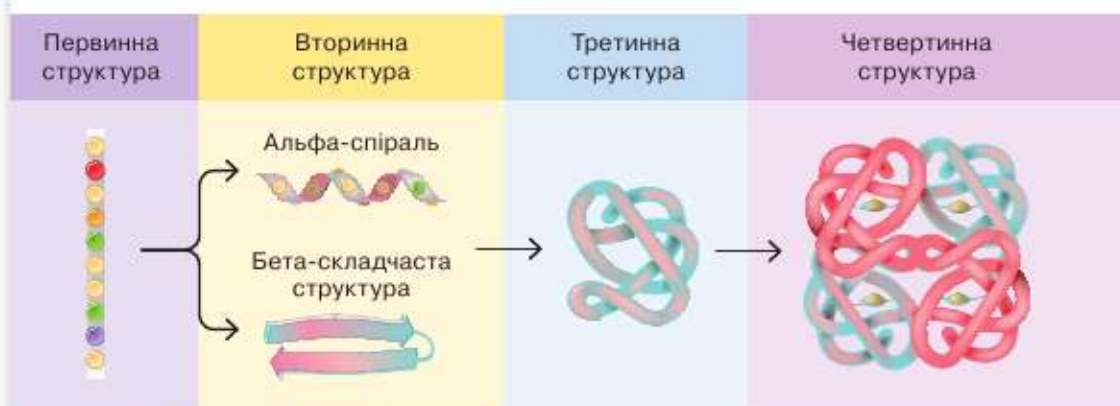
Амінокислоти є мономерами білків (протеїнів). В такому разі утворюються пептидні зв'язки (мал. 6.2). Внаслідок поєднання двох амінокислот утворюється дипептид, багатьох (10–50) — поліпептид. Молекули білків зазвичай складаються із сотень амінокислотних залишків.



Мал. 6.2. Утворення пептидного зв'язку

Структуру білка у формі ланцюжка амінокислот називають *первинною*. Проте ще у процесі синтезу білка формуються водневі та інші зв'язки, і молекула набуває складнішої просторової форми (конформації), що визначається її амінокислотним складом.

Позаяк серед амінокислот є гідрофільні (полярні) і гідрофобні (неполярні), то вони розміщуються відповідно. Гідрофобні радикали «ховаються» всередину, а гідрофільні розвертаються назовні, взаємодіючи з водними розчинами. Між сульфур-умісними амінокислотами цистеїну утворюються дисульфідні зв'язки. Так білок набуває своєї конформації — особливої просторової структури. Розглянь рівні просторової структури білка на малюнку 6.3 (с. 28) і в таблиці (с. 28).



Мал. 6.3. Рівні просторової структури (конформації) білка

Рівень конформації	Форма	Зв'язки, що забезпечують формування
Первинна	Лінійна (ланцюг)	Пептидні
Вторинна	Альфа-спіраль або бета-складчаста	Водневі
Третинна	Глобулярна	Гідрофобні взаємодії, дисульфідні, водневі, йонні зв'язки
Четвертинна	Глобулярна, поєднання кількох ланцюгів в одну молекулу	Гідрофобні взаємодії; дисульфідні, водневі, йонні зв'язки

Ти можеш виконати STEM-проект і змодельовати формування просторової структури білка з використанням інтерактивної симуляції на LabXchange (виконай в **Е-ДОДАТКУ** завдання 6.3).

Природну конформацію білка називають **нативною**. Нагрівання або зміна рН середовища спричиняють швидке руйнування водневих, дисульфідних та інших зв'язків, внаслідок чого відбувається денатурація (мал. 6.4). За швидкої зворотної зміни середовища може відбутися ренатурація. Коли ж руйнуються пептидні зв'язки, говорять про деструкцію білка. Травлення білків і є прикладом цього явища.

БІОСЛОВО

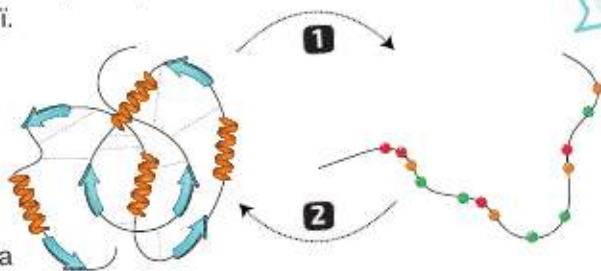
Денатурація — порушення просторової структури макромолекул (білків і нуклеїнових кислот) внаслідок нагрівання, обробки кислотами або основами тощо. В результаті макромолекули втрачають здатність виконувати свої функції.

БІОСЛОВО

Ренатурація — відновлення просторової структури макромолекул після денатурації.

Мал. 6.4.

Денатурація **1**
і ренатурація **2** білка



ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Усі амінокислоти містять амінну і карбоксильну групи й унікальний радикал. Між амінокислотами утворюються пептидні зв'язки. Білки — полімери, мономерами яких є залишки амінокислот. Молекули білків зазвичай мають складну просторову структуру (конформацію): первинну, вторинну, третинну та четвертинну.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

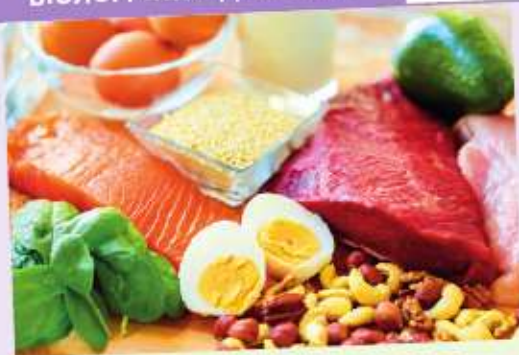
1. На малюнку 6.1 (с. 27) у формулах трьох амінокислот знайди амінну, карбоксильну групи і радикал. У якої з амінокислот радикал найпростіший? Яка з них містить Сульфур?
2. За малюнком 6.2 (с. 27) визнач, де формується пептидний зв'язок: а) між карбоксильними групами двох амінокислот; б) між амінними групами двох амінокислот; в) між карбоксильною групою однієї амінокислоти і амінною групою іншої; г) між радикалами двох амінокислот.
3. Які функції амінокислот у живих організмах?
4. У білках розрізняють С- і N-край. За малюнком 6.2 поясни, чому їх так називають.
5. Білок гемоглобін складається із чотирьох ланцюгів. Скільки країв має молекула гемоглобіну? До якої групи просторової структури його відносять?
6. При термічних опіках рекомендують тривале охолодження ураженої ділянки холодною водою. Поясни, що відбуваються з білками шкіри під час опіку та охолодження.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 7 Функції білків. Ферменти

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

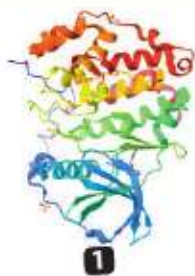


Чому білкова їжа настільки важлива?
Чи можна замінити її вуглеводною або
багатою на ліпіди?

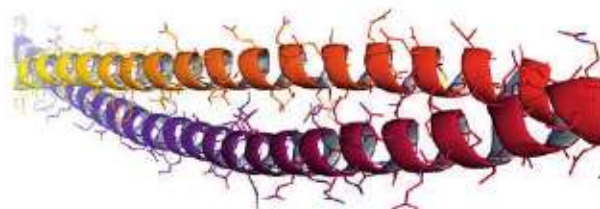


ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** Деякі білки швидко руйнуються, а інші — розкладаються дуже повільно. Як такі властивості можуть бути пов'язані з їх структурою і функціями? На малюнку 7.1 зображено будову молекул казеїну (**1**) і кератину (**2**). Поміркуй, який із цих білків має довший період функціонування і повільно розкладається у природі.



1



2

Мал. 7.1. Структура молекул білків: **1** — казеїну; **2** — кератину

- 2** Сучасні засоби для прання можуть містити травні ферменти. Який сенс у таких добавках? Яка температура оптимальна для прання з використанням таких засобів?

БІОСЛОВО

Ферменти / ензими (англ. *enzyme*) — біологічні каталізатори білкової природи, які прискорюють біохімічні реакції, що регулюють обмін речовин у усіх організмах.



РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Білки (англ. *proteins*) — органічні речовини, які виконують в організмах найрізноманітніші функції. Можна сказати, що білки і є тими молекулами, які визначають саме життя.

Деякі *структурні білки* мають фібрилярну будову (у формі довгих волокон, зазвичай вторинної структури) (мал. 7.1.2). Прикладами структурних білків є колаген (основний білок сполучної тканини), кератин (білок епідермісу), фіброїн шовку, спідроїн павутини (перспективний у біомедицині, військовій та оборонній промисловості).

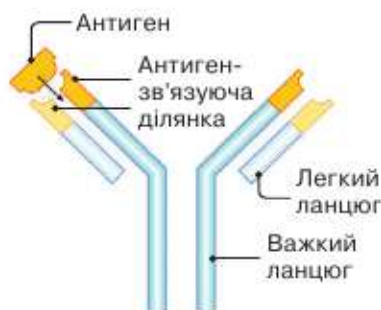
Транспортні білки, наприклад гемоглобін і гемоціанін, транспортують по організму кисень. Це глобулярні білки четвертинної структури, що окрім амінокислот містять метали — Ферум або Купрум відповідно (мал. 7.2). До транспортних білків відносять і мембранні білки, які транспортують речовини всередину клітини і назовні. Наприклад, крізь аквапорини активно реабсорбується вода в нирках.



Мал. 7.2. Молекула гемоглобіну

Білки відіграють важливу роль в *імунному захисті*. Імуноглобуліни (антитіла) забезпечують специфічну імунну відповідь. В організмі утворюються тисячі різних антитіл, кожне з яких здатне зв'язувати лише відповідний антиген (мал. 7.3). Лізоцим — білок, що міститься у слині, слюзах, на слизових оболонках, має антибактеріальну дію, позаяк руйнує клітинну стінку бактерій. Білки-інтерферони важливі у боротьбі з раковими клітинами та вірусами.

Завдяки здатності набувати специфічної форми, глобулярні білки можуть відігравати ключову роль в *регуляції* процесів. Деякі є сигнальними речовинами, наприклад, *гормони* інсулін, глюкагон. Інші — є *рецепторними* молекулами, що здатні сприймати сигнал і запускати каскад реакцій у клітині чи організмі. Такими є рецепторні білки нюхових і смакових рецепторів, білки мембран м'язових волокон і нейронів, з якими взаємодіють нейромедіатори.



Мал. 7.3. Будова антитіла (імуноглобуліну)

Основу м'язів складають актин і міозин, ковзання яких забезпечує м'язове скорочення і рух. Тож їх відносять до групи *рухових білків*.

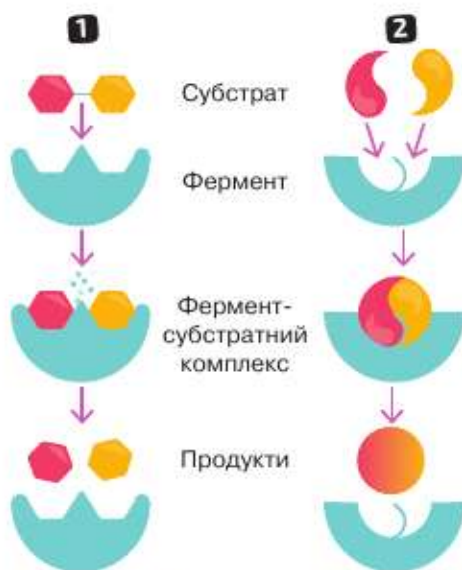
Білки можуть використовуватись і як форма зберігання поживних речовин (казеїн у молоці, овальбумін у пташиних яйцях, білки у складі насіння рослин). Білки є одним з найважливіших компонентів їжі. У травній системі вони перетравлюються до амінокислот, частина з яких далі розщеплюється з вивільненням енергії (за повного розщеплення 1 г білку вивільняється 17,2 кДж енергії), частина — використовується для синтезу власних білків.

Одна з найважливіших функцій білків — *каталітична*.

Тобі добре відомі травні ферменти та принцип їх роботи. Але спектр дії ферментів надзвичайно широкий. Вони беруть участь у процесах синтезу ДНК і РНК (ДНК-полімераза, РНК-полімераза), в процесах утворення і розпаду АТФ (АТФ-синтетаза / АТФ-фаза). Ферменти знешкоджують токсини, вільні радикали, забезпечують перетворення молекул тощо.

ВЛАСТИВОСТІ ФЕРМЕНТІВ

- Беруть участь у реакціях, але не витрачаються в них.
- Усі є глобулярними білками, мають активний центр, що взаємодіє із субстратом як ключ і замок (останнім часом порівнюють із взаємодією руки і рукавички) (мал. 7.4).
- Специфічність дії (діють лише на відповідний субстрат).
- Висока біологічна активність.
- Деякі ферменти можуть містити небілкову частину — метали, вітаміни групи В, що необхідні для активності ферменту.
- Активні лише за певних температур і кислотності (рН).



Мал. 7.4. Участь ферментів у реакціях (1 і 2)

Проведи дослідження активності ферментів за різних умов (виконай в -додатку завдання 7.1).

Ферменти часто називають *ензимами*. Позаяк їх використовують у різних сферах, сформувалася галузь науки — *ензимологія*.

Виконай в **е-додатку** завдання 7.2.

Трапляється, що у людини відсутній або неактивний той чи інший важливий фермент. Наприклад, у людей з лактозною непереносимістю не працює фермент лактаза.

Ознайомся зі способом отримання безлактозних молочних продуктів в **е-додатку** (завдання 7.3).

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Білки у живих організмах виконують різноманітні функції. Приклади структурних білків — колаген, кератин, фіброїн, рухових — міозин і актин. Гемоглобін, гемоціанін, аквапорини — транспортні білки. Імуноглобуліни (антитіла), інтерферони виконують захисну функцію. Ферменти (ензими) каталізують біохімічні реакції, що відбуваються в організмах. Усі вони є глобулярними білками, активний центр яких специфічно взаємодіє із субстратом. Активність ферментів залежить від температури та інших умов середовища.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які функції виконують білки у живих організмах?
2. Розглянь зображення білків на малюнках 7.1 (с. 30), 7.2 і 7.3 (с. 31). Які з них глобулярні, які фібрилярні? Які із цих білків мають четвертинну структуру?
3. Виконай в **е-додатку** завдання 7.4.
4. На малюнку 7.4 зображено два варіанти реакцій за участі ферментів. Який з них (1 чи 2) демонструє роботу травного ферменту? Відповідь обґрунтуй.
5. Які чинники впливають на активність ферментів? Проведи віртуальне дослідження активності лактази з інтерактивною симуляцією (виконай в **е-додатку** завдання 7.5).
6. Останнім часом є попит на спеціалістів у галузі інженерної ензимології. Скористайся додатковими джерелами інформації і опиши сферу досліджень у цій галузі.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 8 Нуклеїнові кислоти

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



ДНК — головна молекула, що визначає спадковість. В усіх організмів на Землі ДНК має подібну будову, бо складається лише із чотирьох видів мономерів — нуклеотидів, своєрідних хімічних «літер». Чому організми на Землі такі різні?



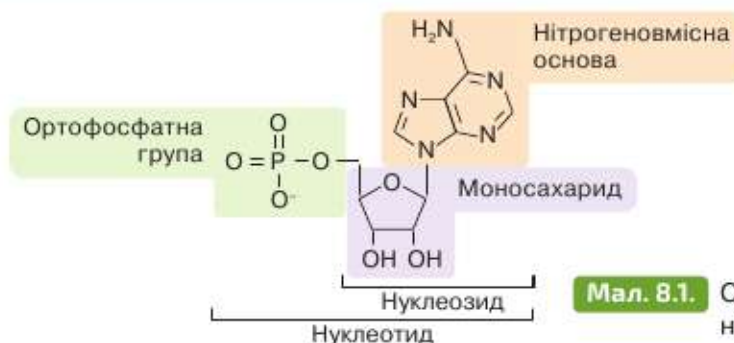
ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Американським вченим вдалося закодувати текстову інформацію, розмістивши певні послідовності нуклеотидів у ДНК бактерії кишкової палички (*Escherichia coli*). Таким чином вони записали всього два слова «Hello, world!» (72 біти інформації). Але потенційно так можна зберігати і значно більше інформації. Склади перелік можливих переваг і недоліків такого способу зберігання інформації людством та аргументуй свою точку зору.
- 2 Ділянка подвійного ланцюга ДНК завдовжки 100 пар нуклеотидів містить 32 гуанінові залишки в одному ланцюзі й 8 — у другому. Визнач кількість інших нуклеотидів: цитидилових, аденілових і тимідилових.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Нуклеїнові кислоти є дуже важливою групою біополімерів. Вони отримали таку назву позаяк вперше були виявлені у ядрі клітини (від лат. *nucleus* — ядро). Їх мономерами є нуклеотиди, кожен з яких складається з трьох компонентів: нітрогеновмісної основи (раніше їх називали азотистими), моносахариду і залишку ортофосфатної кислоти.

Об'єднуючись між собою, нітрогеновмісна основа і моносахарид утворюють нуклеозид. А власне нуклеотид утворюється після приєднання до цього комплексу молекули ортофосфатної кислоти (мал. 8.1).

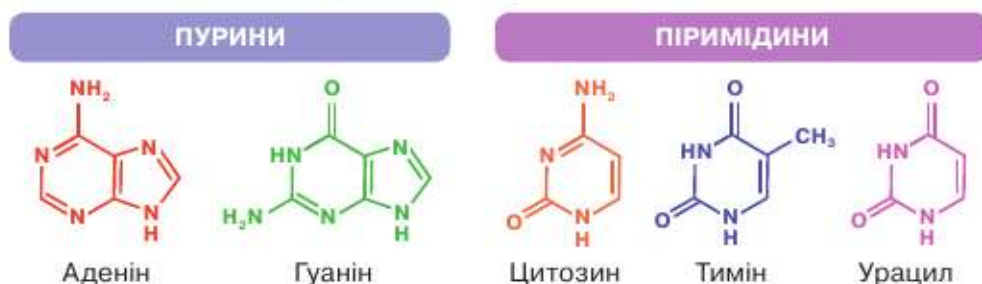


Мал. 8.1. Структура молекули нуклеотиду

У клітинах нуклеїнові кислоти представлені у вигляді полімерних молекул — рибонуклеїнової кислоти (РНК) і дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК). Крім того, в клітинах завжди міститься багато окремих нуклеотидів, зокрема АТФ.

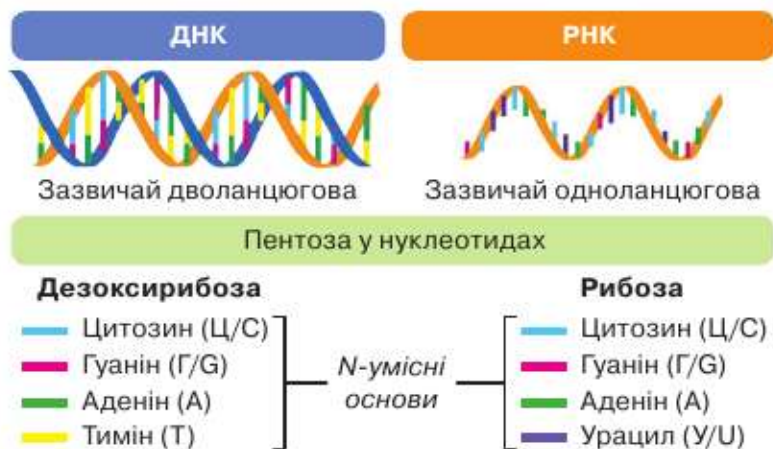
Назви РНК і ДНК визначаються моносахаридом (пентозою), що входить до складу нуклеотидів. Нуклеотиди РНК містять рибозу (звідси і назва *рибонуклеїнова*), а ДНК — дезоксирибозу. *Пригадай будову цих пентоз за малюнком 5.2 (с. 23).*

До складу нуклеїнових кислот входить п'ять видів нітрогеновмісних основ (мал. 8.2). За структурою їх відносять до двох груп: пурини (аденін і гуанін) і піримідини (цитозин, тимін, урацил). Назви нуклеотидів відповідають нітрогеновмісним основам, які вони містять. Відповідно, є такі види нуклеотидів: тимідиловий (містить тимін), цитидиловий (цитозин), уридиловий (урацил), аденіловий (аденін), гуаніловий (гуанін). Полімерні молекули нуклеїнових кислот утворюються шляхом формування ковалентного зв'язку між залишком ортофосфатної кислоти одного нуклеотиду і моносахаридом іншого.



Мал. 8.2. Нітрогеновмісні основи нуклеїнових кислот

РНК і ДНК відрізняються особливостями складу нуклеотидів, структурою і функціями. *За малюнком 8.3 (с. 36) порівняй будову і склад цих біополімерів.*



Мал. 8.3. Структура і нуклеотидний склад молекул ДНК і РНК

Аденін, гуанін і цитозин входять до складу нуклеотидів обох молекул — ДНК і РНК. Тимін — лише до нуклеотидів ДНК, урацил — лише до РНК. Головною відмінністю в структурі молекул є те, що ДНК зазвичай представлена у вигляді подвійної спіралі. А от РНК зазвичай одноланцюгова, хоча деякі її ділянки іноді можуть взаємодіяти між собою, утворюючи фрагменти зі спарених нуклеотидів.

Основною функцією нуклеїнових кислот в організмах є збереження і реалізація спадкової інформації. ДНК забезпечує збереження цієї інформації та її передачу наступним поколінням клітин і організмів у вигляді створених копій. РНК забезпечує реалізацію спадкової інформації, здійснюючи процеси синтезу білків та регулюючи чимало процесів у клітині.

У ланцюгах нуклеїнових кислот нуклеотиди розташовуються не випадково, а у певній послідовності, що передається від материнської клітини до дочірніх клітин. Послідовність розташування чотирьох видів нуклеотидів у генах (що є фрагментами молекул ДНК), кодує відповідну послідовність нуклеотидів у молекулі РНК. Далі за системою генетичного коду, який ти вивчатимеш пізніше, інформація реалізується у процесах синтезу білків. Організми, що утворюються в результаті статевого розмноження, мають унікальний набір ДНК і відповідно білків, хоча кількість видів мономерів («деталей») однакова для всіх організмів на Землі. Ця система нагадує алфавіт: із невеликої кількості літер можна складати велетенську кількість слів і передавати величезні об'єми інформації.

Властивість нуклеїнових кислот, яка дає їм змогу ефективно виконувати функцію відтворення і передання спадкової інформації, — це їх здатність утворювати комплементарні пари завдяки формуванню водневих зв'язків між нітрогеновмісними основами нуклеотидів. Так,

у складі ДНК утворюються пари аденіловий — тимідиловий нуклеотид (А–Т) і гуаніловий — цитидиловий (Г–Ц). Тому клітина завжди може побудувати дзеркальну копію ланцюга нуклеотидів.

Результатом цієї властивості є те, що у фрагменті дволанцюгової ДНК кількість аденілових нуклеотидів завжди дорівнює кількості тимідилових, а гуанілових — кількості цитидилових. Тому, знаючи число нуклеотидів одного виду та загальний розмір ділянки, можна обчислити кількість інших.

Досліди будову ДНК з інтерактивною симуляцією (виконай в

е-додатку завдання 8.1).

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Нуклеїнові кислоти є біополімерами, мономерами яких є нуклеотиди. Нуклеотиди складаються з трьох компонентів: нітрогеновмісної основи (аденін, гуанін, цитозин, тимін або урацил), моносахариду (рибоза або дезоксирибоза) і залишку ортофосфатної кислоти. В організмах нуклеїнові кислоти представлені двома різновидами — РНК (рибонуклеїнові кислоти) і ДНК (дезоксирибонуклеїнові кислоти). Основною функцією нуклеїнових кислот є збереження, передавання наступним поколінням і забезпечення реалізації спадкової інформації.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які сполуки називають нуклеїновими кислотами?
2. З яких компонентів складається нуклеотид?
3. Порівняй нуклеотиди ДНК і РНК.
4. Поясни, яким чином нуклеїнові кислоти можуть відтворювати і передавати спадкову інформацію.
5. Оціни правильність тверджень про нуклеїнові кислоти *(виконай в е-додатку завдання 8.2).*
6. Один ланцюг ДНК містить 27 гуанілових, 33 аденілових, 18 цитидилових і 13 тимідилових нуклеотидів. Скільки нуклеотидів кожного типу міститься у другому ланцюзі цієї ДНК?

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

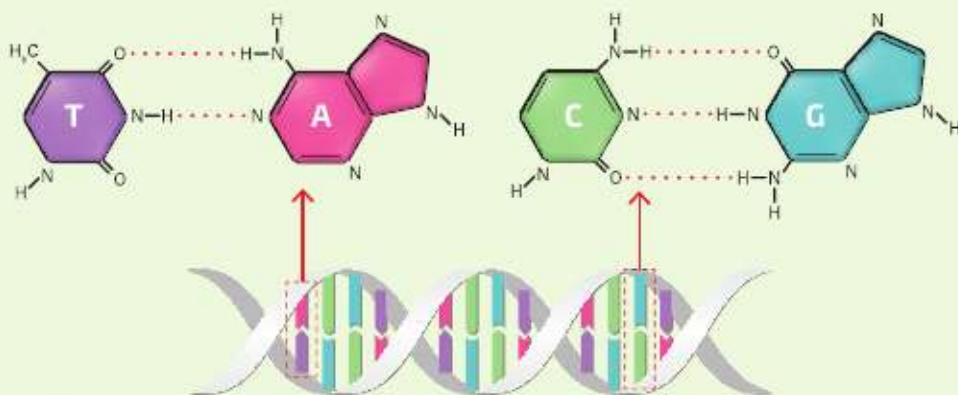


Поміркуй, як кожна клітина може передати інформацію двом дочірнім клітинам, ті — наступним, і так нескінченно... Завдяки яким правилам чи законам цей потік інформації невинно передається новим поколінням? Чи можуть траплятися помилки в цьому нескінченному інформаційному потоці?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- За нагрівання до 80 °С ДНК денатурує, тобто розділяється на два окремі ланцюги. Цей процес називають плавленням. Дослідники працюють із двома молекулами ДНК, що мають однакову кількість нуклеотидів — по 1000 пар, але в одній парі Г/Ц складають 20%, а в іншій — 80% (мал. 9.1). Яка з ДНК плавитиметься за вищої температури? Обґрунтуй свою відповідь.



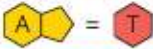
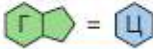
Мал. 9.1. Пари нуклеотидів, які утворюють водневі зв'язки у процесі формування дволанцюгової структури ДНК

- Сучасна криміналістика отримала ефективний інструмент для ідентифікації людини та підтвердження або спростування її участі у злочині. Мізерних кількостей біологічного матеріалу (краплини крові, слини, лусочки шкіри тощо) достатньо, щоб виділити ДНК і проаналізувати її належність. Потім із виділеної ДНК отримують численні копії за допомогою полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР). Як працює ця реакція і чому її назва схожа на назву ядерної ланцюгової реакції, яка відбувається під час вибуху атомної бомби?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Нуклеїнові кислоти вперше було виявлено в 1869 році швейцарським лікарем Фрідріхом Мішером. Проте протягом тривалого часу дослідники не могли розкрити ані структуру, ані функції цієї дивовижної молекули. Так, у 1909 році Ф. Левен запропонував тетрануклеотидну гіпотезу, яка стверджувала, що ДНК складається з повторюваних послідовностей чотирьох нуклеотидів. Відповідно кількість усіх чотирьох типів нуклеотидів у молекулі ДНК мала бути однаковою. Тому понад 30 років вважалося, що ДНК — надто проста речовина, щоб зберігати спадкову інформацію.

Але в 1943–1944 роках О. Евері, К. Маклеод і М. Маккарті довели, що саме ДНК переносить спадкову інформацію між бактеріями. А в кінці 1940-х років в лабораторії Е. Чаргаффа було встановлено «правило Чаргаффа», згідно з яким в молекулі ДНК кількість аденілових нуклеотидів дорівнює кількості тимідилових, а кількість гуанілових — кількості цитидилових (мал. 9.2). Це повністю спростувало тетрануклеотидну гіпотезу.

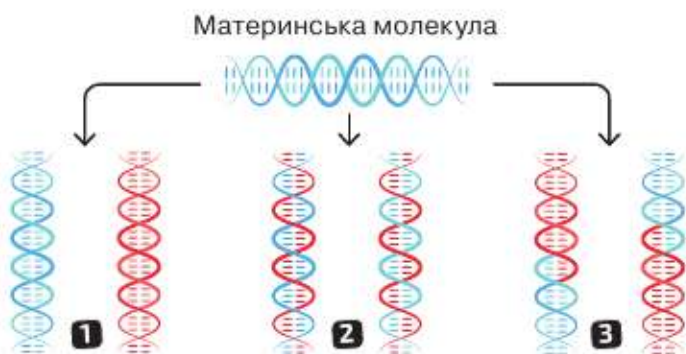
ДНК організмів	Аденін (А)	Тимін (Т)	Гуанін (Г)	Цитозин (Ц)
Людина	31,0	31,5	19,1	18,4
Дрозофіла	27,3	27,6	22,6	22,5
Пшениця	26,8	27,2	22,8	23,2
Кишкова паличка	24,6	24,3	25,5	25,6
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>				
$n(A) = n(T) \quad n(G) = n(C); \quad n(A + G) = n(T + C)$				

Мал. 9.2. Деякі з отриманих даних Е. Чаргаффа та виведені правила

У 1953 році Джеймс Вотсон і Френсіс Крік, спираючись на результати Е. Чаргаффа та рентгеноструктурні дослідження ДНК, виконані Розалінд Франклін і Морісом Вілкінсом, запропонували модель будови молекули ДНК. Вона має форму подвійної спіралі, у якій два антипаралельні ланцюги (початок одного розташований навпроти закінчення іншого) з'єднані водневими зв'язками між нітрогенумісними основами. Цю модель і було підтверджено подальшими дослідженнями. Історія відкриття структури ДНК пов'язана з багатьма спростованими і підтвердженими гіпотезами, непростими науковими змаганнями, перемогами і невдачами.

Переглянь в **е-додатку** відео про відкриття структури ДНК (завдання 9.1).

Але як саме відбувається передавання спадкової інформації з ДНК наступним поколінням? Зрозуміло, що вона подвоюється (реплікується), але яким чином? Вчені розглядали три можливі варіанти (мал. 9.3).



Мал. 9.3. Теоретично можливі варіанти подвоєння (реплікації) ДНК

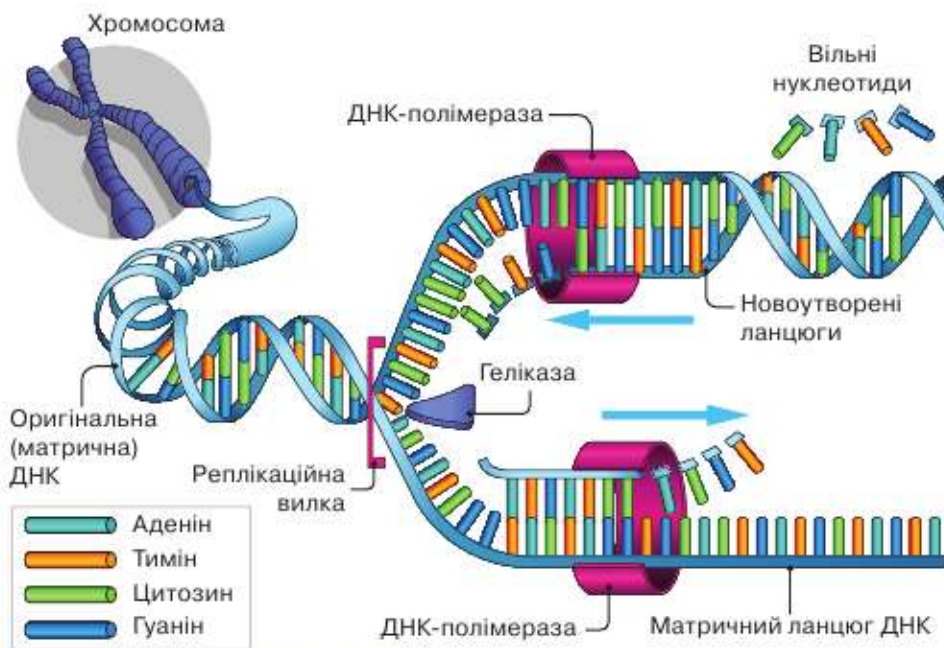
- 1 Консервативний** — подвійна спіраль є матрицею для синтезу нової подвійної спіралі, ланцюги не розплітаються, нова спіраль ДНК містить тільки нові нуклеотиди.
- 2 Напівконсервативний** — спіраль розкручується і до кожного ланцюга добудовується нова копія, кожна з яких містить половину старих (в одному ланцюзі) і половину нових (в іншому ланцюзі) нуклеотидів.
- 3 Дисперсивний** — подвійна спіраль розпадається на фрагменти, кожен з яких копіюється, після чого фрагменти зливаються, старі й нові ділянки ДНК чергуються в межах одного ланцюга.

Дослідження з використанням «мічених атомів» підтвердили напівконсервативний варіант реплікації. Вчені застосували важкий ізотоп Нітрогену.

Процес *реплікації* є складним і потребує залучення багатьох ферментів. Топоізомераза розплітає спіраль ДНК, геліказа розриває водневі зв'язки між її ланцюгами, а головним ферментом, що здійснює синтез нового ланцюга, є ДНК-полімераза (мал. 9.4).

Для функціонування молекул ДНК важливим фактором є їхня просторова структура. Її стабільність підтримується значною мірою завдяки водневим зв'язкам між нітрогеновмісними основами нуклеотидів. Між аденіном і тиміном утворюються два водневі зв'язки, а між гуаніном і цитозином — три (мал. 9.1, с. 38). Завдяки цьому зв'язок між гуаніном і цитозином є більш міцним. Крім водневих зв'язків у стабі-

лізації подвійної спіралі беруть участь гідрофобні і стекові (між нітрогеновмісними основами) взаємодії.



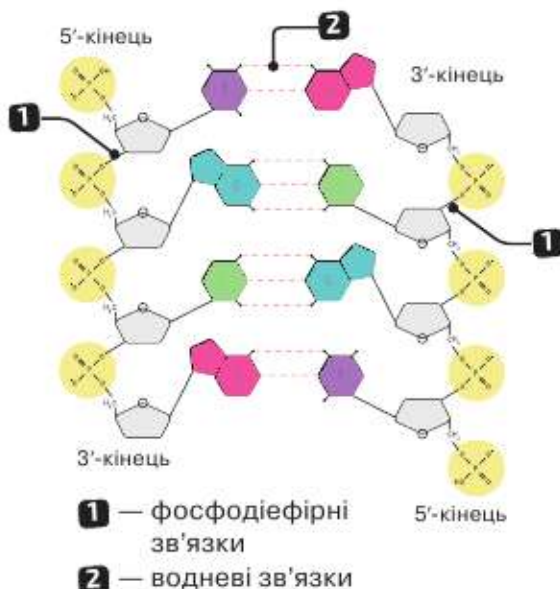
Мал. 9.4. Схема реплікації ДНК

У просторовій структурі ДНК важлива спрямованість ланцюгів. Залишки ортофосфатної кислоти об'єднують нуклеотиди в єдиний ланцюг, утворюючи фосфодіестерні зв'язки з дезоксирибозою. Вони завжди формуються між третім атомом Карбону одного нуклеотиду та п'ятим атомом Карбону іншого (кожен з п'яти атомів у дезоксирибозі має свій номер). Відповідно на одному кінці ланцюга ДНК вільна і не пов'язана з фосфатною групою. Залишається третій атом, а на другому кінці ланцюга — п'ятий атом. Ці кінці мають відповідні назви — 3'-кінець (три-штрих кінець) і 5'-кінець (п'ять-штрих кінець). Два ланцюги ДНК у подвійній молекулі є антипаралельними, 3'-кінець однієї розташований навпроти 5'-кінця іншої (мал. 9.5, с. 42). Чому це важливо? Ферменти, які здійснюють синтез ДНК, можуть зчитувати матричний ланцюг лише в напрямку від 3'-кінця до 5'-кінця, оскільки синтез нового ланцюга відбувається в напрямку від 5' до 3'.

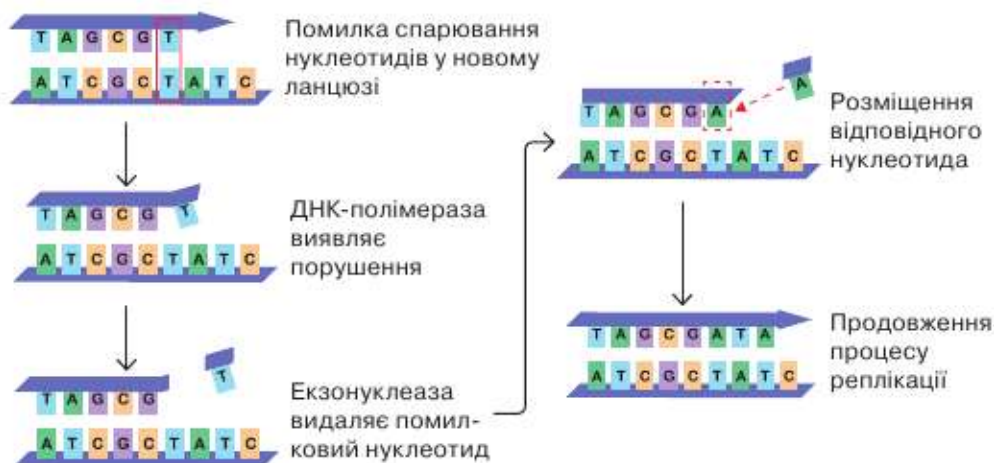
За підвищення температури або зміни рН середовища водневі зв'язки починають руйнуватися, і ланцюги нуклеотидів ДНК можуть розділитися — відбувається *денатурація*. Якщо вплив негативно-го фактору (температури середовища, його солоності чи рН тощо)

зникає, то структура молекул ДНК може відновлюватися. Цей процес називають *ренатурація*.

На основі явищ денатурації, реплікації і ренатурації було засновано *метод полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР)*. У цьому методі розчин з молекулами ДНК і значною кількістю нуклеотидів спочатку нагрівають, що стає причиною денатурації і розділення ДНК на окремі ланцюги. Потім охолоджують, і наявні у ньому ДНК-полімерази добудовують до кожного з ланцюгів його комплементарний ланцюг. В результаті кількість молекул ДНК подвоюється. Якщо такий цикл повторити 20–30 разів, то з однієї молекули ДНК можна отримати величезну кількість її точних копій. Їх можна використовувати і в наукових дослідженнях, і в судовій експертизі.



Мал. 9.5. Антипаралельне розташування ланцюгів ДНК в молекулі



Мал. 9.6. Процес репарації ДНК

ДНК-полімераза і спеціальні комплекси білків можуть здійснювати процеси *репарації*, які виправляють помилки, що трапилися під час реплікації або через дію шкідливих факторів. У процесі репарації (від англ. *repair* — ремонт) (мал. 9.6) нуклеотиди, які опинилися в неправильному місці, вирізаються і замінюються на потрібні.

Проте репараційні системи не мають стовідсоткової ефективності — частина пошкоджень залишається в ДНК, що призводить до мутацій.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

ДНК зазвичай має вигляд дволанцюгової спіралі, ланцюги якої — антипаралельні. Процес подвоєння ДНК — реплікація — відбувається за участі комплексу ферментів, головну роль у якому відіграє ДНК-полімераза. Під впливом високої температури або інших факторів відбувається денатурація ДНК. Пошкодження і помилки в молекулі ДНК можуть виправлятися завдяки процесам репарації.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

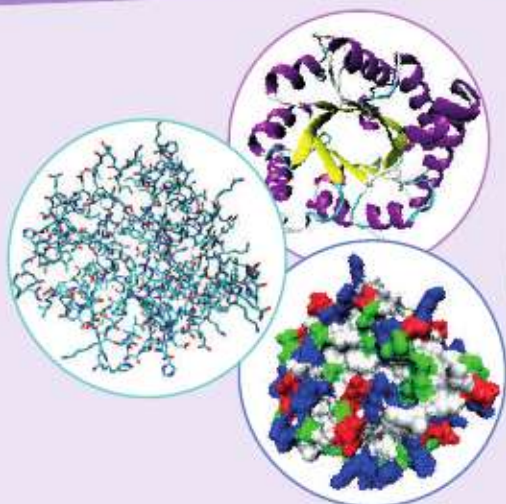
1. Як було відкрито структуру ДНК? Для відповіді скористайся відео в **е-додатку** (завдання 9.1).
2. Чому ланцюги подвійної спіралі ДНК називають антипаралельними?
3. Як відбувається реплікація ДНК, і які ферменти в цьому беруть участь? Яке її значення для клітин, організмів і збереження життя загалом?
4. Один ланцюг штучно синтезованої молекули ДНК має таку послідовність нуклеотидів: ГГТ АГГ ТЦТ ГГТ ААТ. Запиши послідовність нуклеотидів у комплементарному ланцюзі. Визнач кількість водневих зв'язків, що утворюються між нітрогеновмісними основами обох ланцюгів та кількість фосфодіефірних зв'язків між нуклеотидами.
5. STEM-проект. Об'єднайтесь у групи і змодельуйте подвійну спіраль молекули ДНК (виконайте в **е-додатку** завдання 9.2).
6. Склади перелік можливих способів застосування полімеразної ланцюгової реакції. Скористайся інформацією з **е-додатку** (завдання 9.3).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 10 РНК. АТФ

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Білки є чудовими каталізаторами і беруть участь в утворенні всіх інших груп органічних речовин у клітинах. А які органічні сполуки каталізують утворення самих білків?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** В організмі людини утворюється близько 60 кг АТФ (мал. 10.1) щодоби! Проте в організмі людини в будь-який конкретний момент усього близько 200 грам АТФ. Як таке можливо?



Мал. 10.1. Структура молекули АТФ

- 2** Аналіз нуклеотидного складу виявив такий уміст нуклеотидів в молекулі РНК: 30 % нуклеотидів з аденіном, 26 % — з урацилом, 14 % — з гуаніном, 40 % — з цитозином.

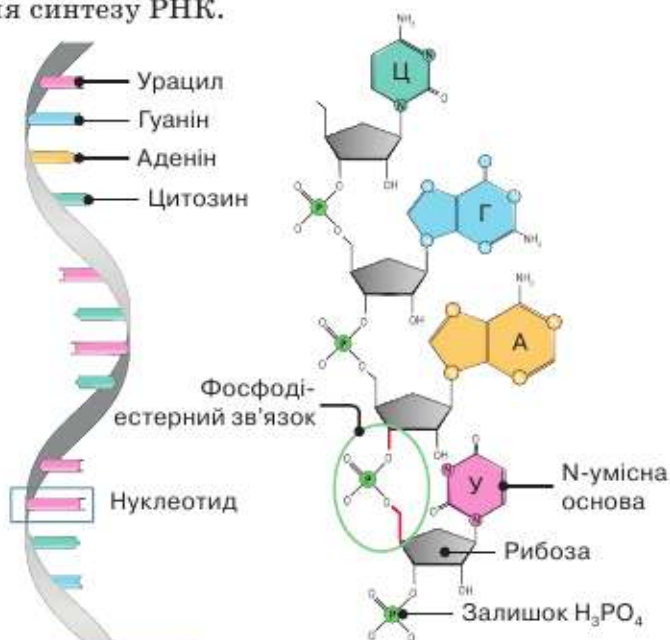
Визнач відсотковий уміст нуклеотидів кожного виду у дволанцюговій ДНК, один із ланцюгів якої є матрицею для досліджуваної РНК. (Зауваж, що аденін в ДНК комплементарний урацилу в РНК, тимін — аденіну, цитозин — гуаніну, гуанін — цитозину.)

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Вміст РНК у клітині у 5–10 разів перевищує вміст ДНК. Здавалося б, ДНК дволанцюгова, її має бути більше, але вона стабільна і не витрачається у метаболічних процесах; синтез відбувається лише перед поділом клітини. Молекули РНК, натомість, є безпосередніми виконавцями й регуляторами багатьох процесів: вони синтезуються, деградують і утворюються нові. Частина РНК переміщується з ядра в цитоплазму. У ланцюгах РНК між мономерами — залишками нуклеотидів — утворюються фосфодіестерні зв'язки, що поєднують фосфатну групу із рибозою (мал. 10.2), формуючи первинну структуру полімеру — молекули РНК.

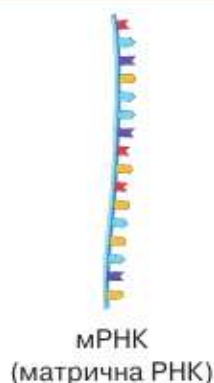
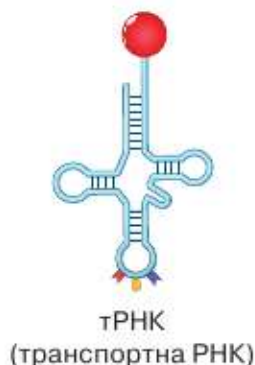
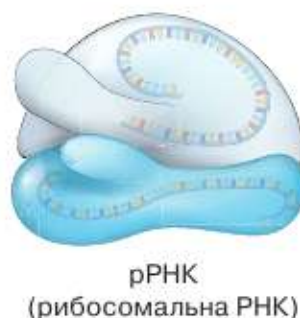
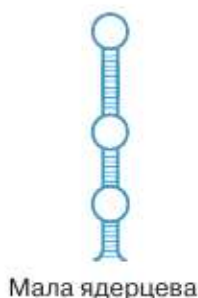
Деякі ділянки ланцюга зближуються, і між нітрогенумісними основами формуються водневі зв'язки, завдяки чому РНК набуває складної просторової структури.

РНК синтезується на матриці ДНК за участю ферменту РНК-полімерази. Зчитується лише один із ланцюгів ДНК, який слугує матрицею для синтезу РНК.



Мал. 10.2. Первинна структура РНК

Розрізняють кілька типів РНК (мал. 10.3, с. 46), і науковці відкривають нові. Основними типами РНК, що беруть безпосередню участь у синтезі білків, є матрична (мРНК), рибосомальна (рРНК), транспортна (тРНК). Виявлено інші типи РНК, що переважно виконують регуляторні функції. Деякі з них зовсім маленькі — складаються з 20–30 нуклеотидів.



Мал. 10.3. Типи РНК

Тип РНК	Особливості будови молекули	Функції, які виконує
Матрична РНК, або мРНК (інша назва інформаційна РНК, або іРНК), англ. <i>mRNA – messenger RNA</i>	Зазвичай довгий ланцюг (від сотень до тисяч нуклеотидів), лінійна структура	Містить інформацію про послідовність амінокислот у молекулі білка, яку переносить від ДНК до місця синтезу, виконує роль матриці у процесі синтезу білкової молекули
Рибосомна РНК, або рРНК	Довгий ланцюг складної просторової структури, утворює комплекс із рибосомними білками	Забезпечує синтез білка у складі рибосом, деякі з них є рибозимами, які каталізують синтез молекули білка
Транспортна РНК, або тРНК	Відносно малої довжини (до 100 нуклеотидів), має складну просторову структуру, окремі ділянки взаємодіють, утворюючи спарені фрагменти	Доставляє до рибосом окремі амінокислоти, взаємодіє з мРНК, забезпечуючи розташування потрібної амінокислоти в рибосомі для утворення пептидного зв'язку

Тип РНК	Особливості будови молекули	Функції, які виконує
Малі РНК	Невеликого розміру (до 200 нуклеотидів), можуть утворювати комплекси з білками	Виконують переважно регуляторні функції. Різновиди: малі ядерні РНК (мяРНК), малі інтерферуючі РНК (міРНК) та інші
Довгі некодувальні РНК	Містять більше 200 нуклеотидів, не кодують білки	Виконують регуляторні функції, наприклад, беруть участь в інактивації Х-хромосоми

З інформації у таблиці зрозуміло, що три види РНК — мРНК, тРНК і рРНК — виконують головні функції у синтезі білків. Інші види РНК, відкриті відносно нещодавно, переважно виконують регуляторні функції.

За умістом у клітині найбільше рРНК, яка є основою рибосом. Але найвища різноманітність молекул мРНК, позаяк саме ці молекули є матрицями для усього розмаїття білків у клітині.

Види молекул РНК мають різний період існування та потреби в оновленні. Рибосомальні і транспортні РНК тривалий час зберігаються у клітині і виконують свої функції (дні/тижні). А от матричні РНК, що несуть інформацію про білок, та регуляторні РНК швидко руйнуються (хвилини /години), позаяк умови у клітинах швидко змінюються й інформація може втратити актуальність.

У деяких вірусів РНК може виконувати функцію, яку в клітинних організмах виконує ДНК, — збереження і відтворення спадкової інформації. До речі, РНК у вірусів може бути дволанцюговою.

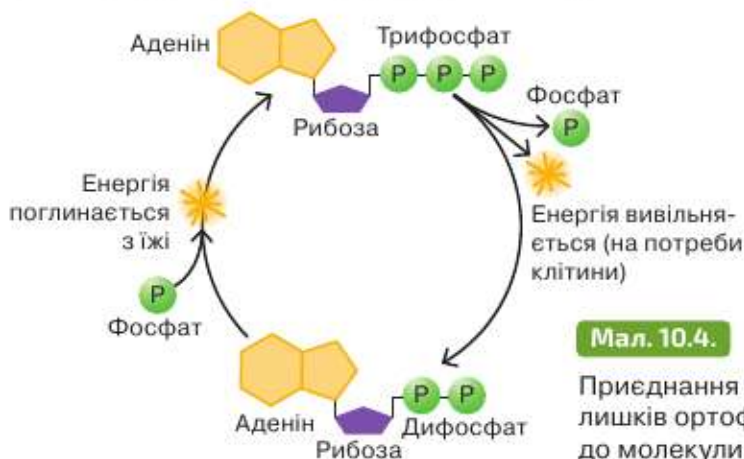
Чимало останніх наукових досліджень пов'язані з виявленням функцій малих РНК. У 2024 році саме за відкриття мікроРНК та її ролі в регуляції генів було присуджено Нобелівську премію з фізіології та медицини (Віктор Амброс, Гарі Рувкун). Ці крихітні молекули відіграють вирішальну роль у регуляції генів.

Малі ядерні РНК регулюють дозрівання молекул мРНК, малі ядерцеві РНК спрямовують хімічну модифікацію рРНК та інших видів РНК.

Малі інтерферуючі РНК беруть участь в РНК-інтерференції, що приглушує утворення продуктів тих чи інших генів.

Виявилося, що за допомогою цих молекул можна регулювати чимало процесів у клітинах. Використання різних видів РНК набуває нових масштабів у лікуванні хвороб. Наприклад, малі інтерферуючі РНК уже успішно використовують у лікуванні атеросклерозу. Матричні РНК є компонентами вакцин проти Covid-19 та інших інфекцій.

Крім макромолекул ДНК і РНК для клітин важливою є наявність окремих нуклеотидів. Один із прикладів — давно відомий тобі АТФ. Молекула АТФ — це особливий нуклеотид, що містить аденін, рибозу і три залишки H_3PO_4 (мал. 10.1, с. 44). Звідси і назва — аденозинтрифосфат: до назви нуклеозиду додають кількість приєднаних залишків кислоти. АТФ — універсальний акумулятор енергії. Ця молекула переносить енергію туди, де вона потрібна. Там відбувається гідроліз зв'язку між другою і третьою фосфатними групами молекули АТФ, енергія вивільняється, і АТФ перетворюється на АДФ, що містить лише дві фосфатні групи (мал. 10.4). АДФ теж може від'єднувати один фосфатний залишок із вивільненням енергії, перетворюючись в АМФ, що вже не має здатності акумулювати енергію. Тож зв'язки між фосфатними групами в молекулах АТФ і АДФ іноді називають *високоенергетичними* (макроергічними).

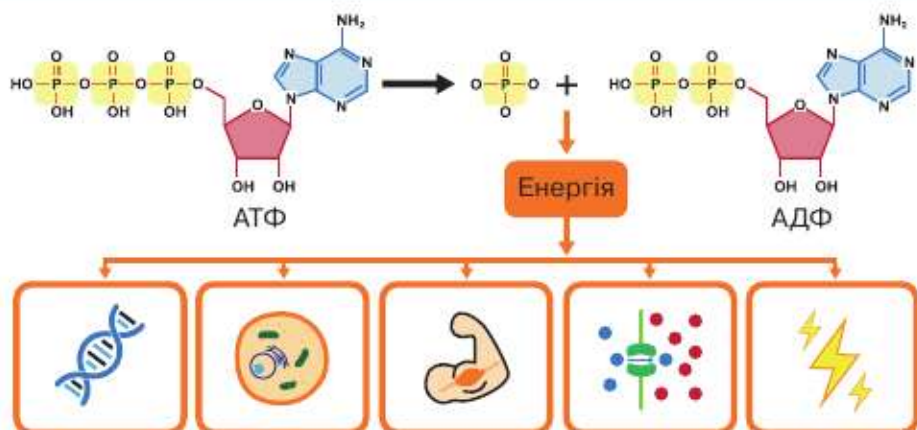


Мал. 10.4.

Приєднання і від'єднання залишків ортофосфатної кислоти до молекули нуклеотиду

Кількість енергії, що може вивільнитися внаслідок гідролізу 1 моля АТФ до АДФ, залежить від умов, її оцінюють близько 40 кДж. Позаяк процеси, зображені на мал. 10.5, відбуваються дуже швидко, період існування АТФ зазвичай значно менший однієї хвилини. Майже всі процеси в клітинах, що потребують енергії, відбуваються за участі АТФ (мал. 10.5). Тому щоденно організми витрачають її у величезних кількостях і постійно відновлюють передусім за рахунок процесів дихання.

Енергія може акумулюватися не лише в АТФ, а й в інших трифосфатнуклеотидах — ГТФ, ТТФ тощо. Окремі нуклеотиди відіграють важливу роль і в регуляторних процесах. Наприклад, циклічний АМФ є важливим посередником у передаванні сигналів у клітинах, а ГТФ взаємодіє з білковими рецепторами мембран і відіграє важливу роль у сприйнятті і передаванні сигналів всередину клітин.



Мал. 10.5. Процеси, в яких використовується енергія АТФ

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

РНК є важливими компонентами клітинних процесів. Існує багато видів РНК, які відрізняються за структурами і функціями. Найбільш поширеними видами є: матрична (мРНК), рибосомальна (рРНК) і транспортна (тРНК). Інші типи РНК виконують різноманітні регуляторні функції. Зокрема, у процесах метаболізму — аденозинтрифосфат (АТФ), що є універсальним акумулятором енергії у всіх живих організмах.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

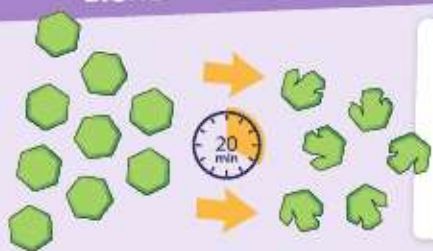
1. Які функції в клітинах виконують РНК?
2. Яке значення для клітин мають сполуки з макроергічними зв'язками?
3. В яких процесах може бути використана АТФ?
4. Порівняй будову та період існування матричних і транспортних РНК.
5. Запропонуй пояснення того факту, що в живих системах РНК значно рідше, ніж ДНК використовується для збереження спадкової інформації.
6. Матрицею для синтезу молекул РНК зазвичай є один із ланцюгів молекули ДНК. STEM-проект. Змодельюй синтез РНК на матриці ДНК в інтерактивній симуляції (виконай в **е-додатку** завдання 10.1).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 11 Біологічно активні речовини

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

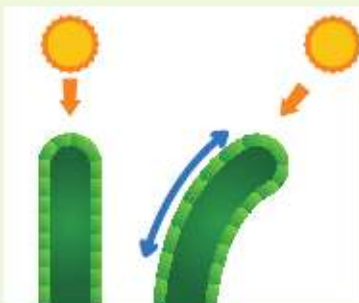


Більшість гормонів мають короткий період існування в організмі і швидко втрачають активність. Чому так? Який гормон є лідером такої короткотривалості? Чому саме він? І що сталося б, якби молекули цієї речовини довго зберігали активність?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

1 Спрямований ріст пагона до світла називають фототропізмом (мал. 11.1). Цей процес регулюється перерозподілом фітогормону ауксину, що спричиняє закислення клітинної стінки, робить її еластичнішою і стимулює видовження клітин. Поміркуй, з якого боку — освітленого чи затіненого — накопичується більше молекул ауксину. Запропонуй план проведення експерименту для дослідження механізмів фототропізму.



Мал. 11.1. Фототропізм

2 Антибіотик пеніцилін зазвичай ефективно впливає на клітини збудника ангіни, але не демонструє значної дії на клітини людини. Чому?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Біологічно активні речовини (БАР) — це сполуки, які у невеликих кількостях проявляють високу активність у дії на живі організми. До цієї групи відносять як органічні, так і неорганічні речовини. Важливішими серед них є гормони, фітогормони, вітаміни, антибіотики, алкалоїди, феромони тощо. Вони можуть як утворюватися в організмі, так і потрапляти до нього ззовні.

Гормони є речовинами, які виробляються ендокринними залозами тварин і впливають на окремі органи і тканини та організм у цілому. Зазвичай гормони діють на достатньо великій відстані від місця синтезу і мають високу біологічну активність. Характерною ознакою гормонів

є вибірковістю дії — вони діють тільки на ті клітини і тканини, які є чутливими до них. Гормони можуть належати до різних груп сполук.

Гормони є основним засобом ендокринної регуляції. У людини вони регулюють рівень цукру в крові (інсулін і глюкагон), ріст окремих частин тіла і організму загалом (соматотропін), розвиток статевих ознак (естерогени, андрогени), інтенсивність метаболізму (тироксин), стресові реакції (адреналін, кортизол).

Окремою групою є нейрогормони. Вони виробляються особливими нейронами (нейросекреторними клітинами) і виділяються нервовими закінченнями. Але потім, як і всі інші гормони, транспортуються кров'ю або тканинною рідиною. Нейрогормонами є вазопресин (посилює реабсорбцію води в нирках) та окситоцин (стимулює скорочення непосмугованих м'язів, зокрема під час пологів, сприяє зниженню тривоги і формуванню прив'язаності до дитини, партнера / партнерки).

Нейромедіатори — речовини, що здійснюють передачу імпульсів між нейронами у синапсах. Вони не лише передають сигнали до м'язів, мозку чи інших органів, а й відіграють важливу роль у регулюванні психоемоційних станів, наприклад, серотонін чи дофамін (мал. 11.2).



Іноді серотонін називають «гормоном щастя», а дофамін — «гормоном задоволення». Проте насправді це нейромедіатори мозку, що беруть участь у регуляції настрою, мотивації та поведінки. Дофамін більше пов'язаний з інтересом, очікуванням винагороди й навчанням, а серотонін — зі стабільністю настрою та емоційною рівновагою. Ендорфіни — природні пептиди, що виділяються в мозку, мають здатність зменшувати біль і покращують емоційний стан. Стимулюють їх секрецію фізичні навантаження, стрес і навіть біль.

Усі ці речовини не створюють щастя самі по собі, але впливають на те, як ми переживаємо події. Їх роботу підтримують звичайні здорові звички: достатній сон, фізична активність, спілкування, перебування на світлі та збалансоване харчування.

Фітогормони є сигнальними молекулами, які виробляються в тканинах і органах рослин і впливають на окремі органи та рослину в цілому. Як і гормони тварин, фітогормони діють у низькій концентрації і можуть належати до різних груп речовин. Але виробляти їх можуть різні клітини рослин, а не лише спеціалізовані залози, як це відбувається у тварин. Фітогормони виробляють і гриби.

Фітогормони впливають на ріст і поділ клітин. Вони можуть забезпечувати ростові рухи рослин, регулюють розмір їхніх органів, беруть участь у захисті від патогенів, забезпечують репродуктивний розвиток тощо. На значні відстані фітогормони транспортуються флоемою та ксилемою.

Назва	Функція фітогормону
Ауксини	Стимулюють верхівковий ріст шляхом збільшення розмірів клітин, стимулюють утворення коренів у живців, регулюють фототропізм
Цитокінін	Є гормонами росту, стимулюють поділ клітин твірної тканини, галуження пагонів
Абсцизова кислота	Фітогормон стресових реакцій: стимулює опадання листя, закриття продихів, спокій бруньок
Етилен	Гальмує ріст, стимулює дозрівання плодів

Вітаміни є групою органічних речовин, які мають різний склад і властивості. Вони необхідні організму у незначних кількостях, але без них він не може здійснювати процеси життєдіяльності. Часто вітаміни можуть бути коферментами для певних ферментів (вітаміни групи В) або основою для синтезу потрібних організмам речовин.

ВІТАМІНИ	
Водорозчинні (гідрофільні)	Жиророзчинні (гідрофобні)
Вітамін С (аскорбінова кислота) і вітаміни групи В	Вітаміни А, D, Е, К

Вітаміни повинні надходити в організм з їжею, позаяк ферменти для їх синтезу в організмі відсутні. Єдиний вітамін, що може синтезуватися у клітинах людини, — вітамін D (синтезується клітинами епітелію під дією УФО). Суттєву роль у насиченні організму вітамінами виконує

мікробіом — мікроорганізми, що населяють кишківник людини, синтезують вітаміни групи В і К.

За нестачі вітамінів (гіповітамінозі) можуть розвинути порушення — рахіт (нестача вітаміну D), цинга (скорбут, нестача вітаміну С), куряча сліпота (дефіцит вітаміну А) тощо.

Антибіотики — речовини, які виробляються мікроорганізмами (грибами або бактеріями) для захисту від інших мікроорганізмів. Різні антибіотики мають різні механізми дії. Часто мішенню для них є клітинна стінка, основою якої є пептидоглікан муреїн. Пеніцилін та ряд інших антибіотиків пригнічують його синтез. Надмірне використання антибіотиків веде до формування антибіотикорезистентності. Тож приймати антибіотики можна за чіткими рекомендаціями лікаря.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Біологічно активні речовини — це сполуки, які у невеликих кількостях проявляють високу активність у дії на живі організми. До цієї групи відносять гормони, фітогормони, вітаміни, антибіотики та інші сполуки. Вони можуть вироблятися самим організмом і надходити до нього з навколишнього середовища.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Наведи приклади гормонів та нейгормонів і поясни їх роль в організмі.
2. За малюнком 11.2 поясни зв'язок рівня гормонів і нейромедіаторів з різними психоемоційними станами.
3. Яка роль фітогормонів у життєвих процесах рослин? Які фітогормони регулюють ріст, а які — стресові реакції рослин?
4. Які вітаміни можуть синтезуватися в організмі людини, а які обов'язково мають надходити з їжею?
5. Поясни, яке значення для сучасного людства мають антибіотики, обґрунтуй ризики надмірного використання антибіотиків.
6. Виконай в **е-додатку** інтерактивне завдання про біологічно активні речовини (завдання 11.1).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

Узагальнювальні дослідницькі завдання

ПРАКТИЧНА РОБОТА

Розв'язання елементарних задач зі структури нуклеїнових кислот

Інформація до роботи

Один виток спіралі містить 10 пар нуклеотидів і зазвичай має довжину 3,4 нм. Тож 0,34 нм можна прийняти за довжину 1 нуклеотида.

Маса 1 нуклеотида — 345 а. о. м. (або дальтонів, Да).

Правило Чаргаффа: у ДНК кількість нуклеотидів з аденіном дорівнює кількості нуклеотидів з тиміном, а з гуаніном — з цитозином.

Пару гуанін / цитозин поєднано трьома водневими зв'язками, а аденін / тимін — двома.



Приклади задач

Задача 1. Один із ланцюгів молекули ДНК складається з нуклеотидів: **АТГ-АЦЦ-ГАЦ-АЦГ-ЦАЦ**.

- 1) Яка послідовність нуклеотидів у другому ланцюзі цієї молекули?
- 2) Яка маса і довжина цієї дволанцюгової ділянки ДНК?
- 3) Яка кількість водневих зв'язків у цій молекулі?

Розв'язання

- 1) За правилом комплементарності послідовність нуклеотидів в другому ланцюзі:

ТАЦ-ТГГ-ЦТГ-ТГЦ-ГТГ.

- 2) Маса ДНК: $m = 15 \cdot 2 \cdot 345 = 10350$ (а. о. м.)

Довжина ДНК: $l = 15 \cdot 0,34 = 5,1$ (нм)

- 3) Кількість пар А / Т = 6; Г / Ц = 9. Кількість водневих зв'язків: $6 \cdot 2 + 9 \cdot 3 = 39$.

Задача 2. У дволанцюговій молекулі ДНК 450 нуклеотидів з аденіном, що становить 30 % загальної кількості. Визнач: 1) кількість тиміну, гуаніну і цитозину; 2) масу і довжину молекули ДНК.

Розв'язання

- 1) Загальна кількість нуклеотидів:

$$N = 450 \cdot 100 / 30 = 1500$$

За правилом Чаргаффа $A = T = 450$

$$Г = Ц = (1500 - 2 \cdot 450) / 2 = 300$$

- 2) Маса ДНК: $m = 1500 \cdot 345 = 517\,500$ (а. о. м.)

Довжина ДНК: $l = 1500 / 2 \cdot 0,34 = 255$ (нм)

1500	450 А	=	450 Т
	Г ?	=	Ц ?

Задачі для самостійної роботи див. в **е-ДОДАТКУ** (завдання 11.2).

2 КЛІТИНА – СТРУКТУРНО- ФУНКЦІОНАЛЬНА ОДИНИЦЯ ОРГАНІЗМІВ



§ 12 Методи дослідження клітин

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Дослідження клітин розпочалося з винаходу світлового мікроскопа. Люди із захопленням розглядали збільшені зображення безбарвних і кольорових, статичних і рухомих клітинних структур. Як вплинув на дослідження клітин винахід електронного мікроскопа? Чому за його допомогою отримують лише чорно-білі зображення?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

1 В лабораторіях, які досліджують клітини, зазвичай є одна або кілька ультрацентрифуг (мал. 12.1). У їх ротори можна ставити пробірки і крутити їх з високою швидкістю, створюючи навантаження навіть до 1 млн g (де g — еквівалент стандартної сили тяжіння). Що і навіщо крутять у цих приладах? Навіщо в них таке велетенське навантаження?



Мал. 12.1. Ультрацентрифуга

2 Найвідомішими різновидами мікроскопії, які використовуються в біології, є оптична й електронна. Але біологи використовують й інші різновиди цього методу. Навіщо у дослідженні біологічних об'єктів може знадобитися рентгенівська мікроскопія?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Дослідження клітин розпочалося з відкриття клітин Робертом Гуком ще в XVII столітті і продовжується зараз. Галузь біології, що вивчає будову, функції й розвиток клітин, називають цитологією. Результати цитологічних досліджень використовують у медицині, селекції, біотехнології та в багатьох інших галузях. Для дослідження клітин вчені використовують багато різних методів (мал. 12.2).

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використання
мікроелектродівКультивування
клітинМікрохірургія
клітинФарбування
клітин

Центрифугування

Мікроскопія

Мікротомування

Використання
мічених
атомів

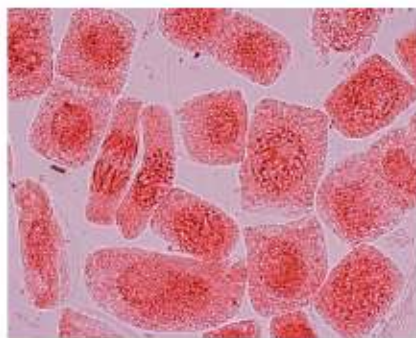
Створення цибридів (гібридних клітин)

Мал. 12.2. Поширені методи дослідження клітин

Найдавнішим методом дослідження клітин є мікроскопування. Власне, з відкриття клітин за допомогою мікроскопа дослідження клітин і розпочалося.

Збільшення зображення клітин світловим (оптичним) мікроскопом досягається роботою системи лінз, що фокусують промені світла. Пригадай будову оптичного мікроскопа (*виконай в е-додатку завдання 12.1*).

Світлова мікроскопія дала змогу виявити найбільші органели клітин, а також спостерігати за перебігом процесів у клітині — наприклад, за поділом клітини (мал. 12.3) або рухом хлоропластів (*переглянь відео в е-додатку (завдання 12.2)*).



Мал. 12.3. Клітини корінців цибулі на різних етапах поділу

Проте світлова мікроскопія має обмежені можливості у кратності збільшення зображення об'єкта спостереження (у десятки, сотні, інколи до тисячі або й більше разів).

У 30-ті роки XX ст. було створено електронний мікроскоп. Цей пристрій працює завдяки потоку електронів, які «освітлюють» об'єкт. Електрони мають дуже коротку довжину хвилі, що дає змогу побачити набагато дрібніші деталі. Усередині мікроскопа — вакуум, тому електрони рухаються без перешкод. Замість скляних лінз у ньому використовують електромагнітні лінзи, які спрямовують і фокусують електрони. Коли електрони стикаються з об'єктом, формується зображення, що відображається на екрані. Оскільки електрони легко проходять крізь більшість біологічних тканин, зразок виглядав би «прозорим» і майже невидимим. Щоб уникнути цього, клітини

чи зрізи обробляють солями важких металів, тому в електронний мікроскоп можна розглядати лише неживі об'єкти.

Завдяки електронному мікроскопу можна детально розглянути дуже дрібні структури: рибосоми, віруси, поверхні мембран (мал. 12.4). Сучасні електронні мікроскопи збільшують зображення об'єкта спостереження до двох мільйонів разів.



Мал. 12.4. Хлоропласт під електронним мікроскопом

Утім інколи для досліджень можуть використовувати й інші джерела випромінювання, наприклад, рентгенівське випромінювання. Рентгенівські мікроскопи — це прилади для безруйнівного дослідження внутрішньої структури матеріалів і біологічних зразків.

І світлова, і електронна мікроскопія мають багато варіацій. Так, електронні мікроскопи поділяють на трансмісивні і сканувальні (дають змогу отримати тривимірне зображення). А різновидами оптичної мікроскопії є флуоресцентна, конфокальна, світлопольна тощо.

Фарбування клітин зробило можливим виокремлення в полі зору дослідників окремих органел чи певних структур клітини. Для цього використовують спеціальні барвники, які дають змогу вибірково фарбувати те, що потрібно. Результати фарбування і мікроскопії клітин можна значно покращити, використовуючи мікротомування — метод, який допомагає робити велику кількість дуже тонких зрізів фіксованих клітин, які потім фарбують і досліджують. Суттєво полегшує роботу з клітинами їх вирощування на спеціальних середовищах поза організмом (культивування клітин).

Значних результатів вченим вдалося досягнути, застосовуючи метод центрифугування. Спочатку руйнують мембрани клітин, а їх вміст поміщують в центрифугу, яка обертається з великою швидкістю. Відцентрова сила розподіляє гомогенізований вміст клітин за фракціями, відповідно до швидкості їх осідання під дією навантаження. Таким чином можна отримувати вже очищені й однорідні сукупності визначених структур клітин.

Більш ефективного розділення можна досягти завдяки центрифугуванню на надзвичайно високій швидкості в ультрацентрифугах із використанням спеціальних розчинів.

Ще один важливий метод досліджень — використання мічених атомів — радіоактивних ізотопів звичайних атомів (наприклад, атомів Карбону). Радіоактивні атоми періодично розпадаються. Випромінювання від таких розпадів реєструють і визначають, у яких частинах клітини ці атоми містяться. Так можна відстежувати процеси синтезу, розпаду, транспортування речовин у клітині. Методом мічених атомів було підтверджено гіпотезу напівконсервативного механізму реплікації ДНК.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Для дослідження клітин використовують різноманітні методи і технології. Найпоширенішим і найдавнішим є світлова мікроскопія. Електронні мікроскопи створюють детальніші зображення, збільшуючи зразок у сотні тисяч разів. Велике значення мають методи, пов'язані з біохімічними процесами (фарбування, метод мічених атомів). Також активно використовуються технології мікротомування, мікрохірургії клітин тощо.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

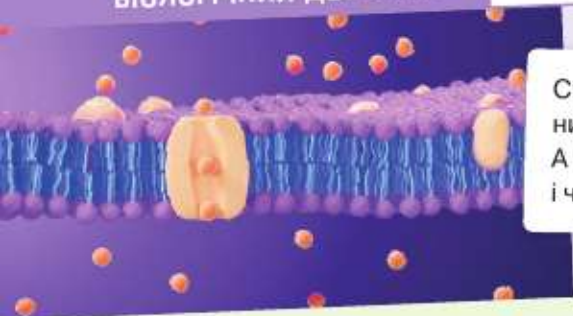
1. Які методи використовують для дослідження клітин?
2. Порівняй світлову й електронну мікроскопію. Визнач переваги і недоліки кожного методу.
3. Фракцію яких компонентів клітини отримують під час центрифугування на низькій швидкості, а яких — лише на високій?
4. Виконай в **е-додатку** завдання 12.3.
5. Було виявлено, що синтезовані рибосомами білки надходять з ендоплазматичної сітки у комплекс Гольджі через 10–30 хв після синтезу. Там вони перебувають ще 20–30 хв і тоді уже виводяться назовні. Який метод використали для отримання цих результатів? Обґрунтуй.
6. Виконай в **е-додатку** віртуальне дослідження клітин з Відкритою науковою лабораторією (завдання 12.4).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 13 Мембрани і мембранні комплекси клітин

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



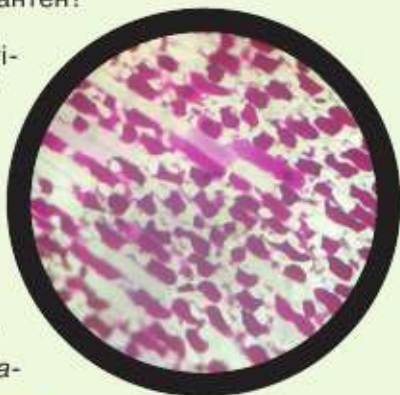
Сучасну модель, яка описує будову клітинних мембран, називають рідинно-мозаїчною. А що може означати така дивна назва і чому вона з'явилася?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

1 На поверхні клітинних мембран під електронним мікроскопом можна побачити розгалужені молекули глікопротеїдів — складних білків, до складу яких входять білкова і вуглеводна частини. За зовнішнім виглядом ці молекули схожі на якісь дивні антени. Чи може вони схожі не тільки за виглядом? Чи можуть ці молекули виконувати функції антен?

2 Якщо помістити шкірочку синьої цибулі у гіпертонічний розчин (з високою концентрацією солі), то об'єм цитоплазми швидко зменшиться. Результат зображено на фото (мал. 13.1), і ти можеш спостерігати цей процес під мікроскопом. Поміркуй, чому так відбувається. Зобрази на схемі в зошиті, рух яких речовин відбувається і в якому напрямку. (Виконай в **е-додатку** лабораторне дослідження цього процесу (завдання 13.1).)



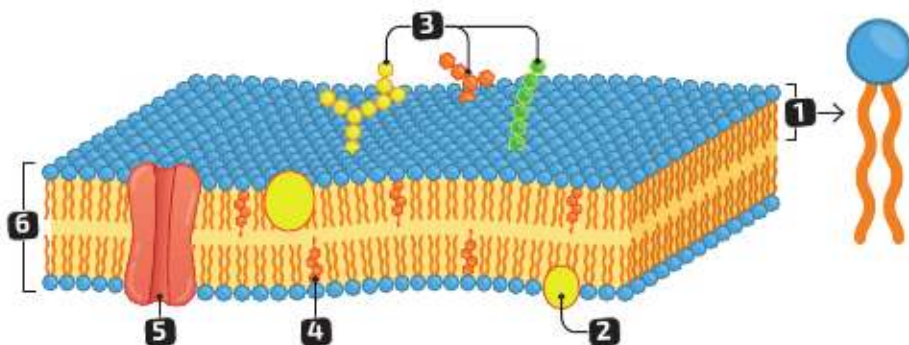
Мал. 13.1. Клітини шкірочки цибулі в гіпертонічному розчині

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Характерною рисою будь-якої клітини є наявність у ній клітинної мембрани, яка цю клітину оточує і відокремлює від навколишнього середовища. В еукаріотичних клітинах мембрани також утворюють низку клітинних органел, які так само відокремлюють їх внутрішній вміст від цитозолу. Таке відокремлення забезпечує створення всередині органел умов, сприятливих для перебігу спеціалізованих процесів.

Будова клітинних мембран забезпечує їхню головну властивість — напівпроникність. Це дає їм змогу пропускати всередину потрібні речовини і затримувати інші. Пригадай дослід з моделювання напівпроникності мембран із 7 класу. (Виконай в -додатку завдання 13.2.)

Особливості будови клітинної мембрани зображено на малюнку 13.2.



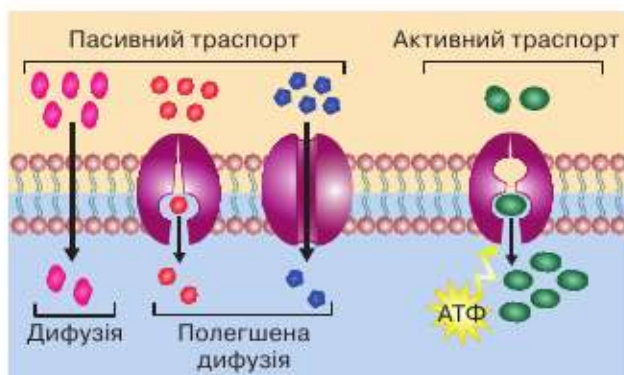
Мал. 13.2. Будова клітинної мембрани і функції її окремих компонентів

- 1 Молекула фосфоліпіду.** Основний компонент мембрани. Має гідрофільну голівку і гідрофобні хвости (мал. 5.6, с. 24).
- 2 Периферичні білки.** Взаємодіють або з інтегральними білками, або з певними ділянками ліпідного шару.
- 3 Гліколіпіди та вуглеводи.** Входять до складу надмембранного комплексу, розташованого ззовні. Виконують рецепторні функції і функції зв'язку з іншими клітинами.
- 4 Холестерол.** Збільшує щільність і міцність клітинних мембран та регулює їх плинність.
- 5 Інтегральні (трансмембранні) білки.** Інтегровані в мембрану, пронизують її наскрізь. Забезпечують транспорт речовин через мембрану, можуть виконувати рецепторні функції.
- 6 Подвійний шар фосфоліпідів.** Складає основу мембрани. Виконує бар'єрну функцію.

Молекули ліпідів у кожному з шарів мембрани невпинно рухаються відносно одна одної, утворюючи двовимірну рідину, в якій пересуваються більш стабільні і жорсткі структури — білкові молекули і ліпідні рафти (плотики), стабілізовані молекулами холестеролу. Зовнішній бік мембрани клітин тварин має надмембранний комплекс — глікокалікс, утворений глікопротеїдами й гліколіпідами, які виконують рецепторну функцію та забезпечують міжклітинну взаємодію. У клітин рослин, грибів і бактерій над мембраною розташована клітинна стінка, що захищає клітини від механічних пошкоджень і патогенів, але обмежує їх здатність до рухів і зміни форми.

Основу клітинної стінки становлять: у рослин — целюлоза, у грибів — хітин. У еукаріотів добре розвинений також підмембранний комплекс, утворений елементами цитоскелету — актиновими нитками та мікротрубочками. *Переглянь в -додатку відео (завдання 13.3) про роботу цитоскелету.*

Важливою функцією мембран є забезпечення мембранного транспорту — перенесення потрібних сполук крізь мембрану. Розрізняють активний (з витратами енергії) і пасивний (без витрат енергії) транспорт. Кожен із цих видів може здійснюватися різними способами (мал. 13.3).



Мал. 13.3. Деякі способи транспортування речовин через мембрану

Пасивний транспорт здійснюється із зони з високою концентрацією речовини в зону з її низькою концентрацією. Він може відбуватися шляхом простої дифузії через ліпідні шари мембрани (так транспортуються вуглекислий газ, кисень, тестостерон, естроген), полегшеної дифузії через спеціальні канали всередині молекул мембранних білків (йони хлору Cl^- і кальцію Ca^{2+}) або за допомогою спеціальних білків-переносників (глюкоза, амінокислоти). Транспорт води також може здійснюватися шляхом полегшеної дифузії через канали спеціальних мембранних білків аквапоринів.

Активний транспорт — це перенесення речовин через мембрану з області низької концентрації в область високої з витратою енергії. Йони та невеликі молекули переносяться білками-транспортерами або насосами. Великі молекули та частинки переміщуються у везикулах шляхом ендоцитозу (всередину клітини) чи екзоцитозу (назовні).

Прикладом активного транспорту через мембрану з використанням білків-переносників є натрій-калієва помпа (*переглянь в -додатку відео про роботу насосу (завдання 13.4).*). Цей механізм забезпечується роботою трансмембранного білка, який з витратою енергії АТФ за один

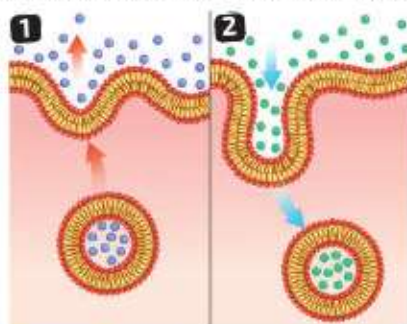
цикл переносить три йони Na^+ з клітини, а два йони K^+ — у клітину. Завдяки цьому на зовнішньому боці клітинної мембрани накопичується більше позитивних іонів, ніж на внутрішній, і між ними виникає різниця потенціалів. Її використовують інші білкові комплекси для транспортування молекул через мембрану. Вона надважлива для функціонування нейронів, які витрачають на роботу натрій-калієвого насоса до 70 % утворених молекул АТФ.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Клітинні мембрани складаються з подвійного шару фосфоліпідів, у який інтегровано білки та молекули холестеролу. Вони виконують бар'єрну, рецепторну і транспортну функції. Транспорт речовин може бути пасивним (без витрат енергії) або активним (з витратами енергії). Активний шлях здійснюється крізь білкові канали чи переносники та за допомогою цитозу (везикулярного транспорту).

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Поясни, які властивості фосфоліпідів визначили їх головну роль у структурі клітинних мембран.
2. Які функції у мембрані виконують білки? Скористайся текстом параграфа та інформацією в **е-додатку** (завданням 13.5).
3. У чому відмінність між пасивним і активним транспортом?
4. Визнач, яким видом транспорту в клітину надходять кисень, глюкоза, йони Калію та молекули білків.
5. Який вид транспорту відбувається за:
1) вивільнення нейромедіатора у синапсі; 2) захопленні лейкоцитом бактерії?
6. Макромолекули потрапляють у клітину або з клітини у везикулах (міхурцях). Визнач, якою цифрою на малюнку 13.4 позначено ендоцитоз, а якою — екзоцитоз. Наведи приклади транспортування речовин такими способами.



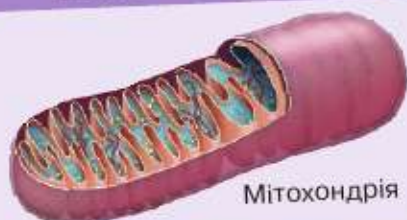
Мал. 13.4. Транспортування речовин у клітинах

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 14 Органели клітин еукаріотів

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



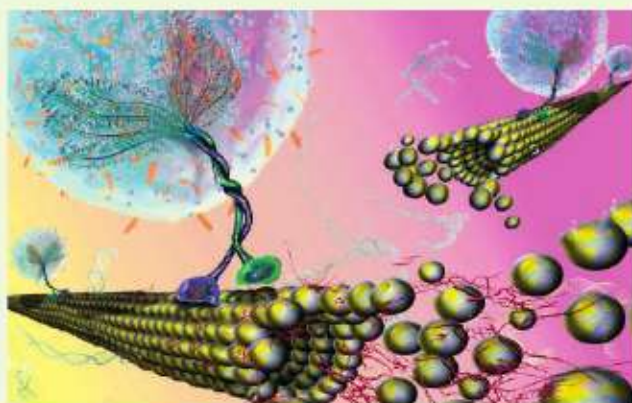
Мітохондрія

Деякі органели клітини вкриті однією мембраною, а деякі — двома. А іноді можна знайти органели, вкриті ще більшою кількістю мембран. Як так могло статися?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 У гепатоцитах печінки дуже добре розвинена ендоплазматична сітка. Але у випадках отруєння чи тривалого прийому лікарських препаратів вона ще збільшується. Навіщо?
- 2 На малюнку 14.1. зображено процес, у якому важливу роль відіграють мікротрубочки — елементи цитоскелету клітини. А що саме там відбувається?

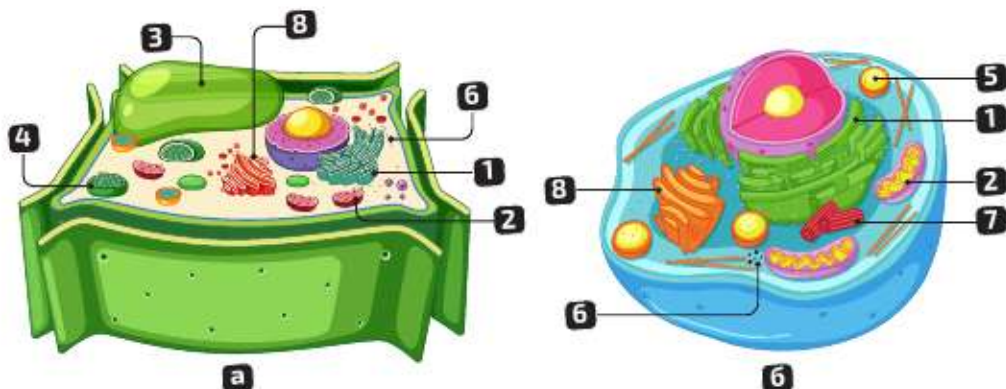


Мал. 14.1. Мікротрубочки цитоскелету

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Внутрішній вміст клітини утворюють ядро і цитоплазма, яка складається із цитозолу, цитоскелету, органел (мал. 14.2) і включень. Цитозоль є напіврідким середовищем, яке утворює основний вміст клітини і в якому відбувається багато реакцій обміну речовин. Він забезпечує зв'язок між усіма елементами клітини і може змінювати

густину залежно від ситуації. Органели є постійними субодинацями клітини, мають характерну будову і виконують певні функції. Включення є тимчасовими структурами, які утворюються в клітинах у певних умовах як результат їхньої життєдіяльності.



Мал. 14.2. Органели цитоплазми еукаріотичних клітин:
а — рослин; **б** — тварин

- 1** **Ендоплазматична сітка (ретикулум).** Утворена одинарною мембраною система порожнин і каналців. Може бути гранулярною, тобто з гранулами на поверхні (ці гранули є рибосомами), або агранулярною (не містить рибосом). Бере участь у синтезі різних груп органічних речовин. Гранулярна синтезує насамперед білки, а агранулярна — ліпіди, вуглеводи тощо.
- 2** **Мітохондрія.** Двомембранна органела. Внутрішня мембрана утворює складки — кристи, що заглиблюються всередину матриксу. Містить ДНК і дрібні рибосоми. Основна функція: продукування АТФ.
- 3** **Вакуоля.** Обмежена одинарною мембраною порожнина в цитоплазмі, яка заповнена рідиною. Може виконувати різноманітні функції: травлення, накопичення продуктів обміну, регуляцію водно-сольового обміну, підтримання внутрішнього тиску клітини.
- 4** **Хлоропласт.** Зазвичай двомембранна органела. Внутрішня мембрана може утворювати сплюснені мішечки — тилакоїди. Здійснює фотосинтез.
- 5** **Лізосома.** Одномембранна органела сферичної форми. Містить набір ферментів. Бере участь в роботі травних вакуолей і руйнуванні не потрібних клітині структур.

- 6 Рибосома.** Одна з найдрібніших органел, складається з двох субодиниць (великої і малої), які утворені молекулами РНК і білків. Здійснює синтез білків.
- 7 Клітинний центр (центросома).** Утворений комплексом білкових субодиниць, які мають вигляд циліндрів. Бере участь в процесі поділу клітини та утворенні джгутиків.
- 8 Апарат (комплекс) Гольджі.** Система з плоских мембранних мішечків, розташованих паралельно. Забезпечують модифікацію синтезованих речовин, їх пакування і транспорт у тому числі за межі клітини.

До складу клітини входять також інші структури, які виконують важливі функції. Це ядро, цитоскелет, джгутики тощо. Ядро є характерною структурою еукаріотичних клітин, зазвичай округлої форми, відділене від основної частини клітини ядерною оболонкою. Вона утворена двома мембранами, має спеціалізовані ядерні пори. Всередині ядра міститься каріоплазма, в якій є хроматин (комплекс ДНК і білків). Під час поділу клітини хроматин компактизується у вигляді хромосом. Також у ядрі можуть розташовуватися ядерця — округлі структури, які утворюють субодиниці рибосом.

Цитоскелет є системою мікротрубочок і мікрониток. Він утворює каркас клітини, підтримує її форму, забезпечує транспорт речовин. Може брати участь у рухах клітин. Саме цитоскелет забезпечує розташування клітинних органел у певних місцях клітини і їх переміщення.

Спеціальні органели — джгутики — є структурами ниткоподібної форми на поверхні клітини. Вони забезпечують рух клітини. Їхня будова у прокаріотичних і еукаріотичних клітин суттєво відрізняється.

Органели клітин можна поділити на мембранні і немембранні. Характерною ознакою мембранних органел є наявність у них мембрани, яка відокремлює вміст органели від основного вмісту цитозолу клітини.

ОРГАНЕЛИ ЦИТОПЛАЗМИ

Двомембранні	Одномембранні	Безмембранні
Мітохондрії Пластиди (хлоропласти, лейкопласти, хромопласти)	ЕПС Комплекс Гольджі Лізосоми Вакуолі	Рибосоми Клітинний центр (центріолі)

Пригадай з курсу біології 7 класу, як утворилися двомембранні органели.

Вони походять від прокаріотичних клітин, захоплених іншими клітинами. Тому двомембранні органели містять власну ДНК і дрібні рибосоми (такі самі, як у бактерій). Вони утворюються лише шляхом поділу і не утворюються з інших органел.

Одномембранні органели взаємодіють між собою: наповнені синтезованими речовинами міхурці з ЕПС можуть зливатися з елементами комплексу Гольджі, в якому утворюються лізосоми. Міхурці (везикули) можуть транспортувати речовини до плазматичної мембрани, вбудовуватися в неї, здійснюючи екзоцитоз.

*Переглянь в **е-додатку** відео (завдання 14.1), щоб розуміти ці взаємодії у клітині.*

*Якщо тобі подобається вивчати біологію англійською, зіграй в **е-додатку** у гру про органели (завдання 14.2).*

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Внутрішній вміст клітини утворюють ядро і цитоплазма, яка складається із цитозолю, цитоскелету, органел і включень. Органели є постійними субодинацями клітини, які мають характерну будову і виконують певні функції. Органели цитоплазми поділяють на двомембранні, одномембранні і немембранні.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. На які групи поділяють органели цитоплазми? Наведи приклади органел кожної групи.
2. Де утворюються рибосоми? Яку функцію вони виконують?
3. Назви одномембранні органели і вкажи їх функції.
4. Назви подібні і відмінні ознаки мітохондрій і пластид.
5. У бурих, діатомових і деяких інших водоростей хлоропласти мають чотири мембрани. Запропонуй пояснення механізму утворення таких пластид. Можеш зробити анімацію або реальну модель.
6. Перевір себе, виконавши в **е-додатку** завдання про будову і функціонування клітини (завдання 14.3).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 15 Прокаріотичні клітини

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Головна ідея застосування антибіотиків полягає в тому, щоб використати речовини, які будуть знищувати або обмежувати життєдіяльність бактерій, але не завдаватимуть шкоди клітинам людей. Як це працює?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Якщо подивитися на будову основи джгутика бактерій (мал. 15.1), то більш за все вона нагадує колесо. Тож бактерії винайшли принцип колеса раніше, ніж люди! Але як воно працює і де двигун?



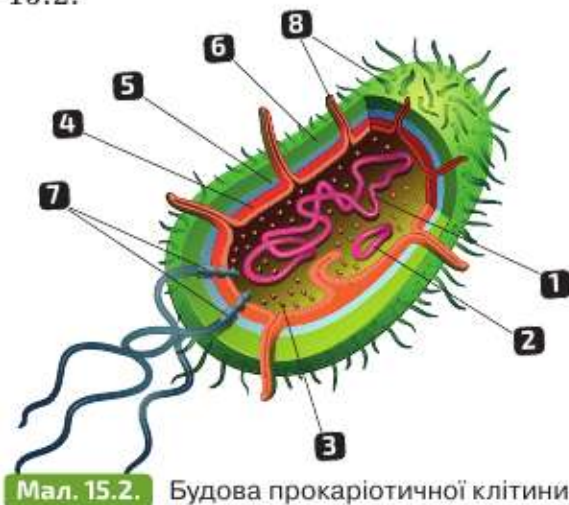
Мал. 15.1. Будова джгутика у бактерій

- 2 У багатьох бактерій зовні від клітинної стінки розташована слизова капсула. Вона містить до 98 % води, яку важко виявити у звичайному режимі роботи мікроскопа. Навіщо потрібна така структура?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Серед трьох доменів живої природи — Бактерій, Архей та Еукаріотів — два перші об'єднують прокаріотів. Найбільш помітною відмінністю від еукаріотів у цих клітин є відсутність ядра.

Ще одна важлива особливість — відсутність усередині клітини мембранних органел. Утім зовсім без мембранних структур всередині клітини прокаріоти не залишаються. Їх клітинна мембрана може утворювати впинання, які виконують різноманітні функції. Наприклад, у ціанобактерій вони відіграють важливу роль у процесах фотосинтезу. Основні особливості будови клітини прокаріотів показано на малюнку 15.2.



Мал. 15.2. Будова прокаріотичної клітини

- 1 Нуклеоїд.** Ділянка цитоплазми з великою кільцевою ДНК (у деяких архей молекули ДНК можуть бути лінійними). Зберігає спадкову інформацію, керує процесами в клітині.
- 2 Плазміда.** Маленька кільцева молекула ДНК, яка містить лише кілька генів. Обумовлює деякі особливості клітин (здатність до обміну спадковим матеріалом, стійкість до антибіотиків тощо).
- 3 Рибосома.** Складається з двох субодиниць (великої і малої). Здійснює синтез білків. Менша за розміром, ніж в еукаріотів.
- 4 Плазматична мембрана.** Має будову, подібну до будови еукаріотичних клітинних мембран (за винятком архей, будова мембран яких є особливою). Виконує бар'єрні, транспортні і рецепторні функції.
- 5 Клітинна стінка.** Щільна еластична структура, яка оточує клітину зовні (може становити від 5 до 50 % сухої маси клітини). Основою є специфічна речовина — муреїн (у бактерій) або псевдомуреїн (у архей). Основні функції — захист клітини, транспорт речовин, забезпечення взаємодії з іншими клітинами і середовищем.

- 6 Слизова капсула.** Розташований зовні від клітинної стінки і міцно пов'язаний з нею слизовий шар. Містить деякі вуглеводи і білки. Бере участь у захисті бактерій від зовнішніх впливів (у тому числі від дії імунної системи), збереженні вологи і прикріпленні до субстрату.
- 7 Джгутик.** Орган руху багатьох бактерій. Має вигляд тонкого білкового циліндра (з білків флагелінів), який прикріплено до поверхневих структур клітини. Джгутики довгі, їх кількість та розташування є різним у різних видів бактерій.
- 8 Пілі (фімбрії).** Прямі циліндричні білкові структури, які розташовані на поверхні клітини і не виконують рухових функцій. Забезпечують прикріплення клітин до субстрату, певний вид бере участь в обміні спадковою інформацією.

Цитозоль прокаріотичних клітин має таку саму структуру, як і в еукаріотичних. А от цитоскелет у них розвинений менше. Саме це утруднює внутрішньоклітинний транспорт речовин і вважається однією з можливих причин меншого розміру прокаріотичних клітин порівняно з еукаріотичними. Як і в цитоплазмі еукаріотичних клітин, у цитоплазмі прокаріотів можуть міститися різноманітні включення.

Джгутики бактерій прикріплені базальним тілом, яке представлене системою дисків, до клітинної мембрани і клітинної стінки. Завдяки різниці потенціалів між цими дисками, що утворюється за рахунок транспорту йонів через мембрану, диски здійснюють круговий рух. За кількістю і розташуванням джгутиків на клітині бактерії поділяють на кілька груп:

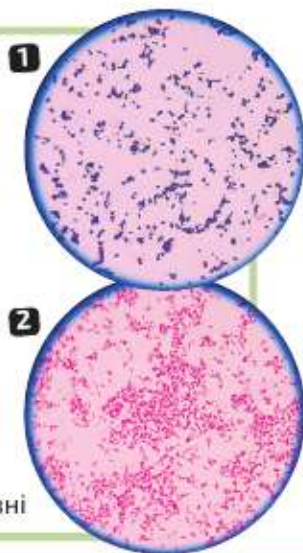
- *монотрихи* — мають один джгутик на кінці клітини;
- *амфітрихи* — мають по одному джгутику на двох різних кінцях клітини;
- *лофотрихи* — мають пучок джгутиків на одному з кінців клітини;
- *перитрихи* — мають джгутики по всій поверхні тіла клітини.

Окремою групою прокаріотичних організмів є археї. Їхня будова відрізняється від бактерій за певними ознаками. Основою мембран архей є не подвійний шар фосфоліпідів, а моношар розгалужених ліпідів. Вважають, що така особливість хімічного складу сприяла можливості архей існувати в екстремальних умовах. Відрізняється і будова джгутиків. У архей джгутики є суцільними нитками, а не порожнистими білковими циліндрами, як у бактерій. Археї мають багато спільних ознак з еукаріотами, зокрема на рівні ферментів синтезу нуклеїнових кислот. Серед представників цього домену на даний час не виявлено паразитичних форм.

ДЛЯ ТИХ, ХТО ХОЧЕ БІЛЬШЕ ЗНАТИ...

Клітинна стінка бактерій має два шари: зовнішній (пластичний) і внутрішній (жорсткий). Залежно від особливостей складу і будови поверхневого апарату бактерії поділяють на грампозитивні та грамнегативні (їх можна розрізнити під час фарбування за методом Грама) (мал. 15.3). Відмінності у будові поверхневого апарату зумовлюють те, що деякі антибіотики можуть діяти тільки на бактерії однієї із цих груп.

Мал. 15.3. Забарвлені за методом Грама бактерії: **1** — грампозитивні; **2** — грамнегативні



ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Прокаріотичні клітини мають простішу будову порівняно з еукаріотичними. У них відсутні ядро і мембранні органели, менше розвинений цитоскелет. Характерними рисами прокаріотичних клітин є дрібніші рибосоми, наявність клітинної стінки і слизової капсули (може бути присутньою не завжди). Органелою руху прокаріотичних клітин є джгутики.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які відмінності між прокаріотичними й еукаріотичними клітинами?
2. Які компоненти наявні в обох типів клітин? Скористайся текстом параграфа та відео в **е-додатку** (завдання 15.1).
3. У якій формі бактерії зберігають спадковий матеріал? Як він розміщується у клітині?
4. Навіщо бактеріальним клітинам джгутики й пілі?
5. Переглянь в **е-додатку** відео про архей (завдання 15.2). Визнач, у яких середовищах вони можуть існувати.
6. Виконай в **е-додатку** тест про еукаріотичні та прокаріотичні клітини (завдання 15.3).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 16 Метаболізм та живлення клітин

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Клітина печінки виконує різноманітну роботу: синтезує білки плазми крові, знешкоджує токсини, накопичує або вивільняє вуглеводи тощо. Як вона справляється з таким навантаженням?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Які органели клітини спеціалізуються на синтезі речовин, а які — на розщепленні? Чому в клітині мають функціонувати і ті, й інші?
- 2 Навіщо комахоїдним рослинам (мал. 16.1) їсти комах, якщо вони живляться автотрофно?

Мал. 16.1. Венерина мухоловка



РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Будь-яка жива клітина є відкритою системою, що отримує енергію і необхідні їй речовини ззовні. Усередині клітини відбуваються різноманітні процеси синтезу, розпаду, трансформації речовин. Сукупність усіх реакцій обміну речовин і енергії називають метаболізмом.

Зрозуміло, що обмін речовин і енергії в автотрофних і гетеротрофних організмів суттєво різняться.

Автотрофи	Гетеротрофи
Рослини, фотосинтезуючі і хемосинтезуючі прокаріоти	Тварини, гриби, прокаріоти-сапротрофи, паразити
Здатні синтезувати органічні речовини (наприклад, глюкозу) з неорганічних	Не здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних
Джерело енергії — світло, енергія, що вивільняється внаслідок окиснення неорганічних речовин	Джерело енергії — органічні речовини їжі
Джерело Карбону — вуглекислий газ (зазвичай)	Джерело Карбону — органічні речовини їжі

Які особливості будови клітин властиві клітинам автотрофних організмів? У водоростей і наземних рослин у клітинах є хлоропласти, що у процесі фотосинтезу поглинають енергію світла, CO_2 і синтезують вуглеводи.

Відомо, що автотрофні прокаріоти зазвичай здійснюють перетворення енергії та синтез органічних речовин на вгинах плазматичної мембрани, у цитоплазмі та в спеціальних міхурцях.

Гетеротрофи отримують енергію з їжею. Тож спочатку вони перетравлюють макромолекули, а далі з їх компонентів отримують і енергію, і будівельний матеріал для синтезу власних речовин.

Але з більшості правил є винятки. Тож трапляються міксотрофні організми, що поєднують автотрофне і гетеротрофне живлення (мал. 16.2).



Мал. 16.2. Міксотрофні організми: **1** — росичка; **2** — евглена; **3** — омела

Евглена, хлорела та деякі інші одноклітинні водні еукаріоти можуть використовувати розчинені у воді органічні речовини, особливо за нестачі світла. Омела є напівпаразитичною рослиною, тож частину речовин вона синтезує в процесі фотосинтезу, а частину отримує з дерев, на яких оселяється.

Хижі рослини потребують нітрогеновмісних сполук для синтезу білків. Тож їхнє полювання на комах пов'язане із забезпеченням сполуками Нітрогену, позаяк вони зростають на бідних болотистих ґрунтах.

Є цікава група бактерій, що може використовувати світлову енергію для синтезу АТФ, але не здатна поглинати і фіксувати Карбон з вуглекислого газу. Такі організми називають фотогетеротрофами.

До фотогетеротрофів належать пурпурні та зелені несірчані бактерії, а також геліобактерії.

Пурпурні несірчані бактерії для поглинання світла використовують бактеріохлорофіли та каротиноїди, що надають їм різного забарвлення — від фіолетового й червоного до помаранчевого та коричневого.

Ці організми надають перевагу середовищам без кисню, але з достатнім освітленням, зокрема мілководним лагунам (особливо забрудненим стічними водами) або глибоким шарам озер.

Зелені несірчані бактерії у кисневому середовищі зазвичай поведуться як гетеротрофи, проте за відсутності кисню переходять до фотогетеротрофного способу живлення, використовуючи енергію світла.

Геліобактерії відрізняються тим, що світло вони вловлюють завдяки особливому типу бактеріохлорофілу, притаманному лише цій групі. Він функціонує виключно в анаеробних умовах, тому геліобактерії мешкають у гарячих джерелах, содових озерах та перезволожених ґрунтах рисових полів.

Тобі уже відомо з курсу 8 класу, що метаболічні процеси поділяють на дві групи, що тісно взаємопов'язані (мал. 16.3).



Мал. 16.3. Анаболізм і катаболізм як складові метаболізму

Одним із найважливіших процесів анаболізму є фотосинтез, що відбувається у хлоропластах і забезпечує синтез вуглеводів. Цікаво, що під час цього процесу АТФ утворюється за рахунок енергії світла.

Синтез білків, їх збирання з амінокислот здійснюють рибосоми. Часто вони поєднані з гранулярною ЕПС. Агранулярна ЕПС бере участь у синтезі ліпідів, вуглеводів. Нуклеїнові кислоти синтезуються в ядрі.

Катаболічними процесами є травлення і дихання. Органелами, що забезпечують внутрішньоклітинне травлення, є лізосоми і травні вакуолі. А от клітинне дихання відбувається у мітохондріях. Саме тут за участі кисню органічні речовини окиснюються з виділенням вуглекислого газу. Значна частина (до 55 %) хімічної енергії органічних речовин, що вивільняється у процесі дихання, завдяки комплексу

ферментів акумулюється у молекулах АТФ. Це і є головним результатом клітинного дихання.

Прийнято процес утворення АТФ називати синтезом. Вона утворюється внаслідок приєднання до молекули АДФ ще одного фосфатного залишку.

В результаті енергетичного обміну вивільняється енергія, частина якої накопичується в АТФ, тоді як частина розсіюється. АТФ витрачається на різноманітні процеси: роботу натрій-калієвої помпи, транспортування органел білками-моторами. Також АТФ витрачається під час процесів анаболізму.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Автотрофні організми здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних завдяки енергії, що надходить зовні. Джерелом енергії для гетеротрофів є органічні речовини, які вони поглинають. Міксотрофними є організми, що поєднують авто- і гетеротрофне живлення. Реакції метаболізму відбуваються у двох напрямках: анаболізму (сукупність реакцій синтезу молекул) і катаболізму (сукупність реакцій розщеплення молекул).

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Порівняй автотрофне і гетеротрофне живлення.
2. Наведи приклади міксотрофів і доведи, що їм властиві обидва типи живлення.
3. Які органели клітини задіяно у процесах анаболізму? Які речовини у них синтезуються?
4. Які органели задіяні у процесах катаболізму? Які перетворення органічних речовин тут відбуваються? Виконай в **е-додатку** завдання 16.1.
5. Чим подібні процеси горіння і клітинного дихання? Скористайся завданням 16.2 в **е-додатку**.
6. Доведи єдність процесів анаболізму і катаболізму. Скористайся текстом параграфа і відео в **е-додатку** (завдання 16.3).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 17 Синтез органічних речовин

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Більшість листків мають зелене забарвлення. Чому так? Можливо, зелене світло є найважливішим у фотосинтезі? Чи однакову роль у фотосинтезі відіграють різні спектри видимого світла?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Який із графіків (мал. 17.1) відображає залежність інтенсивності фотосинтезу від температури, а який — від інтенсивності освітлення? На який з них схожий графік залежності інтенсивності фотосинтезу від умісту CO_2 ?



Мал. 17.1. Графіки залежності фотосинтезу від освітлення та температури

- 2 Тобі знайоме сумарне рівняння фотосинтезу: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \uparrow$? Поміркуй, з якої сполуки може виділятися кисень під час фотосинтезу? Яким методом науковці змогли перевірити свої припущення?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Основу для існування всіх гетеротрофних організмів складають автотрофи, які здійснюють синтез органічних речовин з неорганічних. Для цього вони використовують два основні способи — фотосинтез і хемосинтез.

Фотосинтез є процесом утворення органічних речовин з неорганічних, який відбувається з використанням енергії світла. Цей процес існує в різних варіантах і здійснюється різними групами автотрофів: рослинами, ціанобактеріями, деякими іншими групами прокаріотів.

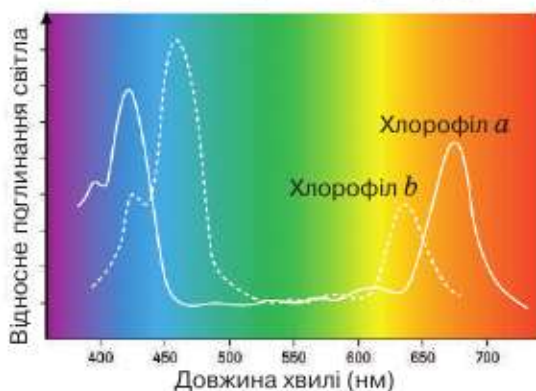
Пригадай, як рослина здійснює фотосинтез за відео в **Е-ДОДАТКУ** (завдання 17.1).

Найбільш поширеним варіантом фотосинтезу є кисневий (або оксигенний) фотосинтез. Це означає, що у якості побічного продукту утворюється кисень. Молекули води і вуглекислого газу використовуються для синтезу вуглеводів (глюкози).

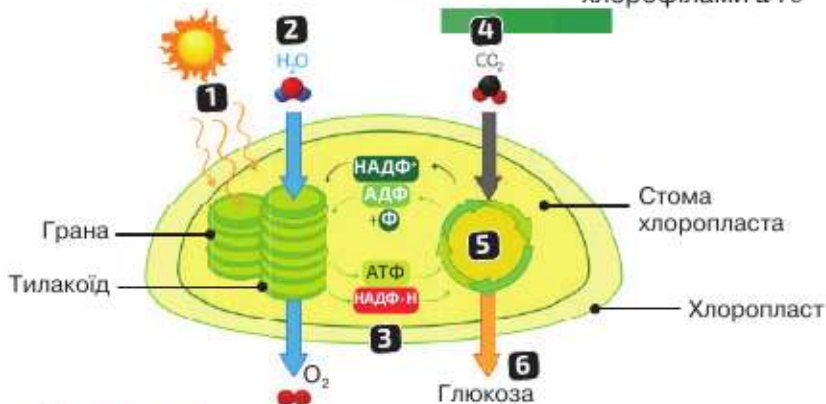
Процес фотосинтезу поділяють на дві фази — світлову (потребує енергії світла) і темнову (не залежить від наявності світла). В еукаріотів фотосинтез відбувається в хлоропластах.

Хлоропласти — двомембранні органели, внутрішня мембрана яких утворює чисельні дископодібні мішечки (тилакоїди), які зібрані у грани. В мембранах тилакоїдів містяться тисячі фотосистем — комплексів пігментів, головними з яких є хлорофіли.

Є кілька видів хлорофілів (у наземних рослин *a* і *b*), які незначно різняться спектром поглинання світла (мал. 17.2). Додатковими пігментами є каротиноїди та інші. Тож хлорофіли поглинають світло синього і червоного спектрів.



Мал. 17.2. Спектри поглинання світла хлорофілами *a* і *b*



Мал. 17.3. Схема процесу фотосинтезу (у хлоропласті)

В результаті поглинання квантів світла фотосистемами (**1**) енергія передається на електрони, що захоплюються особливими молекулами-переносниками в мембранах тилакоїдів. Хлорофіл, що втрачає електрони, окиснюється.

Відновлення хлорофілу відбувається завдяки фотолізу води **(2)**. (Рівняння фотолізу: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$). В результаті вивільнені електрони відновлюють хлорофіл, йони H^+ беруть участь у створенні протонного градієнту і синтезі АТФ. А от кисень, що утворюється в процесі фотолізу води, виділяється як побічний продукт.

Електрони, що рухаються по спеціальному транспортному ланцюгу молекул у мембрані тилакоїда, врешті беруть участь в утворенні молекул НАДФ · Н (завдяки перенесенням електронам і утворенням йонам H^+ відбувається відновлення НАДФ⁺).

Тож завдяки енергії електронів, отриманої від квантів світла, утворюються продукти світлової фази — АТФ і НАДФ · Н, які надходять у строму хлоропласта **(3)**.

Саме тут відбуваються реакції темної фази. Розпочинаються вони із фіксації CO_2 : особливі п'ятикарбонові молекули (скорочено РибФ) приєднують молекули CO_2 і вступають у цикл Кальвіна **(5)**, що є являє серію послідовних біохімічних реакцій, у якій використовуються продукти світлової фази фотосинтезу (НАДФ · Н та АТФ) і CO_2 . Головним продуктом, що утворюється в цьому циклі, є молекули глюкози **(6)**. Наприкінці циклу молекули РибФ відновлюються і приєднують нові молекули CO_2 . Тож цикл повторюється.

Організми, для яких притаманний хемосинтез, для синтезу органічних речовин з неорганічних використовують енергію хімічних реакцій. Енергія виробляється в процесі реакцій окиснення. Різні прокаріоти використовують для цього різні реакції, але в усіх випадках частина енергії реакції використовується для синтезу АТФ.

Хемосинтезуючі організми

Група	Речовини, що окиснюються
Нітрифікуючі бактерії	Сполуки Нітрогену
Сіркобактерії (Тіобактерії)	Сполуки Сульфуру або неорганічної сірки
Залізобактерії	Сполуки Феруму
Водневі бактерії	Водень

Хемосинтезуючі організми мешкають в солоних та прісних водоймах, болотах, різних типах ґрунтів тощо. Особливо важливе значення вони мають в умовах, де сонячне світло є недоступним, фотосинтез неможливий і існування екосистем залежить від вироблення органічних речовин у процесах хемосинтезу.

Процеси утворення органічних речовин з неорганічних є необхідною та обов'язковою умовою існування життя на нашій планеті, а їхня планетарна роль надзвичайно велика. Так, фотосинтез забезпечує щорічне утворення до 200 млрд тонн кисню, що робить можливим існування на планеті окисної атмосфери. Він виробляє і всю ту масу органічних речовин, які стають прямо або опосередковано їжею для гетеротрофних організмів. Також важливою функцією фотосинтезу є фіксація вуглекислого газу, що обмежує парниковий ефект і надмірний перегрів планети.

Ще одна важлива функція фотосинтезу — підтримання існування озонового шару, який утворюється з молекул кисню й захищає від надмірного потоку ультрафіолету.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Фотосинтез і хемосинтез — процеси синтезу органічних речовин з неорганічних, що різняться способами отримання енергії (світло у фотосинтезі, енергія окиснення неорганічних речовин у хемосинтезі). Хемосинтез притаманний лише певним групам прокаріотів. Фотосинтез в еукаріотів відбувається у хлоропластах: світлова фаза у тилакоїдах, темнова — у стромі. В результаті світлової фази утворюються АТФ, НАДФ · Н і кисень. Під час перебігу темної фази поглинається CO_2 , відбуваються реакції циклу Кальвіна, утворюється глюкоза.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Яке планетарне значення фотосинтезу?
2. Опиши основні процеси у світловій і темновій фазах фотосинтезу.
3. Які організми здатні до хемосинтезу? Де вони черпають енергію?
4. Порівняй фотосинтез і хемосинтез. Виконай в **е-додатку** завдання 17.2.
5. Які чинники впливають на перебіг фотосинтезу? Запропонуй способи підвищення інтенсивності фотосинтезу у замкненому просторі (теплиці).
6. Досліди вплив інтенсивності освітлення і спектру світла на швидкість виділення кисню у світловій фазі фотосинтезу з інтерактивними симуляціями. Виконай в **е-додатку** завдання 17.3.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 18 Розщеплення органічних речовин

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Чому без кисню клітини мозку гинуть дуже швидко, а деякі бактерії і навіть тварини можуть існувати в безкисневому середовищі?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Під час посилених фізичних навантажень у м'язах накопичується молочна кислота. Чому ж вона утворюється і яке відношення має до тренувань?
- 2 Більшість тварин зберігають енергетичні резерви у формі жирів. Але деякі тварини, наприклад аскариди, — у формі глікогену. Поміркуй, у чому сенс такої відмінності.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Розщеплення органічних речовин відбувається в клітині у реакціях енергетичного обміну. Можна виокремити кілька стадій цього процесу. На підготовчому етапі (стадії) макромолекули розщеплюються на мономери під дією травних ферментів. Ця стадія може відбуватися в шлунку чи кишківнику, у лізосомах клітин і навіть поза організмом. Бактерії, археї, гриби виділяють ферменти в навколишнє середовище для розщеплення поживного субстрату, а потім крізь плазматичну мембрану поглинають мономери розщеплених речовин.

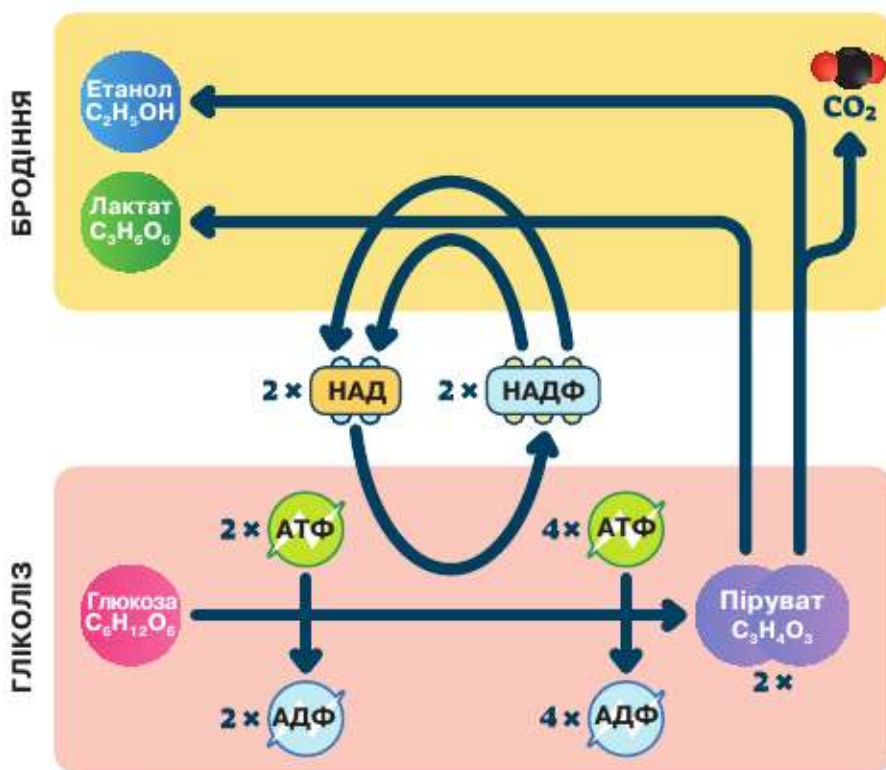
Наступні стадії розглянемо на прикладі розщеплення вуглеводів у процесі клітинного дихання. Кінцевим результатом кисневого дихання є утворення молекул АТФ, які клітини можуть використовувати, та остаточних продуктів, зазвичай вуглекислого газу.

Перший етап є безкисневим (анаеробним). Він відбувається у цитозолі. Другий етап є кисневим (аеробним). В еукаріотів він відбувається у мітохондріях.

Основою безкисневого етапу є процес гліколізу. Гліколіз є послідовністю реакцій розщеплення молекули глюкози, в результаті якого утворюються дві молекули пірувату $C_3H_4O_3$ (піровиноградної кислоти). У процесі гліколізу витрачаються дві і утворюються чотири молекули АТФ.

Тож в результаті гліколізу однієї молекули глюкози енергія акумулюється у двох молекулах АТФ.

Якщо молекул пірувату в клітині стає багато, то процес гліколізу може припинитися. Щоб запобігти цьому, молекули пірувату треба на щось перетворити. Якщо кисню в середовищі не вистачає, то піруват перетворюється на інші речовини. В цьому випадку сукупність процесів гліколізу й утилізації пірувату називають бродінням (мал. 18.1). Залежно від того, на який продукт перетворюється піруват, виокремлюють різні види бродіння. У процесі молочнокислого бродіння утворюється молочна кислота, у процесі оцтовокислого бродіння — оцтова кислота, у процесі спиртового — етиловий спирт і вуглекислий газ.

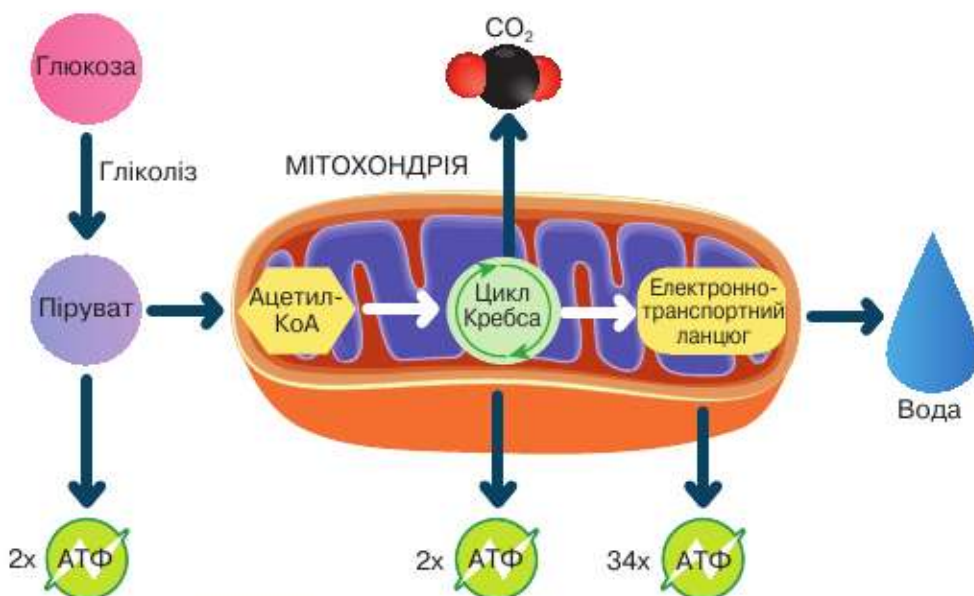


Мал. 18.1. Гліколіз і деякі варіанти бродіння

За наявності кисню відбувається аеробний етап клітинного дихання (мал. 18.2, с. 82). Піруват надходить до матриксу мітохондрії, де перетворюється на ацетил-КоА — сполуку, що вступає в цикл Кребса. Це циклічна послідовність реакцій, під час яких утворюються відновлені коферменти (НАДН та інші), що слугують джерелом електронів і протонів для дихального (електронно-транспортного) ланцюга.

Оскільки з однієї молекули глюкози утворюються дві молекули пірувату, цикл відбувається двічі. У його процесі також утворюються CO_2 та АТФ (одна молекула за один цикл).

Протони й електрони із циклу Кребса та кисень, який надходить до мітохондрії, використовуються у процесах роботи електронно-транспортних ланцюгів, розташованих у внутрішній мембрані мітохондрій. Такий ланцюг допомагає «розтягнути» процес виділення енергії під час окиснення і використати її частину для утворення молекул АТФ. Загалом клітині вдається запасти у вигляді АТФ до 55 % енергії, решта виділяється у вигляді тепла. З однієї молекули глюкози в процесах окиснення в електронно-транспортному ланцюзі клітина отримує близько 34 молекули АТФ.



Мал. 18.2. Аеробний етап клітинного дихання

Цикл Кребса виконує ще одну важливу функцію. Він є процесом, який об'єднує основні шляхи обміну речовин. Молекули, які утворюються в результаті розщеплення білків, ліпідів або нуклеїнових кислот, в кінці перетворюються на один з компонентів циклу Кребса. Через те, що ці молекули безперервно перетворюються одна на одну в реакціях циклу, клітина може перенаправляти ресурси і використовувати, наприклад, молекули вуглеводів для синтезу молекул ліпідів.

ДЛЯ ТИХ, ХТО ХОЧЕ БІЛЬШЕ ЗНАТИ...

Посмуговані м'язи людини містять велику кількість мітохондрій, що забезпечує їх високу ефективність. Проте така діяльність вимагає значного та безперервного надходження кисню. За умов тривалого інтенсивного навантаження кровоносна система не встигає доставляти його у достатній кількості. У такій ситуації м'язи переходять на безкиснєве отримання енергії — гліколіз. Продукт цього процесу, піруват, перетворюється на молочну кислоту, яка накопичується у тканинах.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Важливим шляхом розщеплення органічних речовин у клітині є клітинне дихання. Воно відбувається у три етапи: підготовчий, безкисневий і кисневий. Основою безкисневого етапу є процес гліколізу, результатом якого є утворення пірувату і молекул АТФ. Цей етап відбувається без участі кисню в цитозолі клітини. Кисневий етап відбувається в мітохондріях і за участі кисню. Там у реакціях циклу Кребса і процесів окиснення в електронно-транспортному ланцюзі відбувається утворення значно більшої кількості молекул АТФ.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

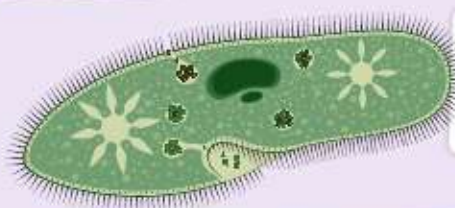
1. Переглянь відео в **Е-ДОДАТКУ** і дай відповіді на запитання (завдання 18.1).
2. Які етапи є у клітинного дихання, і які процеси відбуваються на цих етапах?
3. Яким чином цикл Кребса зв'язує між собою різні метаболічні процеси в організмі?
4. Чому кисневий етап клітинного дихання є найбільш енергетично вигідним?
5. Одна з відомих отрут — калію ціанід — при потраплянні в організм людини блокує роботу тільки одного з ферментів електронно-транспортного ланцюга. Чому це блокування має такі важкі наслідки для людини?
6. Крепатура (біль і затвердіння у м'язах людини) з'являється через певний час після незвичних і великих фізичних навантажень. Вчені пов'язують це з роботою клітин м'язів в умовах нестачі кисню. Яким може бути механізм виникнення цього явища?

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 19 Ядра і хромосоми

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Особливістю клітин інфузорій є наявність у них не одного, а двох ядер, хоча розмір їхніх клітин не є надто великим. Навіщо їм два ядра?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Ядро відділене від цитоплазми ядерною оболонкою. Поміркуй, які речовини або структури крізь пори надходять у ядро, а які — навпаки, з ядра, у цитоплазму. Уклади схему.
- 2 У клітинах людини можуть утворюватися до десяти ядерець. У яких клітинах їх більше і вони активніше функціонують: в епітеліюцитах шкіри, у стовбурових клітинах під час поділу чи в клітинах печінки? Відповідь обґрунтуй.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Клітинне ядро є головним центром управління процесами в клітині і місцем збереження та відтворення спадкової інформації. Ядро є округлою структурою, яка обмежується ядерною оболонкою — подвійною мембраною (мал. 19.1). Для проходження в ядро або з ядра великих молекул (наприклад, РНК або білків) використовуються спеціальні ядерні пори, розташовані в цій оболонці.



Мал. 19.1. Клітинне ядро

Внутрішній вміст ядра називають каріоплазмою. В каріоплазмі розміщено нитки хроматину (комплекс ДНК і білків). Ще однією помітною структурою в ядрі є ядерце. Це немембранна округла структура, основною функцією якої є утворення рибосом.

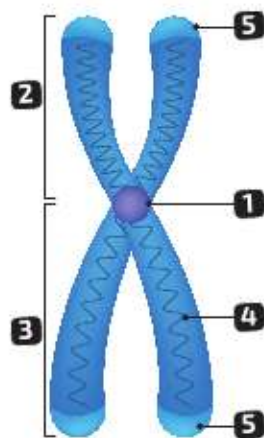
Зазвичай у клітині еукаріотів ядро одне. Але існують приклади як двоядерних, так багатоядерних клітин. Багатоядерними зазвичай бувають клітини великих розмірів (наприклад, у деяких грибів). Прикладом організмів із двоядерними клітинами є інфузорії. У них відбулася спеціалізація ядер за функціями. Мале ядро (мікронуклеус) відповідає за збереження і відтворення спадкової інформації. А велике ядро (макронуклеус) відповідає за організацію процесів життєдіяльності клітини.

Перед поділом клітини хроматин в ядрі компактизується, утворюючи щільні структури — хромосоми (мал. 19.2). Кожна з хромосом є лінійною молекулою ДНК, яка щільно пов'язана зі спеціальними білками — гістонами. Ці білки забезпечують компактне пакування нитки ДНК.

- 1** **Центромера.** Місце з'єднання двох копій хромосоми (друга копія утворюється перед кожним новим поділом).
- 2** **Коротке плече.** Це ділянка хромосоми меншої довжини від центромери до кінця хромосоми.
- 3** **Довге плече.** Це ділянка хромосоми більшої довжини від центромери до кінця хромосоми.
- 4** **Хроматида.** Одна з копій хромосоми, має вигляд палички.
- 5** **Теломери.** Кінцеві ділянки хромосоми.

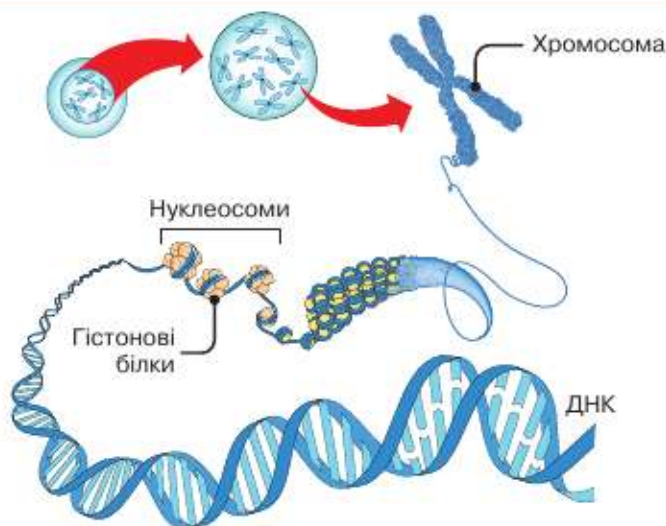
Хроматин має вигляд нитки ДНК, намотаної навколо білкових кульок, утворених гістонами. Ця структура зі свого боку закручується у вигляді спіралі. Потім ця спіраль додатково скручується, утворюючи спіралі вищого порядку. Максимальний рівень спіралізації і утворює добре видимі під світловим мікроскопом хромосоми (мал. 19.3, с. 86).

Навіщо клітині постійно упаковувати і розпаковувати хроматин? Причина в загальній довжині ДНК. Якщо ми візьмемо ядро клітини людини і подумки збільшимо його розмір до розміру великого яблука, то загальна довжина ДНК, яку треба буде упаковати в це ядро (після пропорційного збільшення) становитиме близько двох кілометрів.



Мал. 19.2.

Будова хромосоми



Мал. 19.3. Пакування ДНК в хромосомі

Більшість генів цієї ДНК клітині не потрібні, тому відповідні ділянки можна щільно упакувати. Напротивагу, області з активними генами залишаються відкритими для ферментів, що синтезують РНК. А перед поділом уся ДНК ущільнюється, щоб забезпечити правильний розподіл спадкового матеріалу між дочірніми клітинами.

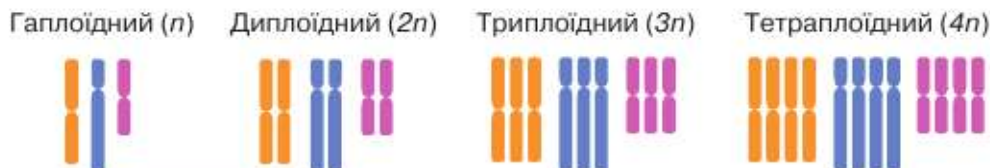
*Переглянь відео про хромосоми в **e**-додатку (завдання 19.1).*

В клітинах еукаріотів сукупність усіх хромосом утворює хромосомний набір. Кількість хромосом у наборі у різних видів є різною. Наприклад, муха дрозофіла має 4 пари хромосом, а людина — 23. Але в більшості випадків у ядрах клітин еукаріотів хромосоми містяться в двох екземплярах кожна. Це пов'язано з особливостями статевого розмноження організмів. Одна з хромосом дістається клітині від материнського організму, а друга — від батьківського. Тобто у клітинах дрозофіли насправді не 4, а 8 хромосом (або 4 пари хромосом), а в клітинах людини — 46 (23 пари) хромосом. Такий набір хромосом називають диплоїдним (бо містить по два екземпляри кожної хромосоми).

У процесі утворення статевих клітин батьків кожна хромосома залишається в них в одному екземплярі. Тому гамети людини містять по 23 хромосоми, а гамети дрозофіли — по 4. Такий набір хромосом називають гаплоїдним. А в процесі злиття двох гамет знову утворюється диплоїдна клітина.

У деяких випадках кількість копій хромосом може кратно змінюватися. Такі клітини (і організми, які з таких клітин утворюються) називають поліплоїдними. Варіантів плоїдності може бути багато

(мал. 19.4). Більшу плоїдність у багатоклітинних організмів можуть мати певні тканини або структури тіла (ендосперм в насінинах, слинні залози дрозоділ тощо). У одноклітинних прикладом поліплоїдії є макронуклеуси інфузорій.



Мал. 19.4. Різні варіанти плоїдності хромосомного набору

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Ядро є важливою двомембранною структурою клітини, яка забезпечує життєдіяльність клітини, управляє процесами в ній, зберігає і відтворює спадкову інформацію. Основними компонентами ядра є ядерна оболонка, хроматин, каріоплазма і ядерце. Перед поділом хроматин ядра, який є комплексом ДНК і білків, компактизується і утворює хромосоми. Кількість хромосом (каріотип) у клітині є видовою ознакою. У еукаріотів зазвичай у клітині знаходиться подвійний набір хромосом (диплоїдні клітини).

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

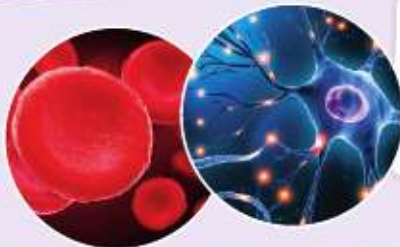
1. Опиши будову ядра, вкажи функції його компонентів.
2. У яких клітин — нейронів чи стовбурових — хромосома завжди складається з однієї хроматиди, а в яких на різних етапах може мати одну або дві хроматиди?
3. Змодельуй з паперу або пластиліну процес утворення двох хроматид із вихідної однохроматидної хромосоми. Синтез яких речовин при цьому обов'язково має відбуватися?
4. Навіщо відбувається компактизація хроматину?
5. Які клітини в організмі людини є гаплоїдними, а які — диплоїдними?
6. Проведи дослідження каріотипу людини за ресурсом Learn.Genetics. Виконай в **е-додатку** завдання 19.2.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 20 Клітинна теорія, різноманіття клітин, клітинний цикл

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Деякі клітини організму людини мають короткий життєвий цикл. У інших навпаки, життєвий цикл триває дуже довго. Які це клітини і чому їхні життєві цикли саме такі?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** Розглянь схему одного з дослідів, який було проведено у XIX столітті (мал. 20.1). Поясни, чому цей дослід став одним із доказів на користь клітинної теорії.



Мал. 20.1. Схема одного з дослідів, який доводить походження клітин тільки від інших клітин

- 2** Еритроцити ссавців є без'ядерними клітинами. Свої ядра вони втрачають у процесі утворення зі стовбурових клітин. Чи можна визначити, на якій стадії клітинного циклу містяться еритроцити? Як можна обґрунтувати твою думку?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Клітину було відкрито ще у XVII столітті. Але більше ста років суттєвих досягнень у її вивченні не було. Це пов'язано з недосконалістю мікроскопів того часу. Лише в XIX столітті вченим вдалося

здійснити прорив. В 1839 році Теодор Шванн, який досліджував клітини тварин, спираючись на висновки Маттіаса Шлейдена, який вивчав клітини рослин, сформулював клітинну теорію.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ КЛІТИННОЇ ТЕОРІЇ

Клітина є найменшою одиницею живого, а організм є сукупністю клітин.

Усі організми складаються з клітин або утворені з них різними способами.

Ріст і розвиток тварин і рослин пов'язані з утворенням нових клітин.

Еукаріотичні організми є дуже різноманітними і пристосованими до різних умов існування. Вони використовують різні способи живлення і мають різну здатність до руху. Відповідно, і будова їхніх клітин теж суттєво відрізняється. Це добре видно у відмінностях будови між клітинами тварин, грибів і зелених рослин (мал. 20.2).



Мал. 20.2. Особливості будови клітин: **1** — тварин; **2** — грибів; **3** — зелених рослин

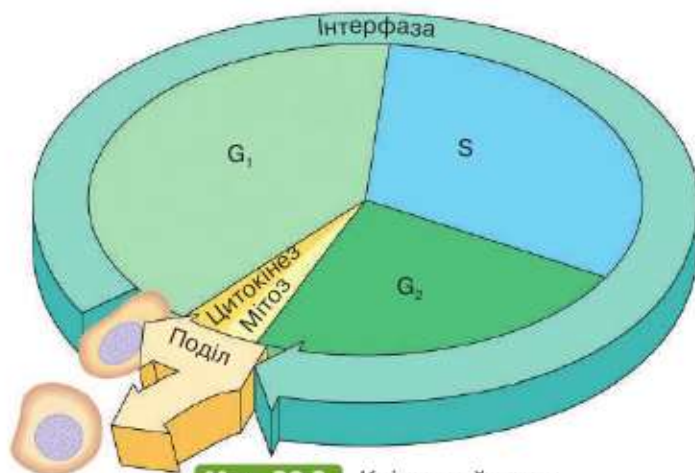
Гриби і рослини мають меншу рухливість, ніж тварини. Їхні клітини вкриті клітинною стінкою. Але у грибів ця стінка зазвичай утворена переважно хітином, а у рослин — целюлозою. Ця стінка в обох випадках виконує функцію захисту і підтримання форми клітин. У тварин клітини такої стінки не мають.

У цитоплазмі клітин грибів присутні вакуолі (виконують запасуючу функцію), лізосоми (забезпечують внутрішньоклітинне травлення) і гранули глікогену (резервного вуглевода). Комплекс Гольджі в клітинах грибів часто відсутній або розвинений слабо. У багатьох випадках клітини грибів містять два ядра або можуть бути багатоядерними.

У клітинах рослин є пластиди і, зазвичай, добре розвинені великі вакуолі (можуть займати більшу частину клітини). Резервним вуглеводом зелених рослин є крохмаль, гранули якого часто присутні в клітині.

Завдяки відсутності клітинної стінки клітини тварин можуть зберігати рухливість навіть в межах багатоклітинних організмів. На зовнішній поверхні зазвичай добре розвинений глікокалікс, який забезпечує зв'язок з іншими клітинами та сприйняття інформації. В клітинах є лізосоми, центріолі. Резервним вуглеводом є глікоген.

Існування і відтворення будь-яких клітин проходить в межах клітинного циклу. Він є періодом існування клітини від моменту її утворення (у результаті поділу материнської клітини або злиття статевих клітин) до завершення власного поділу або загибелі. Клітинний цикл складається з двох основних частин — поділу клітини й інтерфази (періоду між двома поділами). Інтерфаза поділяється на окремі стадії (мал. 20.3).



Мал. 20.3. Клітинний цикл

Відразу після поділу триває стадія G_1 , протягом якої відбувається ріст клітини, збільшення її об'єму, синтез білка, утворення органел. Цю стадію називають постмітотичною, або пресинтетичною. Через те, що вона передує синтетичній (S) стадії, під час якої відбувається подвоєння ДНК клітини. У постсинтетичну (премітотичну) стадію G_2 відбувається підготовка клітини до поділу.

Клітини, що не ділитимуться далі (наприклад, нейрони), після поділу переходять у стадію G_0 , яка може тривати дуже довго (часто до загибелі клітини). На цій стадії підготовка до поділу не відбувається. В певних випадках клітина може зі стадії G_0 переходити до стадії G_1 і відновлювати процеси підготовки до поділу.

Після завершення стадії G_2 розпочинається поділ клітини, що складається з двох етапів: мітотичного поділу ядра і поділу цитоплазми — цитокінезу (мал. 20.3).

ДЛЯ ТИХ, ХТО ХОЧЕ БІЛЬШЕ ЗНАТИ...

Перехід на стадію G_0 є характерним для спеціалізованих тканин. У тварин такі клітини (наприклад, нейрони) дуже неохоче повертаються із цієї стадії. У рослин цей процес проходить легше. Його використовують для створення культур тканин. Для цього спеціалізовані клітини поміщають на поживне середовище з додаванням фітогормонів (зокрема, ауксинів). В таких умовах клітини переходять в дедиференційований стан і утворюють калусну культуру. Ці клітини відновлюють звичайний клітинний цикл (мал. 20.4). У подальшому її використовують для вирощування потрібних рослин або їх окремих органів.



Мал. 20.4. Калусна культура рослинних клітин

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Клітинну теорію було сформовано в 1839 році М. Шлейденом і Т. Шванном. Різноманіття клітин еукаріотів велике, що пов'язано з відмінностями у способах живлення клітин і їхній рухливості. Клітинний цикл складається з двох частин — інтерфази і поділу.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. На конкретних прикладах поясни основні положення клітинної теорії М. Шлейдена і Т. Шванна.
2. Виконай в **е-додатку** тест із порівняння еукаріотичних клітин (завдання 20.1).
3. Як можна відрізнити клітину грибів від клітини рослин?
4. Склади перелік ознак, які вказують на те, що клітина перебуває на стадії G_0 .
5. Порівняй стадії G_1 та S інтерфази клітинного циклу.
6. Робота в групах. Проведіть лабораторне дослідження клітин еукаріотів (виконайте в **е-додатку** завдання 20.2).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 21 Мітотичний поділ

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

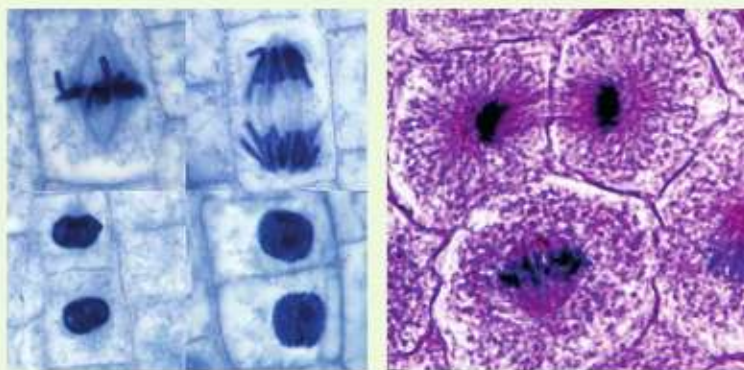


Хромосоми мають величезну довжину. У клітині їх багато. Як вони не губляться і правильно розподіляються, коли клітина ділиться?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** Розглянь зображення поділу клітин (мал. 21.1). На якому з них зображено поділ клітин рослин, а на якому — тварин? Обґрунтуй свої міркування (не зважай на забарвлення: дослідники використали різні барвники).



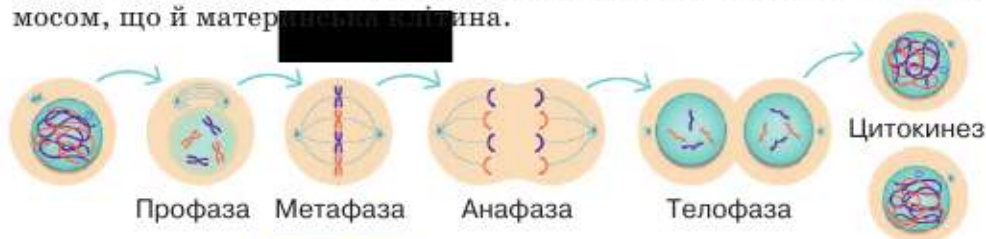
Мал. 21.1. Поділ клітин тварин і рослин

- 2** Що більше хромосом у клітині, то складніше відбувається процес мітозу. А якщо хромосом буде занадто багато? Так багато, що мітоз стане неможливим. Чи зможе тоді клітина здійснити поділ хоч у якийсь спосіб?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Мітотичний поділ відбувається в еукаріотичних клітинах під час нестатевого розмноження та в процесі росту і розвитку організмів. Основне завдання мітотичного поділу — забезпечити збільшення кількості клітин та заміщення соматичних клітин у процесі життєдіяльності.

Мітотичний поділ складається з двох етапів: 1) поділу ядра з рівномірним розподілом хромосом між дочірніми ядрами (мітоз); 2) поділу цитоплазми з розподілом органел між дочірніми клітинами (цитокінез) (мал. 21.2). В результаті цього процесу з однієї материнської клітини утворюється дві дочірні, які мають таку саму кількість хромосом, що й материнська клітина.



Мал. 21.2. Мітотичний поділ клітини

Мітоз, який відбувається у межах мітотичного поділу, складається з чотирьох фаз — профазі, метафазі, анафазі і телофазі.

Фази мітозу	
Назва фази	Процеси, які відбуваються
Профаза	Відбувається спіралізація і компактизація хроматину, який приймає форму Х-подібних хромосом. Кожна хромосома є комплексом із двох хроматид, які з'єднані центромером. Хроматиди у складі такого комплексу називають сестринськими. Ядерна оболонка розпадається на фрагменти, ядерце деградує. Розпочинається утворення елементів цитоскелету веретена поділу — структури, яка забезпечує розподіл хромосом між дочірніми клітинами
Метафаза	Центральні елементи веретена поділу (у клітин тварин це центріолі клітинного центру) розміщуються на протилежних полюсах клітини. Центромери розміщуються у площині екватора клітини. Від кожного з полюсів клітини мікротрубочки веретена поділу приєднуються до центромер кожної з хроматид
Анафаза	Сестринські хроматиди у складі Х-подібних хромосом роз'єднуються і рухаються до протилежних полюсів клітини
Телофаза	Веретено поділу розформовується, навколо хромосом на кожному з полюсів формується ядерна оболонка, і розпочинається деспіралізація хромосом

В результаті мітотичного поділу утворюються дві генетично ідентичні клітини. Все тому, що сестринські хроматиди, утворені шляхом реплікації ДНК, рівномірно розподіляються між дочірніми клітинами.

По завершенню мітозу відбувається цитокінез: у тваринних клітин шляхом перетяжки плазматичної мембрани, а в рослинних

формується клітинна пластинка. Міхурці з комплексу Гольджі доставляють матеріал для побудови клітинної стінки.

Переглянь в **е-додатку** відео для кращого розуміння процесів поділу (завдання 21.1).

У різних групах еукаріотів можуть зустрічатися варіанти мітозу, які відрізняються від класичного. Наприклад, у пивних дріжджів відбувається закритий мітоз (мал. 21.3). У цьому випадку ядерна мембрана не руйнується і розходження хроматид відбувається в межах самого ядра.



Мал. 21.3. Закритий мітоз у дріжджів

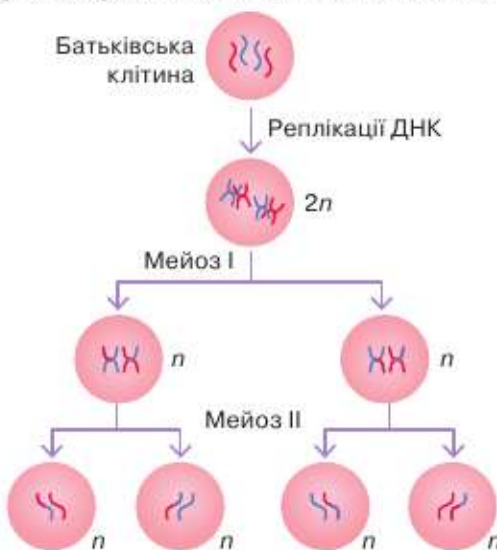
Ще одним варіантом поділу ядра є амітоз. Він трапляється рідко. У цьому випадку поділ ядра відбувається без спіралізації хромосом і утворення веретена поділу. Такий спосіб поділу нерівномірно розподіляє спадковий матеріал між дочірніми клітинами.

Утворенню статевих клітин передують мейоз. У результаті мейотичного поділу з однієї диплоїдної клітини утворюється чотири гаплоїдних (мал. 21.4). Тож кількість хромосом зменшується вдвічі, ще й відбувається рекомбінація генетичного матеріалу.

В інтерфазі перед початком мейозу ДНК в клітині подвоюється. Кожна хромосома, як і на початку мітозу, складається з двох ідентичних сестринських хроматид.

Мейоз об'єднує два послідовні поділи (мейоз I і мейоз II), між якими реплікація ДНК не відбувається.

Кожний поділ мейозу, як і в мітозі, складається із чотирьох фаз. Їх назви такі ж самі, до них лише додається позначення відповідного поділу мейозу: профазі I, метафазі I, анафазі I і телофазі I та профазі II, метафазі II, анафазі II і телофазі II. Під час першого поділу мейозу відбуваються головні процеси, які відрізняють його



Мал. 21.4. Мейоз

від мітозу. Це рекомбінація генетичного матеріалу і редукція числа хромосом. Рекомбінація відбувається під час профазі I, коли гомологічні хромосоми однієї пари, які дісталися організму від різних батьків, зближуються між собою і здійснюють процес кросинговеру — обміну ділянками.

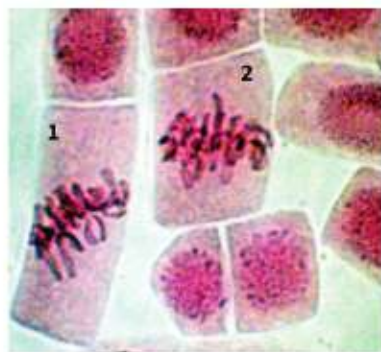
Редукція числа хромосом відбувається в процесі анафази I. У момент її початку до різних полюсів клітини починають рухатися не сестринські хроматиди, як під час мітозу, а гомологічні хромосоми (кожна з яких на той момент складається з двох з'єднаних хроматид). Другий поділ мейозу відбувається аналогічно звичайному мітозу. Результатом є утворення чотирьох клітин, кожна з яких містить гаплоїдний набір хромосом.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Мітотичний поділ є частиною клітинного циклу і складається з двох частин — поділу ядра (мітозу) і поділу цитоплазми (цитокінезу). Мітоз складається з чотирьох фаз — профазі, метафази, анафази і телофази. Рівномірний розподіл хромосом між дочірніми клітинами забезпечує веретено поділу, яке утворює цитоскелет клітини.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. У якому порядку відбуваються фази мітозу?
2. Які функції виконує цитоскелет у процесі мітозу?
3. У які фази мітозу відбуваються протилежні процеси? (Скористайся таблицею на с. 93.)
4. Визнач, на якому етапі поділу перебувають клітини 1 і 2 (мал. 21.5).
5. Виконай в **е-додатку** тест (завдання 21.2).
6. STEM-проект. Попрацюйте в групах. Змодельуйте основні фази мітозу. Виконайте в **е-додатку** завдання 21.3.



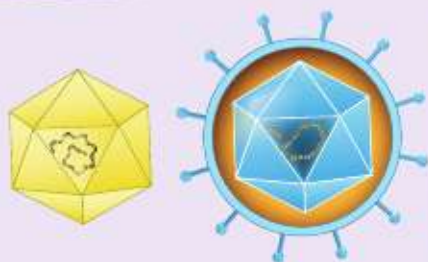
Мал. 21.5. Етапи мітозу в клітинах кореня цибулі

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 22 Неклітинні форми життя

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Мал. 22.1. Віріони простого і складного вірусів

Віруси поділяють на прості і складні. Складні віруси відрізняються наявністю у віріонів ліпопротеїнової оболонки (мал. 22.1). Але жоден вірус не має генів, які дають можливість синтезувати ліпіди для такої оболонки. Звідки вони її беруть?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

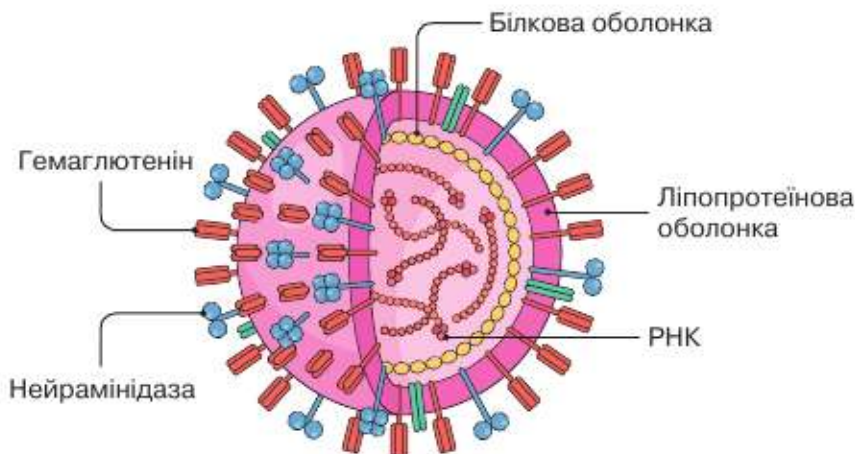
- 1 Білкові оболонки вірусів (капсиди) зазвичай мають прості геометричні форми. Вони можуть бути циліндричними (як вірус тютюнової мозаїки) або мати вигляд правильних багатогранників (як аденовірус). Що може обумовлювати таке «тяжіння» до простих геометричних фігур?
- 2 Молекули пріонів є дуже стійкими до різноманітних заходів знезараження. Наприклад, вони здатні витримувати високі температури стерилізації. Як їм це вдається?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

До неклітинних форм життя вчені відносять віруси, віроїди і пріони (хоча не всі з цим погоджуються). Найбільш поширеною формою цих структур є віруси. Віруси існують у двох станах — внутрішньоклітинному та позаклітинному. Внутрішньоклітинний стан існування вірусу має місце в клітинах, у яких вірус паразитує і розмножується. Позаклітинний стан існування вірусу (віріон) самостійно розмножуватися не може, бо не має відповідних ферментних систем і ресурсів.

Віріон вірусів обов'язково складається з двох компонентів — білкової оболонки (капсиду) та нуклеїнової кислоти всередині цієї оболонки. Крім нуклеїнової кислоти (тільки одного типу — або РНК, або ДНК) всередині капсиду можуть міститися деякі ферменти, потрібні вірусу після проникнення у клітину-хазяїна.

Така будова притаманна простим вірусам. Складні віруси мають ще одну зовнішню оболонку — ліпопротеїдну. Її ліпідну частину вони захоплюють від мембран клітини-хазяїна і додають до неї свої білки. Прикладом складного вірусу є вірус грипу (мал. 22.2).



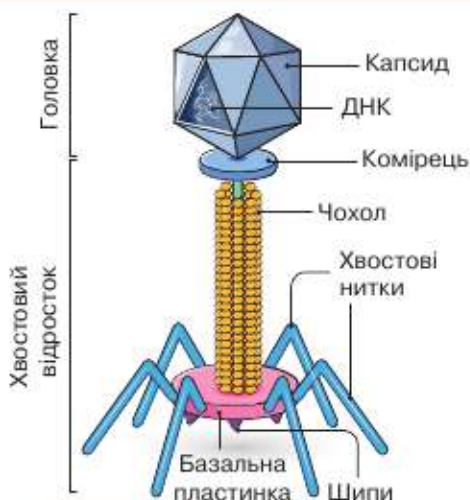
Мал. 22.2. Будова віріона вірусу грипу

Зовнішня форма вірусів не надто різноманітна (мал. 22.3). Зазвичай вони мають вигляд циліндрів, правильних багатогранників або їх комбінацій. Це пов'язано з тим, що кількість генів у вірусів маленька, і для побудови капсидів вони можуть використовувати тільки один або кілька типів білків. З такої кількості компонентів найлегше будувати геометрично прості структури.



Мал. 22.3. Різноманіття форм вірусів

Найбільш складною є структура капсидів деяких бактеріофагів (вірусів, які вражають бактерії). Вона складається з кількох частин різної форми (багатогранної, циліндричної, ниткоподібної) (мал. 22.4, с. 98). Така структура виникла як пристосування до проникнення в бактеріальну клітину.



Мал. 22.4. Будова бактеріофага

використовують ферментні системи клітини. Віроїди є збудниками деяких захворювань рослин — веретеноподібності бульб картоплі, карликовості томатів, карликовості хризантем тощо (мал. 22.5).

Пріони є білками і не містять нуклеїнових кислот. Вони утворюються в клітинах як звичайні білки і виконують важливі функції в мембранах нервових клітин. Але в деяких ситуаціях ці білки можуть змінювати свою просторову структуру (вторинний і третинний рівні структури білкової молекули) і перетворюватися у форму пріону (мал. 22.6). В цьому варіанті в молекулі різко зростає кількість ділянок з β -складчастою вторинною структурою. Ці ділянки значно збільшують стійкість молекули до дії зовнішніх факторів (висока температура, дія протеаз, агресивне середовище).

Крім того, пріонні форми молекул можуть взаємодіяти між собою і утворювати агрегати, які руйнують мембрани нервових клітин, що спричиняє їх загибель. Пріони можуть потрапляти в організм людини з продуктами тваринного походження (мозок та інші внутрішні органи, м'ясо). Пріони спричиняють важкі хвороби тварин

Віруси класифікують за типом нуклеїнової кислоти, яка входить до їх складу. Відповідно, виокремлюють ДНК- і РНК-віруси. Також враховують кількість ниток нуклеїнової кислоти (наприклад, віруси з одноланцюговою ДНК, віруси з дволанцюговою РНК тощо).

Віроїди і пріони відрізняються від вірусів. Віроїди є кільцевими молекулами РНК і ніяких білків не містять. Вони є паразитами рослин і розмножуються в ядрах або хлоропластах їхніх клітин. Для власного розмноження вони



Мал. 22.5. Листок кокосової пальми, ураженої віроїдом

і людини, найчастіше уражаючи нервову систему. У тварин відомі пріонні хвороби, наприклад, скреїпі у овець і губчаста енцефалопатія корів («коров'ячий сказ»), поширення якої було пов'язане з годуванням худоби м'ясо-кістковим борошном. До пріонних хвороб людини відносять хворобу Кройцфельдта-Якоба і куру. Існують також спадкові пріонні захворювання, наприклад, фатальне родинне безсоння.



Мал. 22.6. Варіанти білкової молекули: **1** — нормальний; **2** — пріонний

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

До неклітинних форм життя відносять віруси, віроїди і пріони. Віруси містять білок і нуклеїнову кислоту, віроїди представлені тільки нуклеїновою кислотою (РНК), а пріони є білками і нуклеїнових кислот не містять. Віруси існують у двох станах — клітинному і позаклітинному (віріон). Віріон складається з білкової оболонки (капсиду) і нуклеїнової кислоти всередині цієї оболонки. У складних вірусів ззовні є ще одна оболонка — ліпопротеїнова.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

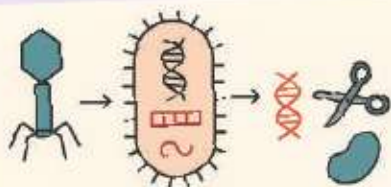
1. За якими ознаками можна відрізнити віруси, віроїди і пріони?
2. З яких компонентів складаються віріони вірусів?
3. Переглянь відео в **е-додатку** і дай відповіді на запитання (завдання 22.1).
4. Порівняй прості і складні віруси.
5. Якими способами пріони можуть з'явитися в організмі людини?
6. Чи можна створити вакцину проти пріонів? Обґрунтуй свою точку зору.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 23 Взаємодія вірусів із клітинами

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

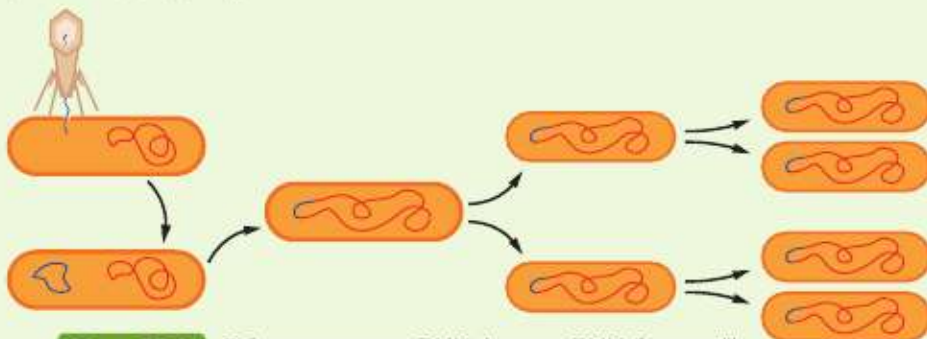


Бактерії мають круту систему набутого імунітету (CRISPR/Cas). У цьому столітті її зрозуміли і почали використовувати. То як саме бактерії захищаються від вірусів за допомогою цієї системи?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** Деякі бактеріофаги, потрапляючи в бактерію, не знищують її, а вбудовують свою ДНК в ДНК бактерії і так існують протягом певного часу (мал. 23.1). Які вигоди може мати така стратегія взаємодії бактеріофага з клітиною бактерії?



Мал. 23.1. Вбудовування ДНК фага в ДНК бактерії

- 2** Деякі віруси, як-от вірус грипу або коронавірус, потребують постійного створення нових варіантів вакцин. Чим це зумовлено?

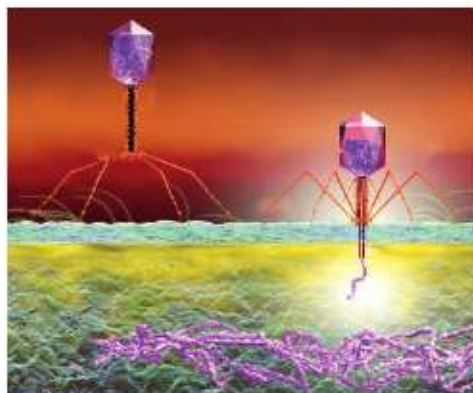
РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Віруси можуть розмножуватися лише в клітинах інших організмів. Тому питання взаємодії з клітиною-хазяїном є для них дуже важливим. Взаємодія вірусу і клітини складається із чотирьох етапів:

1. Прикріплення до клітини.
2. Проникнення в клітину.
3. Реплікація вірусу.
4. Вихід з клітини.

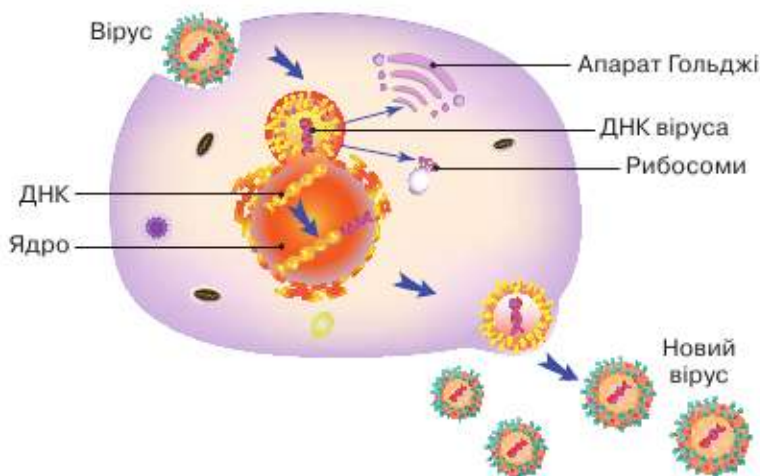
Різні групи вірусів мають свої особливості у проходженні цих етапів. Так, бактеріофагам доводиться проникати в клітини бактерій,

які мають товсту і міцну клітинну стінку (мал. 23.2). Для цього вони спочатку прикріплюються до поверхні клітини. Потім проникають всередину або механічно проштрикуючи її спеціальною порожнистою білковою трубкою, або руйнуючи її спеціальними ферментами. Деякі бактеріофаги використовують одночасно обидва способи.



Мал. 23.2. Проникнення бактеріофага в клітину бактерії

Для проникнення в клітини тварин віруси можуть використовувати іншу стратегію. Складні віруси за допомогою рецепторів на поверхні ліпопротеїдної оболонки знаходять потрібний їм тип клітин. Після цього їхня оболонка зливається з мембраною клітини, і білковий капсид з нуклеїновою кислотою опиняється всередині клітини (мал. 23.3). Після проникнення в клітину віруси блокують роботу її ДНК і розпочинають власне відтворення. Коли кількість нових віріонів у клітині стає достатньо великою, вони виходять у навколишнє середовище.



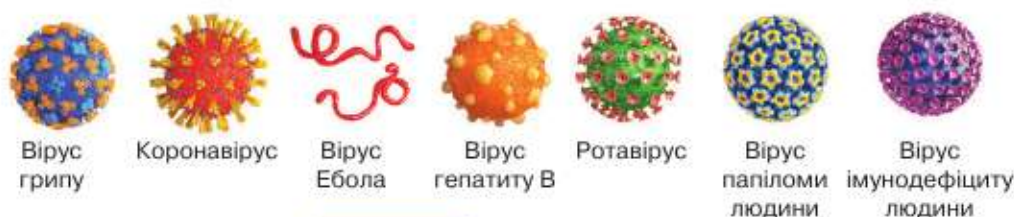
Мал. 23.3. Взаємодія вірусу з клітиною тварин

Клітини чинять спротив проникненню в них вірусів. Наприклад, бактеріальні клітини мають ферменти, які розрізають вірусну ДНК, що проникає в клітину. Якщо це вдається зробити швидко, то

зараження клітини не відбувається. Вдалий спротив проникненню вірусу дозволяє бактерії залучити один дуже давній механізм боротьби з вірусами. Це система CRISPR/Cas. Після знищення вірусної ДНК її коротенький шматочок вбудовується в ДНК бактерії. Ці послідовності нуклеотидів використовуються для розпізнавання вірусних ДНК і їхнього знищення спеціальним ферментним комплексом.

Віруси відіграють важливу роль як у природних екосистемах, так і в житті людини. Як показала реконструкція геному спільного предка всіх клітинних організмів, вже 4 млрд років тому він мав систему CRISPR/Cas для захисту від вірусів. Віруси регулюють чисельність популяцій всіх груп організмів. Крім того, вони є важливим механізмом горизонтального перенесення генів між різними видами і відіграють важливу роль у процесах еволюції.

Для людини віруси в першу чергу відомі як збудники небезпечних захворювань, зокрема натуральної віспи, коронавірусної інфекції, різних видів гепатитів, грипу, СНІДу, лихоманки Ебола, сказу тощо (мал. 23.4).



Мал. 23.4. Віруси людини

Характерною особливістю вірусних захворювань є те, що їх легше попередити, ніж лікувати. Це обумовлено особливостями життєдіяльності вірусів. Вони розмножуються в клітинах людини і використовують їх біохімічні процеси для свого відтворення. Тому підібрати ліки по типу антибіотиків (які діють на клітини бактерій, але не діють на клітини людей) надзвичайно важко.

Але ще однією неприємною властивістю вірусів є дуже висока мінливість. Особливо це стосується деяких із них, як-от вірус грипу або ВІЛ. Це утруднює створення вакцин проти них, бо пристосована до протидії попередньому варіанту вірусу імунна система нову його форму не розпізнає. Найбільш мінливими вважаються РНК-віруси (вірус грипу), особливо одна з їх груп — ретровіруси (ВІЛ). Ретровіруси після проникнення в клітину здійснюють синтез ДНК на своїй РНК, і вже ця ДНК забезпечує розмноження вірусу в клітині.

ДЛЯ ТИХ, ХТО ХОЧЕ БІЛЬШЕ ЗНАТИ...

Цікавою групою вірусів є гіруси, які відрізняються дуже великими розмірами. Їх навіть можна побачити у світловий мікроскоп, хоча це і потребує збільшення в 100 разів. Представниками цієї групи є мімі-вірус, пітовірус, ірідовірус тощо. Це ДНК-віруси з капсидом у формі багатогранника, який ззовні вкритий шаром ниткоподібних волокон. Їх геном дуже великий для вірусів і містить гени, пов'язані із синтезом білків, яких немає в інших вірусах. Ці віруси вражають різноманітні організми — одноклітинних еукаріотів, водорості, різні групи тварин.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Взаємодія вірусів із клітиною складається з чотирьох етапів — прикріплення до клітини, проникнення в клітину, реплікації вірусу, виходу вірусів із клітини. Існують різноманітні способи проникнення вірусів у клітину. Віруси відіграють важливу роль у природних екосистемах, як регулятор чисельності популяцій і важливий інструмент еволюційних змін. Також вони мають велике значення для людини, в першу чергу як збудники важких захворювань, як-от СНІД, сказ тощо.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Чому віруси не здатні розмножуватися поза живими клітинами?
2. Переглянь відео в -додатку і дай відповіді на запитання (завдання 23.1).
3. Чому бактеріофагам важко проникати в клітини бактерій і як вони це роблять?
4. Які вірусні захворювання вражають людину і які з них можна вважати найбільш небезпечними у сучасних умовах?
5. Як збудники вірусних захворювань можуть потрапляти в організм людини?
6. В середині XX століття в одному з європейських містечок почалася епідемія вірусу енцефаліту, який, як було вже відомо на той час, потрапляв в організм людини через укуси кліщів. Але більшість хворих у цьому містечку з кліщами не контактували. Яким ще способом вірус міг потрапити в організм? Запропонуй гіпотезу, яка пояснює цей факт, і вкажи, яким способом можна її перевірити.

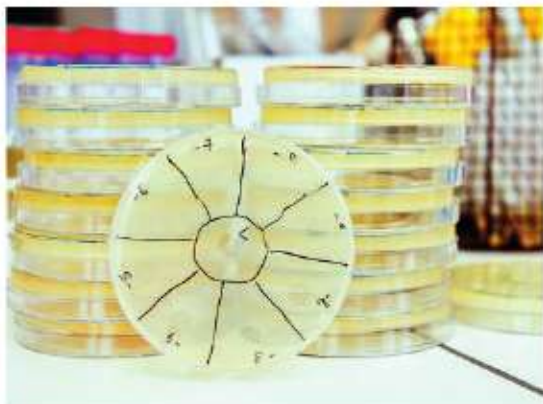
СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

Узагальнювальні дослідницькі завдання

1. Ознайомся в **Е-ДОДАТКУ** (завдання 23.2) з інформацією про спосіб визначення кількості часток бактеріофагів в препараті шляхом послідовних розведень препарату в 10 разів та розміщення крапель з відповідними розведеннями в різних секторах чашки Петрі з культурою бактерій. Після цього виконай завдання.

- Поясни, хто такі бактеріофаги і яке значення вони відіграють у природі й житті людини.
- Розрахуй кількість фагів в 1 мл препарату, якщо в результаті розведень буде отримано чотири точки в секторі 7.
- Попрацюйте в групах. Підготуйте презентації про французького мікробіолога Фелікса д'Ереля: *1 група* — про життя науковця; *2 група* — про його наукову діяльність.



2. Розглянь фото, на якому зображено клітину на одній зі стадій мітозу. Дай відповіді на запитання.



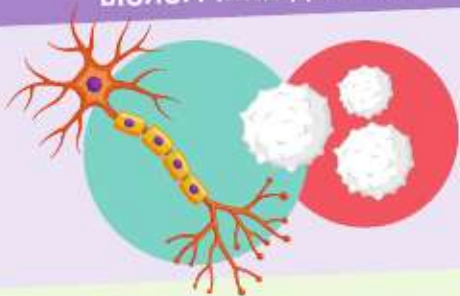
- Якій фазі мітозу відповідає зображення на цьому фото?
- Які процеси відбуваються в клітині протягом цієї фази?
- Яка фаза передує зображеній, а яка йде після неї?

3 ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ ТА МІНЛИВОСТІ ОРГАНІЗМІВ



§ 24 Гени і геноми

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Поміркуй над ланцюжком запитань:

- Скільки у людини генів?
- Чи однакова кількість генів у різних людей?
- Чи однакові гени у нейрона і лейкоцита однієї людини?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Яке визначення науковці не давали би поняттю «ген», з нього знайдуться виключення. Вибери одне або кілька трактувань цього поняття і відшукай приклади, що не відповідають (принаймні повністю) такому визначенню.
- 2 У таблиці зазначено кількість пар нуклеотидів та генів в одній клітині деяких видів. Порівняй дані прокаріотів й еукаріотів. Поміркуй, із чим пов'язана така відмінність. Проаналізуй дані еукаріотичних організмів. Чи можна стверджувати, що кількість генів в еукаріотів пов'язана з рівнем розвитку організмів?

Організм	Кількість пар нуклеотидів у геномі	Кількість генів у геномі
Кишкова паличка (<i>E. coli</i>)	4,6 млн	4200
Архея (<i>Methanocaldococcus jannaschii</i>)	1,6 млн	1770
Людина (<i>Homo sapiens</i>)	3,2 млрд	20–25 тис.
Миша (<i>Mus musculus</i>)	2,7 млрд	20 тис.
Сосна (<i>Pinus sylvestris</i>)	22 млрд	50 тис.
Картопля (<i>Solanum tuberosum</i>)	844 млн	40 тис.
Хижа рослина (<i>Genlisea aurea</i>)	63 млн	17 тис.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Усі живі організми, і навіть віруси як неклітинні форми життя, несуть спадкову інформацію. Зазвичай (окрім РНК-вірусів) її задовано у молекулах ДНК.

Кожен організм отримує генетичну інформацію від своїх батьків і, за статевого розмноження, половину своєї інформації передає кожному з нащадків. Інформація копіюється, тож її вистачить сотням нащадків. У цьому розділі ти дізнаєшся, як відбувається зчитування і реалізація спадкової інформації.

Для всієї сукупності спадкового матеріалу використовують термін «геном». У геномі людини понад 3 млрд пар нуклеотидів! І це в одній гаплоїдній клітині!

БІОСЛОВО

Ген (англ. *gene*) — одиниця спадковості, ділянка молекули нуклеїнової кислоти (зазвичай ДНК), що містить інформацію про первинну структуру молекули білка або РНК і відповідає за формування певної ознаки. (Переглянь в **е-додатку** відео «Що таке ген?» (завдання 24.1).)

Геном (англ. *genome*) — сукупність усієї спадкової інформації організму (сукупність усіх молекул ДНК, зазвичай вимірюється у кількості пар нуклеотидів).

Процес еволюції супроводжувався змінами геномів: певні ділянки копіювалися кілька разів, інші втрачалися, деякі змінювалися і спричиняли набуття нових ознак і функцій. Тож у формуванні геномів були закономірні і випадкові події.

У геномі є ділянки ДНК — гени, що кодують інші молекули (РНК, білки), а є й некодуючі ділянки.

Гени — це лише частина геному, але саме вони визначають ознаки організмів. Деякі ознаки визначаються одним геном, проте нерідко трапляється, що у формуванні ознаки бере участь кілька генів. Іноді один ген може визначати кілька ознак.

За функціями гени поділяють на *структурні* і *регуляторні*. Структурні гени містять інформацію про будову молекул білків, різних типів РНК. А регуляторні регулюють роботу структурних генів.

Активність гена, його експресія, проявляється транскрипцією — синтезом РНК на матриці ДНК. За правилом комплементарності за участі фермента РНК-полімерази формується ланцюг РНК, комплементарний одному з ланцюгів ДНК (*детальніше про це у § 25*).

Проте транскрибується не весь ген, а лише певна його ділянка. Фермент РНК-полімераза зв'язується з особливою послідовністю в гені — промотором (мал. 24.1, с. 108). Якщо регуляторні фактори сприятливі, починається зчитування гена — експресія. Краще зрозуміти дію цих факторів тобі допоможе інтерактивна симуляція (виконай в **е-додатку** завдання 24.2).

У різних типах клітин експресія генів регулюється по-різному. Є гени домашнього господарства, що експресуються у всіх клітинах, а є ті, що активні лише в певних типах клітин. Наприклад, ген інсуліну експресується в ендокринних клітинах підшлункової залози. А гени, що кодують ланцюги білка гемоглобіну, експресуються лише в клітинах-попередниках еритроцитів у червоному кістковому мозку (в постембріональному періоді).

Будова генів у прокаріотів та еукаріотів відрізняється, хоча і має багато спільного. Так, усі гени складаються з кодуючих і некодуючих ділянок. Кодуюча ділянка містить інформацію про будову відповідної молекули білка або РНК. Некодуючі ділянки найчастіше виконують регуляторні функції. До прикладу, некодуючими ділянками гена є промотор (забезпечує початок синтезу молекули РНК на молекулі ДНК) і термінатор (забезпечує завершення синтезу молекули РНК).



Мал. 24.1. Будова генів: **1** — прокаріотів; **2** — еукаріотів

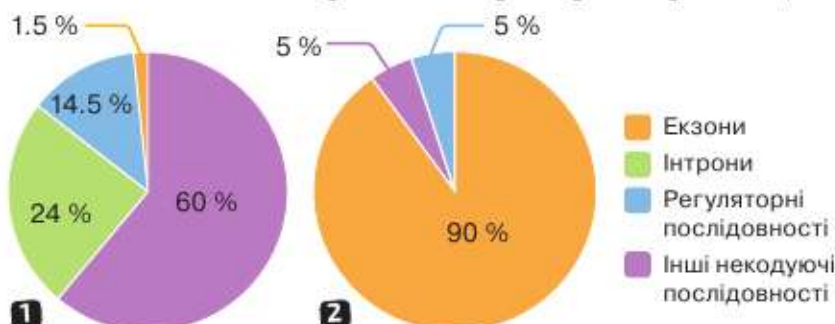
Структура генів прокаріотів простіша, ніж в еукаріотів (мал. 24.1, **1**). Кодуюча частина генів прокаріотів зазвичай є цілісною, неперервною. А в еукаріотів (мал. 24.1, **2**) гени мають мозаїчну структуру: між кодуючими ділянками (екзонами) розміщені некодуючі (інтрони). В процесі експресії гена інтронні ділянки видаляються з РНК.

До складу гена можуть входити особливі регуляторні ділянки, які можуть посилювати (енхансери) або сповільнювати (репресори) його роботу. І ці ділянки можуть розташовуватися віддалено від основної частини гена в ланцюгу ДНК. Чому ж усе так складно влаштовано, ти дізнаєшся в наступних параграфах.

Завдяки досягненням молекулярної генетики на сьогодні встановлено геноми (повні нуклеотидні послідовності) багатьох організмів. Геноми прокаріотів мають відносно просту будову — близько 90% ДНК у їхньому складі припадає на кодуючі нуклеотидні послідовності.

У геномах еукаріотів частка некодуючих ділянок ДНК значно перевищує частку кодуючих (мал. 24.2). Спочатку науковці не могли визначити функцію більшості цих ділянок і таку ДНК навіть називали «сміттевою». Пізніше було доведено, що ця ДНК відіграє

важливу роль у регуляції роботи як усього геному, так і окремих генів та є важливим чинником правильної просторової організації геному.



Мал. 24.2. Компоненти геномів: **1** — людини (*Homo sapiens*); **2** — кишкової палички (*E. coli*)

У вірусів геном може бути представлений ДНК або РНК. Вірусні геноми дуже компактні й містять лише необхідні для розмноження гени.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Геном — сукупність послідовностей усіх молекул ДНК організму чи клітини у гаплоїдному наборі. Геном містить гени і некодуючі ділянки ДНК. Ген — одиниця спадковості, ділянка молекули нуклеїнової кислоти, що містить інформацію про первинну структуру молекули білка або РНК. Гени і геноми еукаріотів мають складнішу будову порівняно з прокаріотами.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. У яких одиницях вимірюють розміри геномів? Порівняй розміри геномів прокаріотів та еукаріотів.
2. Опиши будову гена прокаріотів.
3. Чому гени еукаріотів називають мозаїчними?
4. У людини у кожній клітині понад 20 тисяч генів. Чи всі вони експресуються у кожній клітині?
5. Проаналізуй інформацію на малюнку 24.2. Опиши відмінності складу геномів прокаріотів та еукаріотів.
6. Виконай в **е-додатку** завдання 24.3.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 25 Генетичний код і його реалізація. Біосинтез білка

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Після відкриття структури ДНК у 1953 році Ф. Крік, один з авторів цього відкриття, вважав, що мине чимало десятиліть, доки науковці з'ясують, як саме ДНК кодує білки. Проте уже в 1960-х роках було розшифровано генетичний код. Установити першу відповідність триплет / амінокислота вдалося,

використовуючи метод мічених атомів. Так виявили, що триплет мРНК УУУ кодує фенілаланін (фен). Запропонуй дизайн такого експерименту. Які молекули містили мічені атоми — амінокислоти, РНК чи ДНК? Де мічені атоми виявляли через деякий час?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Кожну амінокислоту в молекулі ДНК закодовано послідовністю з трьох нуклеотидів. А чому саме з трьох, а не з одного чи двох?
- 2 Молекула білка кишкової палички складається з трьохсот амінокислот. Визнач: а) скільки нуклеотидів у мРНК кодує цей білок; б) кількість нуклеотидів у кодуючій частині гена (молекули ДНК).

БІОСЛОВО

Генетичний код — це система, що визначає відповідність між послідовністю нуклеотидів у нуклеїнових кислотах і послідовністю амінокислот у білках.

Транскрипція — процес синтезу РНК на матриці ДНК, перенесення генетичної інформації з ДНК на РНК.

Трансляція — синтез білків з амінокислот, що відбувається в рибосомі на матриці мРНК.



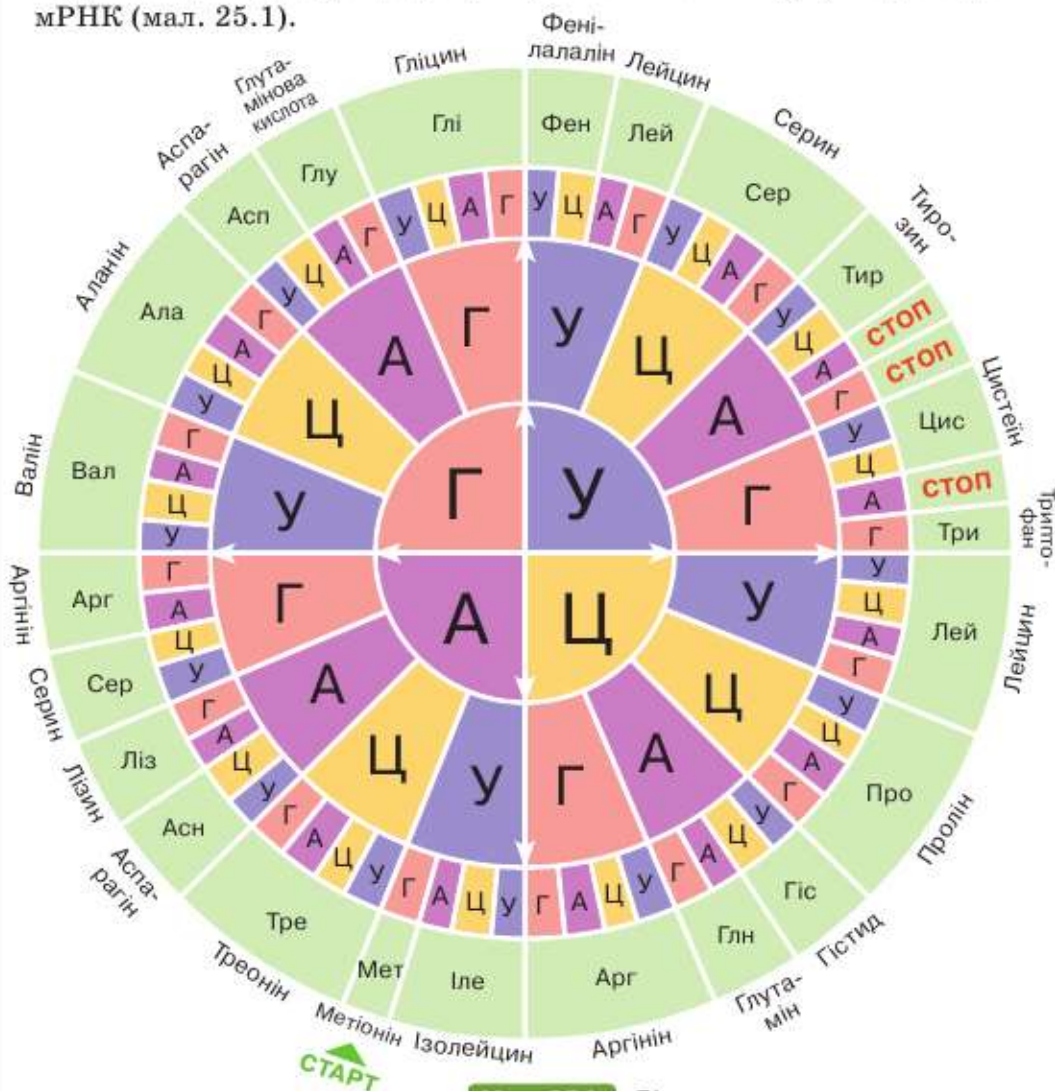
Інструкція для використання діаграми генетичного коду (с. 111)

Діаграма відображає, як триплети мРНК кодують амінокислоти. Рухайся від центрального круга (перший нуклеотид триплету) назовні. У зовнішньому колі позначено амінокислоти, що кодуються відповідними триплетами. Наприклад, ГУГ кодує валін (вал), АГГ — аргінін (арг).

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Ген є надійним засобом зберігання інформації, але для її використання потрібно «прочитати» ген — створити його тимчасову копію. Нею є молекула мРНК, з якої інформація переводиться в послідовність амінокислот білка.

Кожній амінокислоті молекули білка в ДНК відповідає послідовність із трьох нуклеотидів, яку називають кодоном. Систему запису спадкової інформації, у якій послідовність нуклеотидів визначає послідовність амінокислот у молекулі білка, називають генетичним кодом. Зверни увагу, що діаграму генетичного коду укладено для мРНК (мал. 25.1).



Мал. 25.1. Діаграма генетичного коду

Чотири різні нуклеотиди, поєднуючись по три, дають 64 варіанти можливих комбінацій, що перевищує кількість амінокислот, які використовуються для створення білків (їх тільки 20). Відшукай на діаграмі триплети (УАГ, УГА та УАА), які не кодують амінокислот. Вони є стоп-кодонами, позначають кінець синтезу білкової молекули. Триплет АУГ не лише кодує метіонін, але й виконує функції старт-кодону. З нього розпочинається синтез молекул білків.

Основні властивості генетичного коду	
Універсальність	Генетичний код є однаковим для всіх організмів (з небагатьма винятками)
Триплетність	Кожна амінокислота кодується послідовністю з трьох нуклеотидів — кодоном
Однозначність	Кожен кодон може кодувати тільки одну амінокислоту
Виродженість (надлишковість)	Одна амінокислота може кодуватися кількома кодонами
Безперервність	Кодони зчитуються без пробілів один за одним
Дискретність	Нуклеотиди з одного кодону не входять до складу сусіднього кодону
Наявність стоп-кодонів	Три стоп-кодони не кодують амінокислот, а є сигналами припинення процесу синтезу білка

У деяких груп організмів спостерігаються певні особливості генетичного коду. Прочитай про це в **е-додатку** (завдання 25.1).

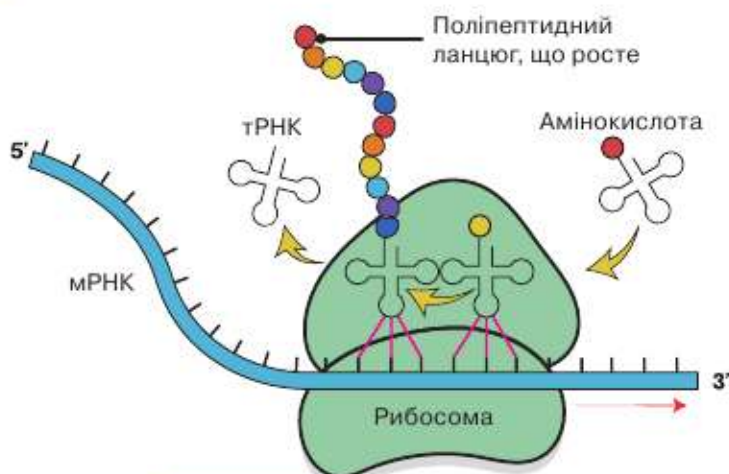
Реалізація спадкової інформації в клітинах відбувається у вигляді синтезу білкових молекул, який проходить у кілька етапів. Перший етап — транскрипція, синтез молекули РНК, що здійснюється за участі РНК-полімерази та інших ферментів (мал. 25.2). В результаті транскрипції утворюються РНК різних типів. Для синтезу білків у якості матриці використовуються молекули матричної РНК (мРНК).



Мал. 25.2. Процес транскрипції

Після транскрипції у ядрі відбувається дозрівання синтезованої РНК (пре-мРНК). В еукаріотів з пре-мРНК вирізаються ділянки інтронів, а ділянки екзонів зшиваються між собою, що називають сплайсингом. Системи регуляції білкового синтезу в еукаріотів дозволяють зшивати екзони різними способами, що створює можливості отримувати з одного гену різні варіанти білкових молекул. Крім того, до кінців молекули мРНК перед її виходом у цитоплазму доєднуються певні ділянки, що оберігають мРНК від руйнування. Адже втрата кількох нуклеотидів могла б призвести до суттєвої зміни інформації.

Наступним етапом реалізації спадкової інформації є трансляція — синтез молекули білка в рибосомі згідно інформації з молекули мРНК (мал. 25.3). У трансляції беруть участь рибосоми та молекули мРНК (які слугують матрицею для синтезу) і тРНК (які доставляють амінокислоти до місця синтезу). Для візуалізації цих процесів переглянь відео в **е-додатку** (завдання 25.2).



Мал. 25.3. Процес трансляції

Процес трансляції складається з трьох етапів — ініціації, елонгації і термінації. Під час ініціації до молекули мРНК спочатку приєднується мала субодиниця рибосоми, а потім велика. Відбувається розпізнавання старт-кодону (АУГ), і до нього приєднується тРНК з амінокислотою метіоніном, з якої і починається утворення білкової молекули.

На етапі елонгації кожен наступний кодон розпізнається відповідною молекулою тРНК (для цього на ній є комплементарна кодону ділянка — антикодон). Після приєднання тРНК з новою амінокислотою відбувається утворення пептидного зв'язку, і рибосома пересувається до наступного кодону.

На етапі термінації рибосома доходить до стоп-кодону, де синтез молекули білка зупиняється. Білкова молекула згортається, набуваючи відповідної просторової структури. Рибосома розпадається на субодиниці, а молекула мРНК вивільняється. Іноді на одній мРНК можуть одночасно працювати кілька рибосом (таку тимчасову структуру називають полісомою), це пришвидшує синтез білків.

Досліди в е-додатку процеси транскрипції і трансляції з інтерактивними симуляціями (завдання 25.3).

Дозрівання і модифікація деяких білкових молекул може відбуватися в ЕПС, комплексі Гольджі.

Щоб перевірити себе, виконай в е-додатку завдання 25.4.

Якщо тобі подобається вивчати біологію англійською, виконай в

е-додатку завдання 25.5.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Генетичний код — це система запису спадкової інформації, у якій послідовність нуклеотидів визначає послідовність амінокислот у молекулі білка. Реалізація спадкової інформації відбувається у кілька етапів: транскрипція (синтез молекули РНК на ДНК), дозрівання РНК і трансляція (синтез молекули білка на рибосомі). Основними властивостями генетичного коду є триплетність, універсальність, однозначність і виродженість (надлишковість).

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. «Мови» яких речовин пов'язує генетичний код? Яким чином це відбувається?
2. Назви властивості генетичного коду і поясни кожну з них.
3. За діаграмою генетичного коду (мал. 25.1, с. 111) відшукай стоп-кодони, старт-кодон. Наведи приклади амінокислот, які кодуються лише одним триплетом; двома, чотирма, шістьма.
4. Які етапи синтезу білка відбуваються в ядрі? Поясни суть цих процесів.
5. Опиши процес трансляції.
6. Визнач кодони мРНК, комплементарні кодонам ДНК: ГЦА і ЦАТ. Які амінокислоти кодуються цими кодонами (визнач за мал. 25.1, с. 111)?

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 26

Закони спадковості Менделя.
Методи генетичних досліджень

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Трапляється, що у дітей проявляються ознаки, яких не було в батьків, але могли бути у родичів старших поколінь — бабусь чи прадідів. Поміркуй, як таке трапляється.

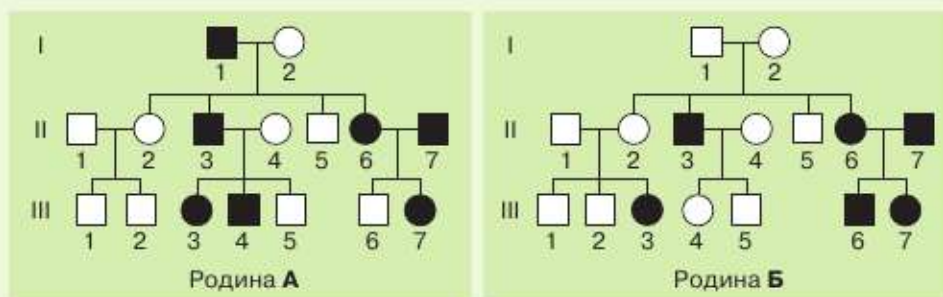


ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

1

Розглянь генеалогічні схеми успадкування ознак (мал. 26.1).

(Позначення: $\square$ — чоловік, $\circ$ — жінка, $\blacksquare$ $\bullet$ — особи з досліджуваною ознакою, $\circ$ — $\square$ — шлюб. Римськими цифрами позначено покоління, арабськими — особи в межах покоління.)



Мал. 26.1. Генеалогічні схеми успадкування різних ознак у двох родин

- Визнач, на якій схемі зображено успадкування домінантної ознаки, а на якій — рецесивної. Як можна обґрунтувати твої міркування?
- Визнач генотип індивідів I-2 і II-5 у родині А.
- Визнач генотип індивідів I-1 і III-6 у родині Б.

2

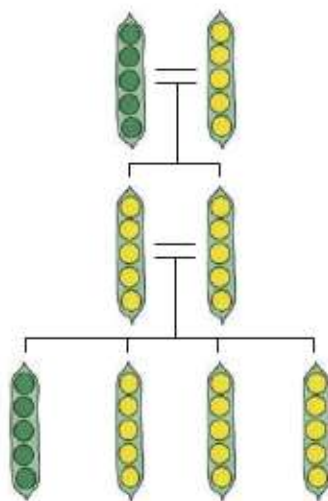
У процесі гаметогенезу в кожен гамету потрапляє один ген з пари алельних генів. Дигетерозиготний генотип ($AaBb$) дає чотири варіанти гамет (мал. 26.5, с. 118). Скільки варіантів гамет утворює тригетерозигота $DdEeFf$? Запиши у зошиті всі варіанти. Зауваж, що в гамету потрапляє один ген з кожної пари алельних генів.

Закономірності спадковості було відкрито Грегором Менделем задовго до відкриття самих генів. Дослідження Менделя — зразок втілення наукового методу. За об'єкт дослідження він обрав горох. Визначив сім пар альтернативних ознак (наприклад, зелене / жовте насіння; гладеньке / зморшкувате насіння; пурпурові / білі квітки).

Загалом у дослідженні Мендель проаналізував понад 20 тисяч рослин гороху! На основі статистичної обробки результатів дійшов до формулювання закономірностей успадкування. Він припустив, що кожен організм несе два спадкових фактори: один отримує від батьківського організму (через чоловічу гамету), інший — від жіночого (через яйцеклітину). А передає нащадкам лише один із них.

Мендель схрестив горох із жовтим насінням з горохом із зеленим насінням. У першому поколінні всі рослини мали жовте насіння (мал. 26.2). Він припустив, що домінантний фактор є сильнішим і пригнічує прояв рецесивного. Під час самозапилення в другому поколінні з'явилися нащадки з двома варіантами забарвлення насіння у співвідношенні приблизно 3 : 1. Таке саме співвідношення Мендель спостерігав і для забарвлення пелюсток, форми насіння та інших ознак.

Додамо сучасну термінологію для пояснення закономірностей спадковості. Домінантні алелі зазвичай позначають великими літерами (A — алель жовтого забарвлення), а рецесивні — малими (a — алель зеленого забарвлення).



Мал. 26.2.

Результати успадкування забарвлення насіння гороху у дослідях Менделя

БІОСЛОВО

Алельні гени — гени, що визначають різні прояви однієї ознаки, розміщені в однакових локусах гомологічних хромосом.

Генотип — сукупність генів організму (або клітини).

Гетерозиготний організм (генотип) несе два різних алеля одного гена (Aa).

Гомозиготний організм (генотип) несе два однакових алеля одного гена (AA ; aa).

Гібрид — це організм, отриманий у результаті схрещування генетично різних батьківських форм.

Фенотип — сукупність ознак організму.

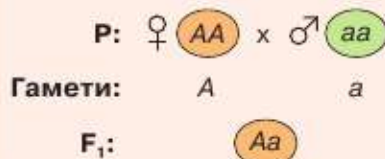
ПЕРШИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ

Закон одноманітності гібридів першого покоління (F_1)

Під час схрещування чистих (гомозиготних) ліній з домінантною і рецесивною ознаками усі нащадки одноманітні, проявляється лише домінантна ознака (мал. 26.3).

Символ ♀ відповідає жіночій статі, ♂ — чоловічій. Батьківські особини позначають літерою **P**, покоління — літерою **F**, біля якої ставлять цифровий індекс.

Гетерозиготний генотип в результаті мейозу утворює два типи гамет — *A* і *a*. Під час запліднення вони поєднуються випадковим чином (мал. 26.4). У 3/4 нащадків проявляється домінантна ознака, а в 1/4 — рецесивна.

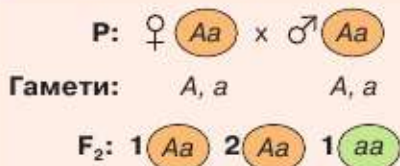


Мал. 26.3. Схема схрещування гомозиготних особин гороху з жовтим і зеленим насінням

ДРУГИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ

Закон розщеплення

У другому поколінні відбувається розщеплення домінантної ознаки на домінантну та рецесивну у співвідношенні 3 : 1.



Гамети	<i>A</i>	<i>a</i>
<i>A</i>	AA	Aa
<i>a</i>	Aa	aa

Мал. 26.4. Схрещування особин першого покоління між собою

Мендель сформулював *правило чистоти гамет*: кожна гамета гібридного організму (тепер ми називаємо їх гетерозиготами, *Aa*) несе один спадковий фактор (алель гена) і не може нести два.

Тож, не маючи знань про гени і хромосоми, Г. Мендель зміг установити закони спадковості завдяки правильному плануванню і статистичній обробці результатів. *Детально ознайомся з результатами Менделя в е-додатку (завдання 26.1).*

Досі йшлося про успадкування однієї ознаки — *моногібридне схрещування*. Але Мендель проаналізував, як успадковуються дві і більше ознак разом (*дигібридне, полігібридне схрещування*). Окрім забарвлення насіння успадкування форми насіння (*B* — гладенька, *b* — зморшкувата). Результати відображено на малюнку 26.5 (с. 118).

У результаті схрещування дигомозигот всі нащадки F_1 ($AaBb$) виявилися одноманітними (що підтверджує перший закон Менделя). Під час їх схрещування формується чотири варіанти гамет: зауваж, що кожна гамета несе по одному алелю генів A (a) і B (b).

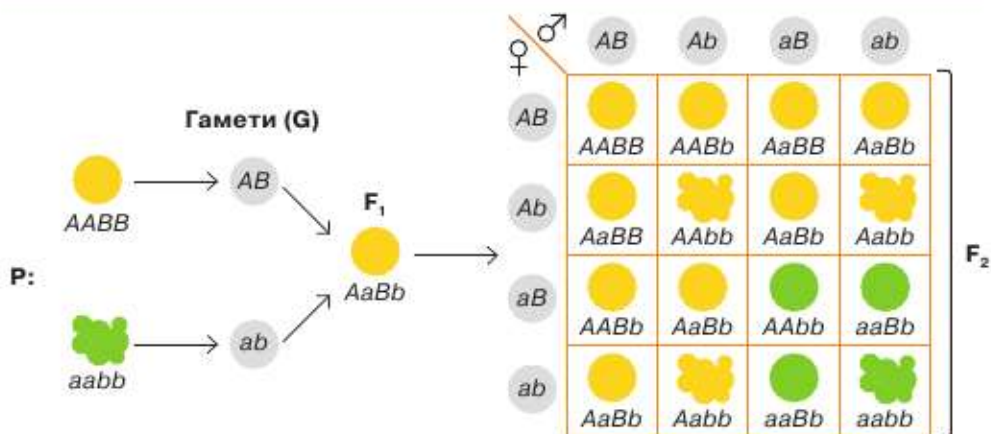
У другому поколінні спостерігалось розщеплення $9 : 3 : 3 : 1$ — $9/16$ потомства характеризувалося наявністю двох домінантних ознак (жовте та гладке насіння), дві групи по $3/16$ — наявністю лише однієї з двох домінантних ознак (жовте-зморшкувате, зелене-гладеньке) і $1/16$ були притаманні обидві рецесивні ознаки.

Відношення між жовтим та зеленим насінням (як і між гладеньким та зморшкуватим) дорівнює $12 : 4 = 3 : 1$, тобто відповідає другому закону Менделя (мал. 26.5).

ТРЕТІЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ

Закон незалежного успадкування ознак

За ди- і полігібридного схрещування кожна ознака успадковується незалежно від інших.



Мал. 26.5. Схема схрещування дигомозигот ($AABB \times aabb$) і їх нащадків

Робота Менделя «Досліди над рослинними гібридами» 1866 року залишилася не поміченою сучасниками. Тільки в 1900 р. кілька дослідників дійшли подібних висновків і наштотувалися на роботу Менделя. Цей рік і вважають роком народження генетики.

Мендель установив закономірності успадкування, застосовуючи гібридологічний метод — метод схрещування. Проте його не використовують для людини чи бактерій.

Одним із методів генетики людини є генеалогічний (мал. 26.1, с. 115).

Методи генетики	Особливості методу
Гібридологічний	Визначення закономірностей успадкування ознак на основі схрещування
Цитогенетичні	Дослідження хромосом, каріотипів, їх порушень із застосуванням оптичної мікроскопії
Близнюковий метод	Дає змогу оцінити, наскільки генотип чи умови середовища впливають на формування ознак
Біохімічні	Виявлення білків, продуктів обміну (особливо за вроджених порушеннях процесів метаболізму)
Секвенування ДНК	Визначення послідовностей нуклеотидів у певних генах чи ділянках хромосом для виявлення мутацій
Методи генетичної інженерії	Перебудовують гени, вводять їх в інші організми, аналізують зміну функцій

Щоб перевірити себе, виконай в **е**-додатку завдання 26.2.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Організм зазвичай несе два алелі одного гена. Гомозиготний генотип несе два однакові алелі гена (AA , aa), гетерозиготний — різні (Aa). При схрещуванні гомозигот AA і aa усі нащадки одноманітні. У другому поколінні відбувається розщеплення за фенотипом у співвідношенні 3 : 1. За ди- і полігібридного схрещування кожна ознака успадковується незалежно від інших. Ці закономірності було встановлено Г. Менделем у 1866 р.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

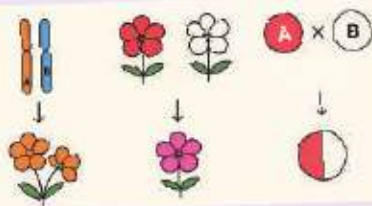
1. Г. Мендель зміг установити закони спадковості без знань про хромосоми. Як він зміг це зробити?
2. Поясни перший і другий закони Менделя на основі успадкування забарвлення пелюсток: D — алель пурпурового забарвлення, d — білого.
3. В чому суть правила чистоти гамет?
4. За малюнком 26.5 визнач, яку частку в F_2 складають дигомозиготи. Дигетерозиготи?
5. Які з генотипів є гомозиготними: $AAbb$, $nnMm$, NN , $FFddRR$, $FfDdRr$?
6. Які методи використовують для встановлення порушень каріотипу? А які для виявлення змін у послідовності окремих нуклеотидів у гені?

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 27 Взаємодія алельних генів. Явище зчепленого успадкування

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Виявилось, що закони Менделя не завжди справедливі. Є ознаки, успадкування яких не відповідає закону розщеплення або закону незалежного успадкування ознак. Запропонуй кілька причин, які пояснюють такі порушення.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** Деякі гени існують у більш ніж двох алелях (явище множинного алелізму). У голубів чотири алеля визначають візерунок крила. Алель Wt домінує над усіма іншими, Wc над Wb і Wl (рецесивний відносно усіх інших (мал. 27.1)). Якими можуть бути нащадки голубів внаслідок схрещування $WtWl \times WcWb$?



Wt : щільний
Т-візерунок крил



Wc : нещільний
Т-візерунок, картаті



Wb : крила з двома
смужками



Wl : без смуг і
Т-візерунка

Збільшення домінантності

Мал. 27.1. Алелі, які визначають візерунок крил у голубів

- 2** Гени A і B розміщені в одній хромосомі на близькій відстані і завжди успадковуються разом (зчеплено). Ген D розміщений в іншій негомологічній хромосомі. Які типи гамет і в якому співвідношенні може утворити тригетерозиготний генотип $AaBbDd$? Якби відстань між генами A і B складала 10 сантиморганів, як би змінилася відповідь у задачі?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Ознаки, успадкування яких досліджував Мендель, визначаються генами, розміщеними у різних хромосомах. І кожен із цих генів існує у двох алелях, один з яких (домінантний) повністю домінує над іншим (рецесивним).

Проте трапляються випадки неповного домінування, і в гетерозигот проявляється проміжний характер ознаки. Наприклад, у ротиків садових внаслідок схрещування рослин із червоними (RR) і білими (rr) квітками усі нащадки F_1 мають рожеві квітки — Rr (мал. 27.2). У F_2 спостерігається розщеплення на три фенотипи у співвідношенні: 1 : 2 : 1 (червоні / рожеві / білі).

Подібно успадковуються і деякі ознаки людини. Наприклад, алель кучерявого волосся неповністю домінує над алелем прямого. Тож у гетерозигот волосся зазвичай хвилясте.

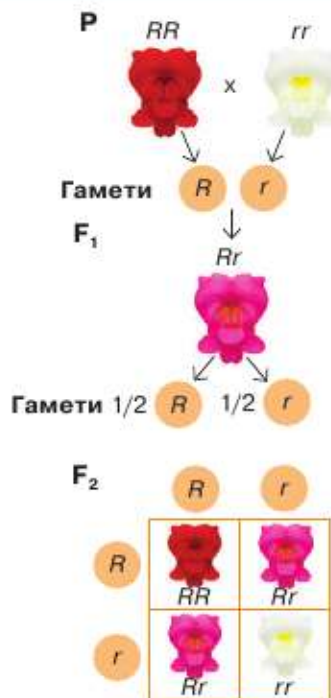
Деякі алелі певних генів є кодомінантними: в такому разі кожен алель проявляється, не впливаючи на прояв іншого. Приклад — домінантні алелі груп крові (за системою AB0).

Чотири групи крові — 0 (I), A (II), B (III) та AB (IV) — визначаються трьома алелями одного гена: I^A , I^B та i^0 . Алелі I^A та I^B є домінантними по відношенню до алеля i^0 , кодомінантними один відносно одного. Кожен з них кодує відповідний антиген (A або B), рецесивний алель i^0 антигенів не кодує. За наявності в генотипі двох кодомінантних алелів I^A та I^B на еритроцитах є антигени двох типів — A та B (мал. 27.3).

Виконай в **е-додатку** задачі на успадкування груп крові (завдання 27.1).

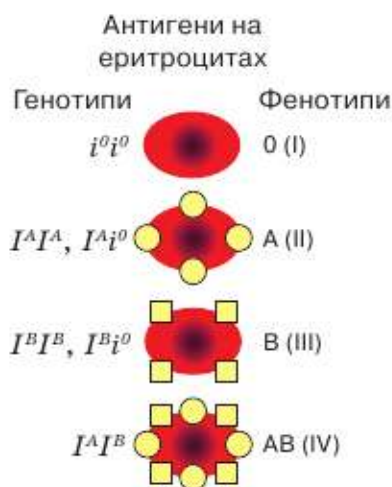
Кількість генів у будь-якому організмі значно більша за кількість хромосом. Тож багато генів розміщено в одній хромосомі (мал. 27.4, с. 122).

Томас Морган, один з авторів хромосомної теорії спадковості, обрав для досліджень плодову мушку дрозофілу. Він і виявив, як гени розміщуються у певних ділянках хромосом — локусах, і як успадковуються.



Мал. 27.2.

Успадкування забарвлення квіток ротиків садових (неповне домінування)



Мал. 27.3.

Групи крові та їх генетичне підґрунтя

Варіанти розміщення двох пар неалельних генів

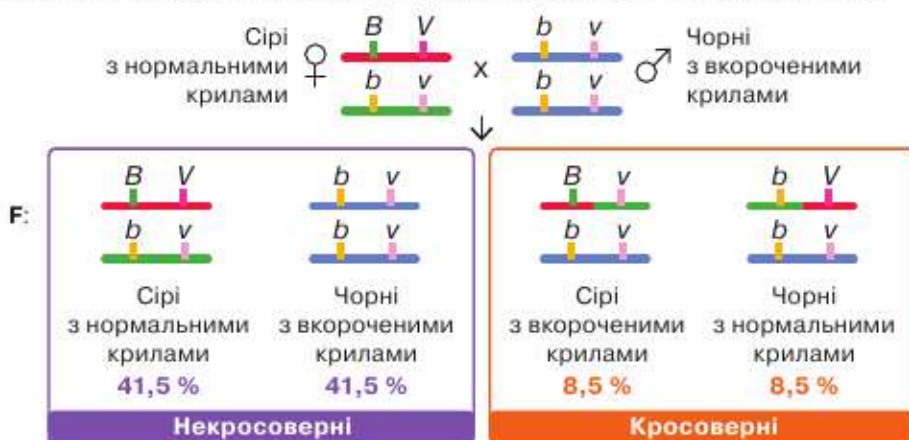


Мал. 27.4. Варіанти розміщення двох пар неалельних генів у геномі

Розглянемо дві пари ознак дрозофіли і гени, що їх визначають: *B* — сіре забарвлення, *b* — чорне забарвлення. *V* — нормальні крила, *v* — маленькі крила.

Морган схрещував гомозигот ($BBVV \times bbvv$) і отримав одноманітних нащадків ($BbVv$) — сірих з нормальними крилами.

Далі провів аналізуюче схрещування (з гомозиготами за рецесивними ознаками) і отримав неочікуваний результат (мал. 27.5).



Мал. 27.5. Результати схрещування дрозофіл ♀ $BbVv \times \text{♂ } bbvv$

83 % нащадків були схожі на батьків (41,5 % мали материнський фенотип, 41,5 % — батьківський), а 17 % виявилися рекомбінантами (мали інші комбінації батьківських ознак). При повторенні експериментів результати щоразу були подібними. Проте для інших ознак частка рекомбінантів була іншою. Т. Морган пояснив рекомбінацію генів кросинговером — обміном ділянками між гомологічними хромосомами під час мейозу. Саме тоді комбінації генів у хромосомах можуть змінюватися.

Так з'ясували, що частота кросинговеру зазвичай постійна для кожної конкретної пари генів. І що більша відстань між генами на хромосомі, то частіше відбувається кросинговер.

На підставі багатьох досліджень було запропоновано хромосомну теорію спадковості, яка стверджує, що гени у хромосомах розміщено у лінійному порядку. Гени, локалізовані в одній хромосомі, утворюють групу зчеплення і успадковуються зчеплено. Проте зчеплення може порушуватися внаслідок кросинговеру.

Частота кросинговеру є мірою відстані між генами на хромосомі. Саме таким чином — у відсотках кросинговеру — будували генетичні карти хромосом (*переглянь приклади карт в е-додатку (завдання 27.2)*). Одиницею виміру є сантиморган, що відповідає відстані, яка забезпечує частоту кросинговеру в 1 %. У прикладі на малюнку 27.5 частота кросинговеру становить $8,5 + 8,5 = 17\%$, що відповідає відстані між генами у 17 сантиморганів.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

За неповного домінування у гетерозигот спостерігається проміжний характер ознаки. Кодомінування — тип взаємодії алельних генів, за якого кожен алель дає свій білковий продукт. Деякі гени можуть існувати в трьох і більше алелях. Гени розміщуються у хромосомах у лінійному порядку. Гени однієї хромосоми утворюють групу зчеплення. Чим ближче розміщені гени, тим тісніше вони зчеплені.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Алель хвилястого волосся (*B*) неповністю домінує над алелем прямого волосся (*b*). В обох батьків хвилясте волосся (*Bb*). Яке волосся може бути у їхніх дітей?
2. Скільки алелей у гена, що визначає групи крові (система АВ0)? Які з них кодомінантні?
3. Скільки існує фенотипів і генотипів груп крові? Запиши в зошиті гетерозиготні і гомозиготні генотипи.
4. Як можуть розміщуватися у хромосомах дві пари неалельних генів? Зобрази схематично.
5. Поясни, як будують генетичні карти хромосом. Виконай в е-додатку завдання 27.2.
6. Гени *A* (*a*) і *B* (*b*) розміщені в одній хромосомі на відстані 20 сантиморганів. Які типи гамет і в якому співвідношенні утворює генотип *AB/ab*?

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 28 Генетика статі. Успадкування ознак, зчеплених зі статтю

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

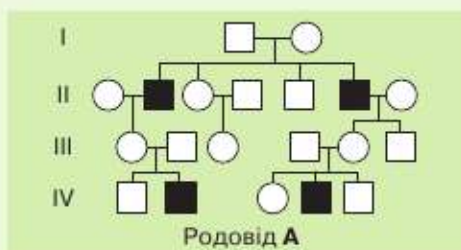
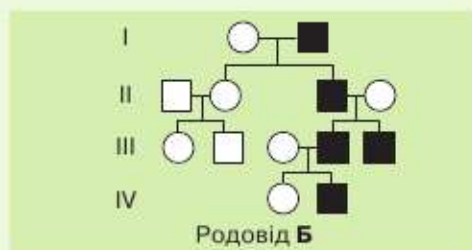


Якщо кошеня має черепахове забарвлення, можна бути упевненим, що це кішечка, а не кіт. Коти з таким забарвленням трапляються дуже рідко. Чому так?



ТРЕН УЙСЯ Д УМАТИ

- 1** На малюнку 28.1 зображено успадкування двох різних ознак. Серед індивідів у зображених родовах обидві ознаки проявилися лише у чоловіків. Чи можуть трапитися жінки з ознаками, позначеними на родовах **А** і **Б**? Поясни, як успадковуються ці ознаки і чому їх називають зчепленими зі статтю.



Мал. 28.1. Генеалогічні схеми успадкування ознак (А і Б)

- 2** У мишей в Х-хромосомі виявили ген F , рецесивний алель якого (f) є летальним, і в гомозиготному стані призводить до загибелі ембріонів на ранніх етапах. Визнач співвідношення в F_2 за статтю, якщо самиця — гетерозиготна? Поміркуй, чому в умові не вказано генотип самця.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

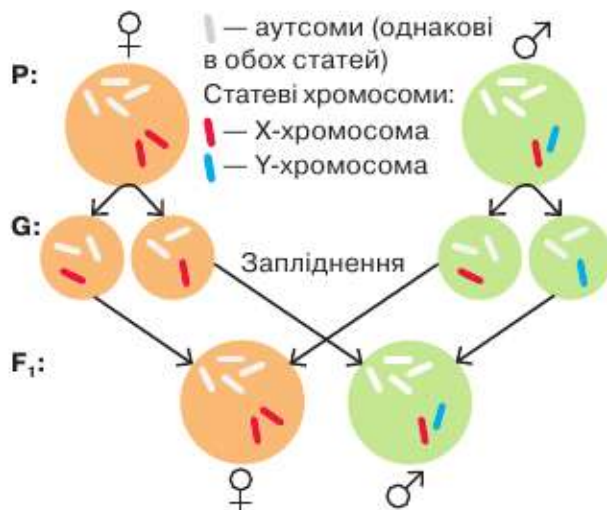
Для роздільностатевих організмів (більшості тварин, однодомних рослин) існує кілька способів визначення статі. У деяких безхребетних (коловерток, попелиць, черва бонелії) стать визначається до запліднення і залежить від розмірів яйцеклітини або від місця, куди вона потрапила. У деяких видів черепах, крокодилів стать визначається

після запліднення і залежить від температури середовища, що впливає на експресію генів, які визначають стать.

У більшості роздільностатевих організмів стать визначається під час запліднення. У людини та інших ссавців самиці мають дві Х-хромосоми, а у самців — різні статеві хромосоми Х та Y (мал. 28.2). Тому жіноча стать є гомогаметною (усі яйцеклітини містять лише Х-хромосому), а чоловіча — гетерогаметною (половина сперматозоїдів містять Х-хромосому, половина — Y). Стать дитини залежить від того, який сперматозоїд (з Х чи Y-хромосомою) запліднить яйцеклітину.

У птахів, метеликів, деяких риб і ракоподібних жіноча стать є гетерогаметною. Для чіткого розрізнення такого варіанту визначення статі хромосоми самців позначають ZZ, а самиць — ZW (мал. 28.3).

Для кращого розуміння цього механізму пограй у гру «Генетика голубів» на ресурсі *Learn.Genetics* (завдання 28.1 в **е-додатку**).



Мал. 28.2. Хромосомне визначення статі (система XY)

Стать	XY система (ссавці, дрозофіла)	ZW система (птахи, метелики)	X0 система (сарана, клопи)	Гапло / диплоїдна система (бджоли)
Самці	XY 44A + XY	ZZ 76A + ZZ	X0 22 + X	n 16
Самиці	XX 44A + XX	ZW 76A + ZZ'	XX 22 + XX	2n 32

Мал. 28.3. Системи визначення статі

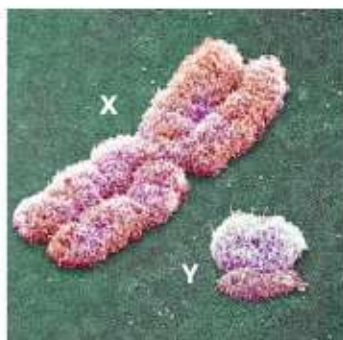
У деяких комах є лише один вид статевих хромосом. Такий варіант називають системою X0: самці мають лише одну Х-хромосому і утворюють половину гамет з Х-хромосомою, а половину — безстатевих хромосом.

Особливий варіант визначення статі у бджіл та інших комах ряду Перетинчастокрилі. Самці розвиваються з незапліднених яйцеклітин шляхом партеногенезу. Відповідно, мають гаплоїдний

набір хромосом (n). Самиці — із запліднених яйцеклітин, є диплоїдними ($2n$).

Дехто помилково вважає, що Y-хромосоми людини властива форма літери Y. Насправді на початку мітозу кожна хромосома складається з двох хроматид і нагадує за формою літеру X (мал. 28.4).

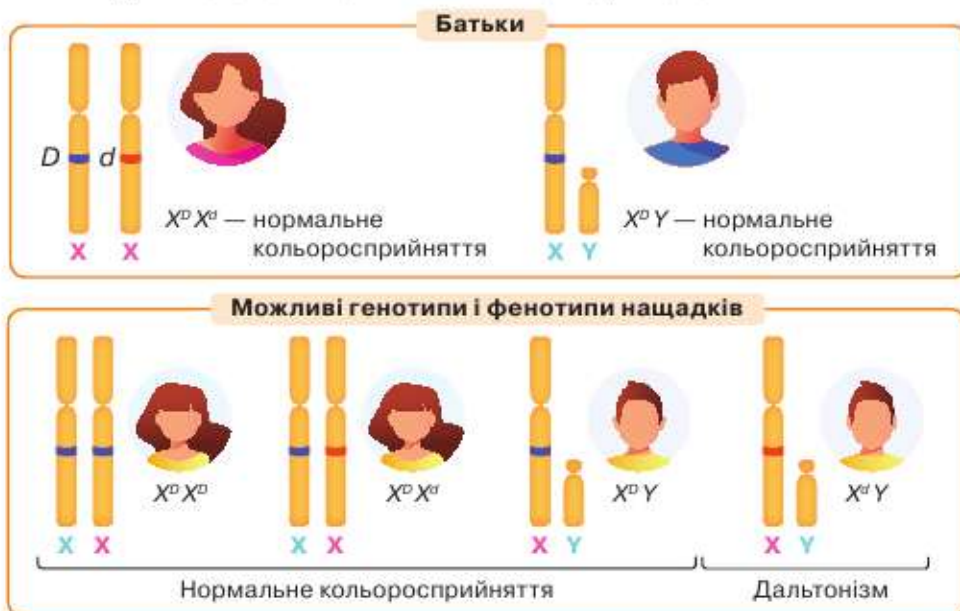
Мал. 28.4. X- та Y-хромосоми людини під час мітозу (кожна представлена двома хроматидами)



Статеві хромосоми відрізняються набором генів. Наприклад, Y-хромосома несе ген **SRY**, який кодує білок, що запускає розвиток ембріона за чоловічим типом. X-хромосома несе багато генів, зокрема ген, який кодує один із факторів зсідання крові; ген, що визначає здатність сприймати зелений і червоний кольори. Рецесивні алелі цих генів, відповідно, визначають гемофілію (незсідання крові) і дальтонізм (часткову відсутність кольоросприйняття). Ці гени успадковуються разом з X-хромосомою (мал. 28.5).

$D(d)$ — X-зчеплений ген

D — нормальне кольоросприйняття
 d — дальтонізм



Мал. 28.5. X-зчепене успадкування

Гени, локалізовані в Y-хромосомі, передаються лише безпосередньо від батька до сина, причому усі сини успадковують цю ознаку. А от X-зчеплені ознаки син отримує від матері. Зверни увагу, що особи чоловічої статі зазвичай не можуть бути гетерозиготними за генами X-хромосоми.

Дізнайся більше про ознаки, зчеплені зі статтю в **е-додатку** (завдання 28.2).

Пройди в **е-додатку** тест (завдання 28.3) і перевір свої знання з теми.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Визначення статі організму може відбуватися до запліднення (деякі безхребетні), після запліднення (деякі крокодили, черепахи), під час запліднення. Розрізняють кілька систем хромосомного визначення статі. У ссавців, дрозоділи стать визначається за системою XY (самці — XY, самиці — XX); у птахів, метеликів — ZW (самці — ZZ, самиці — ZW); у прямокрилих, тарганів, клопів — XO (самці — XO, самиці — XX). У бджіл та перетинчастокрилих стать визначається кількістю наборів хромосом (самці — n , самиці — $2n$). Ознаки, що кодуються генами статевих хромосом, називають зчепленими зі статтю.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Як і коли може визначатися стать організму?
2. Поясни, чому співвідношення самиць і самців при народженні зазвичай становить 1 : 1 (скористайся мал. 28.2, с. 125).
3. Склади схеми утворення гамет і запліднення для систем ZW і XO (орієнтуйся на мал. 28.2 і 28.3, с. 125).
4. У якому з варіантів механізмів визначення статі співвідношення серед нащадків відмінне від 1 : 1? Обґрунтуй свої міркування.
5. Чи може чоловік з дальтонізмом передати цю ознаку сину? Онуку А (сину свого сина)? Онуку Б (сину своєї доньки)? Обґрунтуй.
6. Які ознаки називають зчепленими зі статтю? В чому відмінність успадкування ознак, гени яких локалізовані в X-хромосомі і в Y-хромосомі? (Скористайся мал. 28.1, с. 124.)

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

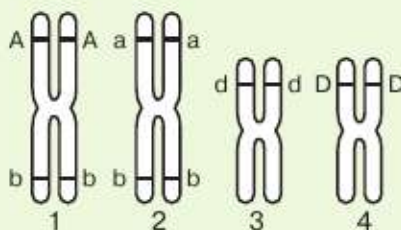


У 1952 році в Індії виявили «бомбейський феномен», за якого кров деяких людей мала особливі властивості. Виявилося, що деякі жінки з групою крові 0 (I), можуть народити дитину з групою крові АВ (IV). Деякі чоловіки з групою крові 0 (I) можуть мати власну дитину з групою АВ (IV), якщо у цих чоловіків «бомбейська кров». Поміркуй, як таке може трапитися.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** На малюнку 29.1 хромосоми позначено цифрами, а гени — буквами. Які хромосоми гомологічні? За якими генами зображений генотип гомозиготний? Гетерозиготний? Наведи приклади пар алельних і неалельних генів для цього генотипу. Які із зображених генів зчеплені? Які типи гамет може утворювати зображений генотип? Яких даних на схемі не вистачає, щоб точно визначити співвідношення типів гамет?



Мал. 29.1. Хромосоми і деякі гени, що в них локалізовані

- 2** У папуг (мал. 29.2) домінуючий алель гена *A* кодує синтез жовтого пігменту пір'я, рецесивний алель *a* не кодує пігментів. Домінуючий алель гена *B* визначає особливу структуру пір'їн, що призводить до специфічного заломлення світла і формування блакитного забарвлення (за генотипів *aaBB*, *aaBb*). В процесі комплементарної взаємодії домінуючих алелів генів *A* і *B* пір'я набуває зеленого забарвлення. Папуги з генотипом *aabb* — білі.
- Під час схрещування гетерозиготних особин із жовтим пір'ям з блакитно-перими гетерозиготами отримали 40 папуг.
- Скільки (теоретично) серед них білих?



Мал. 29.2. Різнокольорові папуги

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Алельні гени розміщено в однакових локусах гомологічних хромосом і зазвичай впливають на формування різних проявів однієї ознаки. Пригадай приклади видів взаємодії алельних генів (див. таблицю).

Найпоширеніші види взаємодії генів	
алельних	неалельних
<ul style="list-style-type: none"> повне домінування неповне домінування кодомування 	<ul style="list-style-type: none"> комплементарність епістаз (домінантний і рецесивний) полімерія (кумулятивна і некумулятивна)

Виявилося, що різні прояви тієї самої ознаки можуть визначатися не однією парою генів (згідно із законами Менделя), а кількома. Тож неалельні гени, точніше їх продукти, взаємодіють, впливаючи на формування однієї ознаки. Наприклад, у гарбуза гени A і B разом визначають три можливі варіанти форми плоду (мал. 29.3). Домінантні алелі A і B кодуєть різні молекули-регулятори, що стимулюють розростання плоду в ширину. Наявність у генотипі двох домінантних алелів визначає дископодібну форму плоду, одного — сферичну. Таку взаємодію неалельних генів називають *комплементарністю*. (На малюнку 29.3 використано запис із фенотиповими радикалами: генотипи $AaBb$, $AABb$, $AaBB$, $AABB$ мають однаковий фенотип, тож їх об'єднують записом $A_B_$.)

Визнач, яке співвідношення гарбузів за фенотипом отримують під час схрещування дигетерозигот (виконай в **е**-додатку завдання 29.1).

Трапляється, що певне поєднання однієї пари генів пригнічує прояв іншого гена. Наприклад, у собак домінантний алель B забезпечує чорне забарвлення, а рецесивний b — коричневе. Проте домінантний алель іншого гена I блокує синтез фермента, без якого неможливе утворення будь-якого пігменту. Тож собаки з генотипами $BbII$ чи $bbII$ мають світле хутро. Таку взаємодію генів називають *епістазом*.

Батьки (P)

 $AAbb$ $aaBB$

Сферична Сферична

Гібрид (F_1) $AaBb$

Дископодібна

Гібриди (F_2) $A-B-$

Дископодібна

 $A-bb$ і $aaB-$

Сферична

 $aabb$

Видовжена

Мал. 29.3. Комплементарна взаємодія генів у гарбуза

Епістатичним виявився рецесивний алель h , який у гомозиготному стані (hh) визначає «бомбейський феномен». В Індії під час популяційних досліджень виявили людей, котрі не мали антигенів A і B , проте переливання крові першої (0) групи спричиняло важку гемотрансфузійну реакцію. Виявилося, що генотип hh блокує синтез молекули антигена H — своєрідного попередника антигенів A і B . Тож наявні в генотипі гени I^A та I^B не проявляються, антигени не синтезуються.

Більше про «бомбейську кров» дізнайся в **Е-додатку** (завдання 29.2).

Ще один приклад взаємодії генів — полімерія. За неї ознака формується в результаті дії кількох неалельних генів з однаковим впливом на ознаку. Сумарний ефект може залежати від кількості домінантних алелів взаємодіючих генів (кумулятивна полімерія).

У разі полімерії взаємодіючі гени зазвичай позначають однією буквою, різні гени — індексом — $A_1a_1A_2a_2A_3a_3\dots$). Що більше домінантних алелів у генотипі, то сильнішим є прояв ознаки (мал. 29.4).

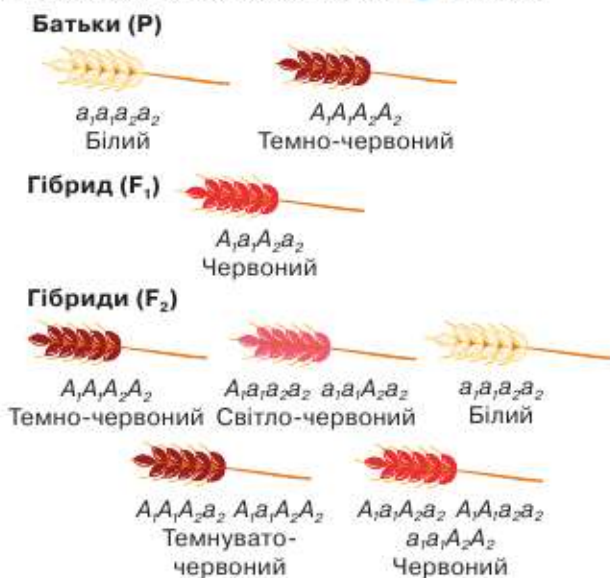
Так успадковується колір шкіри, зріст та багато кількісних ознак у людини. Більше про цей вид взаємодії генів дізнайся в **Е-додатку** (завдання 29.3).

Один ген може визначати не одну, а кілька ознак. Таке явище називають *множинною дією гена*, або *плейотропією*.

Наприклад, рецесивний алель гена TYR унеможливорює синтез ферменту, що каталізує утворення меланіну. В результаті гомозиготи є альбіносами, і їхнє волосся, шкіра, райдужна оболонка не містять меланіну. Так один ген впливає на формування кількох ознак.

Відомим прикладом плейотропії є синдром Марфана. Виявлено численні мутації гена, що кодує білок фібрилін — важливий компонент сполучної тканини. Дефектний алель гена має широкий вплив на різні органи — скелет, серце, легені, очі, судини.

У курей ген коротконогості одночасно спричиняє вкорочення дзьоба. Цей ген неповністю домінує над геном нормальної довжини ніг.



Мал. 29.4. Полімерна взаємодія генів у пшениці

Гомозиготи гинуть ще в ембріональному періоді, тому цей ген має також летальний ефект. *Летальними* називають алелі, прояв яких у фенотипі призводить до смерті на ранніх стадіях розвитку.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

У багатьох випадках спостерігається взаємодія алелів різних генів. Прикладами такої взаємодії є комплементарність (два або більше домінують неалельних генів створюють новий прояв ознаки), епістаз (прояв однієї пари генів пригнічується іншим неалельним геном), полімерія (кілька неалельних генів впливають на ступінь прояву однієї ознаки). Також нерідко спостерігається явище плейотропії (множинної дії гена), за якого один ген визначає не одну, а кілька ознак.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Наведи приклади ознак, що відповідають кожному з типів успадкування, зображених на малюнку 29.5.



Мал. 29.5. Кілька варіантів визначення ознак: **1** — моногенне; **2** — полігенне; **3** — множинна (плейотропна) дія гена

2. Чотири варіанти забарвлення у папуг визначаються двома парами генів. Яким буде співвідношення нащадків за фенотипом під час схрещування дигетерозигот? Скористайся інформацією на с. 128 (рубрика «Тренуйся думати», завдання 2).
3. Відшукай у параграфі приклади домінують і рецесивного епістазу.
4. Чим полімерія відрізняється від інших типів взаємодії генів?
5. Висота рослин певного виду визначається трьома парами генів. Рослини з генотипом $A_1A_1A_2A_2A_3A_3$ мають середню висоту 200 см, а рослини з генотипом $a_1a_1a_2a_2a_3a_3$ — 140 см. Яку висоту можна очікувати у рослин з генотипом $A_1A_1A_2a_2A_3a_3$? А з генотипом $A_1A_1A_2a_2a_3a_3$?
6. Наведи приклади множинної (плейотропної) дії гена.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 30

Цитоплазматична спадковість. Регуляція активності генів

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

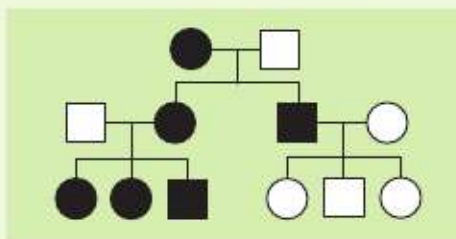


Чи однакову кількість генів отримує нащадок від батьківського і материнського організму? Проаналізуйте причини можливих відмінностей.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- Які особливості успадкування ознаки Х у родоводі (мал. 30.1)? Запропонуйте можливі механізми успадкування такої ознаки.



Мал. 30.1. Родовід успадкування ознаки Х

- У багатьох дорослих людей спостерігається непереносимість лактози, що зазвичай пов'язано з нестачею ферменту лактази. Проте у дитинстві вони нормально переносили молоко. Поміркуйте, чи може це бути наслідком мутацій структурного гена фермента лактази. Запропонуйте різні варіанти можливих причин таких змін.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

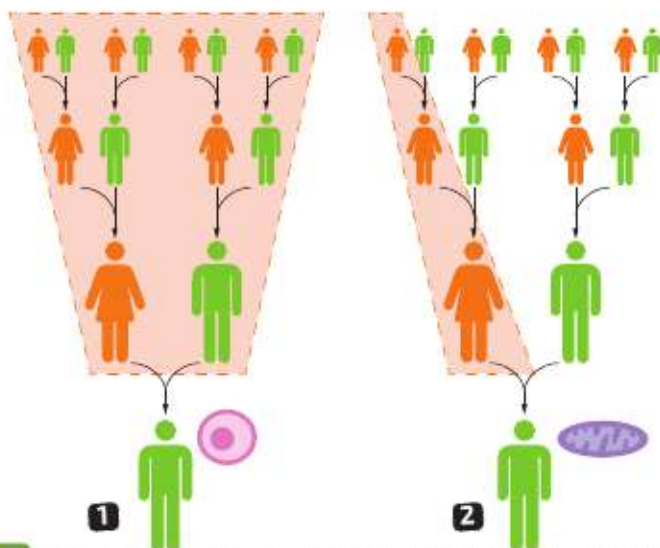
До складу геному людини та інших еукаріотів входить не лише ядерна (хромосомна) ДНК, а й ДНК двомембранних органел. За теорією симбіогенезу їхніми предками були ціанобактерії і давні аеробні прокаріоти, клітини яких містили ДНК безпосередньо в цитоплазмі. Тож у стромі хлоропластів і матриксі мітохондрій збереглася ДНК їхніх попередників. Пластиди і мітохондрії разом з їхнім спадковим матеріалом нащадки зазвичай отримують від материнського організму через яйцеклітину. Це унеможливорює існування в одному організмі пластид або мітохондрій з різною ДНК.

Гени мітохондрій і пластид кодують певні білки, пов'язані з процесами, що в них відбуваються (фотосинтезом та аеробним етапом дихання). У таблиці зазначено основні відмінності ядерної та мітохондріальної частин геному людини.

Ознака	Ядерний геном	Мітохондріальний геном
Форма ДНК	Лінійна	Кільцева
Розмір геному	≈3,2 млрд пар нуклеотидів	≈16 569 пар нуклеотидів
Кількість генів	~20 000–25 000 генів	37 генів
Типи генів	Кодують більшість білків організму	Кодують білки дихального ланцюга, тРНК і рРНК мітохондрій
Успадкування	Від обох батьків	Лише від матері

Мітохондріальна ДНК (мтДНК) передається лише від матері до усіх її нащадків (мал. 30.2).

Більше про мтДНК дізнайся в [e-додатку](#) (завдання 30.1).



Мал. 30.2. Успадкування ядерної (1) і мітохондріальної (2) ДНК

Цитоплазматична (позаядерна) спадковість пов'язана не лише з ДНК мітохондрій і пластид, а й із цитоплазматичним ефектом яйцеклітини. Саме в ній перед заплідненням міститься велика кількість мРНК і білків, що можуть визначати певні ознаки.

Наприклад, у червоногих молюсків напрямок закручення мушлі визначається двома алелями гена: *D* визначає напрямок праворуч,

d — ліворуч. Ще до запліднення у яйцеклітині материнського організму з генотипом dd синтезувалися відповідні мРНК і білки. Якщо сперматозоїд принесе алель D до такої яйцеклітини, мушля буде закручена ліворуч. Проте нащадки молюска з генотипом Dd , що утворяться з яйцеклітин, матимуть правозакручені мушлі, незалежно який алель вони нестимуть — D чи d .

Клітини організму мають ідентичний геном, проте експресія генів суттєво відрізняється в різних типах клітин.

Зміну експресії генів досліджує епігенетика. На відміну від генетичних змін (мутацій), епігенетичні модифікації не змінюють послідовність ДНК і є потенційно оборотними.

На рівень експресії впливають компактизація хроматину, метилювання ДНК (нуклеотидів із цитозином) та ацетилювання гістонів (білків, на які «намотано» ДНК). Для розуміння, як це відбувається, попрацюй із симуляцією в **е-додатку** (завдання 30.2).

Тобі уже відомо, що транскрипційні фактори та інші регуляторні чинники можуть «вмикати» або «вимикати» гени. Завдяки цьому клі-

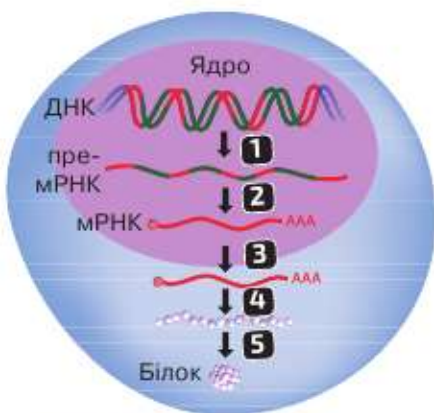
тина / організм пристосовуються до змін середовища. Наприклад, гормон інсулін може стимулювати експресію гена мембранного каналу для поглинання глюкози з крові, гормон вазопресин — білка аквапорину, що забезпечує реабсорбцію води.

В процесі онтогенезу змінюється активність генів. Наприклад, в ембріональному періоді активні гени плодового гемоглобіну (краще поглинає кисень в умовах його низького вмісту в утробі). Після народження ці гени поступово «вимикаються», натомість «вмикаються» гени «дорослого» гемоглобіну.

Регуляція активності геному відбувається не лише на етапі транскрипції (1), а й сплайсингу (2), переміщення мРНК в ядро (3), на етапі трансляції (4) і дозрівання (5) молекули білка (мал. 30.3).

Досліди посттранскрипційну регуляцію експресії генів за симуляціями в **е-додатку** (завдання 30.3).

Регуляція експресії генів у прокаріотів та еукаріотів відрізняється. Про оперонну регуляцію геному в прокаріотів дізнайся в **е-додатку** (завдання 30.4).



Мал. 30.3. Регуляція активності генів у клітині

Нові дослідження в галузі епігенетики відкривають перспективи в лікуванні і профілактиці хвороб. Доведено, що харчування, уміст фолієвої кислоти (яка необхідна для метилювання ДНК), стресові чинники, токсичні речовини суттєво змінюють епігенетичний «візерунок». Епігенетичні зміни можуть призводити до онкологічних хвороб, вони супроводжують старіння. *Дізнайся більше про вплив способу життя на епігеном (виконай в е-додатку завдання 30.5).*

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Цитоплазматична (позаядерна) спадковість визначається ДНК мітохондрій і пластид, що успадковується лише по материнській лінії. Епігенетичні зміни визначаються не послідовністю нуклеотидів в ДНК, а зміною регуляції експресії. Регуляція активності генів здійснюється на етапах транскрипції, сплайсингу, трансляції тощо і забезпечує пристосування до умов середовища. На епігеном впливають харчування, стрес, стан довкілля та інші чинники.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. У кого з родичів однакова мітохондріальна ДНК: а) у чоловіка і дружини; б) у матері та її синів; в) у батька та його синів; г) в онука і бабусі (матері його матері); д) в онучки і бабусі (матері її батька)?
2. Поміркуй, які переваги і недоліки ДНК-ідентифікації за мітохондріальною ДНК та як її використовують у криміналістиці.
3. У рослин одного виду спостерігають два варіанти забарвлення листя: А — з білими смугами, Б — суцільне зелене. Якщо рослини А запили пилком рослин Б, у нащадків листки мають білі смуги. Якщо рослини Б запилюють пилком А, отримують рослин із суцільним зеленим листям. Поясни механізм успадкування.
4. Що досліджує епігенетика? В чому відмінність між генетичними і епігенетичними змінами?
5. Опрацюй інформацію про вплив харчування та способу життя на епігеном. Виконай в е-додатку завдання 30.6.
6. За малюнком 30.3 поясни, на яких етапах реалізації спадкової інформації може відбуватися регуляція активності генів.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Дві подруги взяли живці з одного улюбленого куща гортензій і висадили їх у різних місцях поруч зі своїми помешканнями. Коли гортензії зацвіли, виявилось що одні квітки мали рожеве забарвлення, а інші — синє. Як таке могло трапитися? Запропонуй можливі причини такої мінливості.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

1 У деяких морських слимаків (*Elysia chlorotica*) (мал. 31.1) спостерігається явище клептопластії — вони поїдають водорості й зберігають їхні хлоропласти у своїх клітинах, набуваючи зеленого забарвлення. Який це тип мінливості? Чи можна її назвати спадковою? Які переваги надає така ознака порівняно з організмами, які її не мають?



2 Під час мейозу кожна пара гомологічних хромосом розходиться незалежно від інших; тож у кожную гамету потрапляє одна хромосома з пари. Якщо таких пар дві ($n = 2$), кількість варіантів — чотири. Скільки варіантів може утворитися, якщо $n = 3$? Якщо $n = 23$? (Можеш скористатися формулою $N = 2^n$.) А скільки можливих варіантів поєднання гамет однієї пари організмів під час запліднення, якщо $n = 3$? Якщо $n = 23$?

Мал. 31.1. *Elysia chlorotica*

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Живі організми ніколи не бувають абсолютно однаковими — навіть монозиготні близнюки мають незначні відмінності, що виникають у процесі розвитку. Тож усьому живому притаманна мінливість — здатність організмів набувати нових ознак, змінювати або втрачати попередні.

Жити в одноманітному світі, мабуть, було б сумно. Саме різноманітність є надважливою для дії природного добору, що сприяє збереженню пристосованих до конкретних умов форм організмів.

Мінливість поділяють на спадкову (генотипну) і неспадкову (фенотипну) (мал. 31.2).



Мал. 31.2. Форми мінливості

Фенотипна мінливість зазвичай спричинена впливом умов існування, не супроводжується змінами генотипу. Таку мінливість називають модифікаційною. Чарльз Дарвін називав її визначеною, груповою, позаяк вона проявляється подібним чином у переважній більшості особин виду за дії однакових умов. Наприклад, за достатнього вмісту в ґрунті Магнію, Феруму, Купруму листки рослин мають зелене забарвлення (сприятливі умови для синтезу хлорофілу). За нестачі цих елементів розвивається хлороз — листя жовтіє, продуктивність фотосинтезу суттєво знижується.

Фенотипна мінливість може проявлятися навіть у межах однієї рослини: листки стрілиці (стрілолиста), занурені у воду, мають лінійну форму; ті, що лежать на поверхні води, — серцеподібну; а на надводних пагонах — стрілоподібну. *Поміркуй, як це пов'язано з умовами зростання листків (виконай в е-додатку завдання 31.1).*

У людей внаслідок активних фізичних тренувань збільшується м'язова маса. І навпаки, відсутність тренувань (наприклад після переломів) призводять до зменшення об'єму м'язів. Такі зміни відбуваються у всіх людей, якщо змінюється спосіб життя. Тож у багатьох випадках фенотипні зміни мають оборотний характер. Зрозуміло, що розвиток м'язів батьків не може успадковуватися наступним поколінням, а лише формуватися впродовж життя.

Генотипну мінливість спричинено змінами генотипу, які можуть успадковуватися. Її матеріалом є мутації — раптові зміни генотипу, які можуть бути спонтанними (природними) або індукованими (штучними).

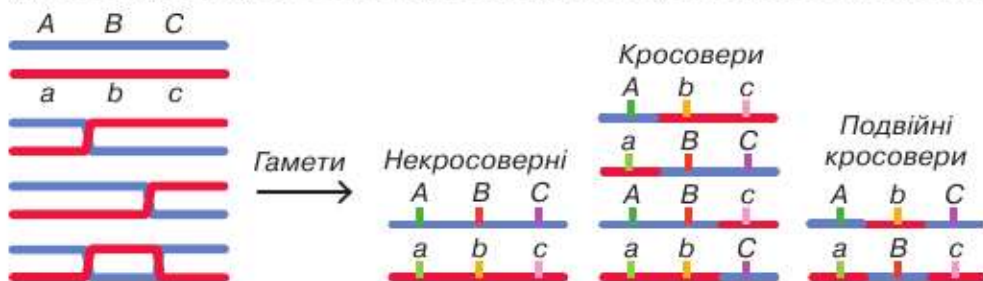
Геномні мутації змінюють кількість хромосом, але частіше трапляються генні (точкові), що змінюють послідовність нуклеотидів у генах. *(Більше про мутації ти дізнаєшся у наступному параграфі.)*

Мутації утворили різноманітні алелі генів, комбінації яких визначають різноманітність організмів у популяціях.

За статевого розмноження нащадки отримують унікальну комбінацію батьківських генів і не є копією батьків. Цю мінливість

називають комбінативною. Її причини пов'язані як із гаметогенезом (утворенням гамет), так і з процесом запліднення.

У профазі I мейозу гомологічні хромосоми кон'югують, і між ними може відбуватися кросингвер — обмін ділянками хромосом (мал. 31.3). Тож у гамету можуть потрапляти різні комбінації алелів.



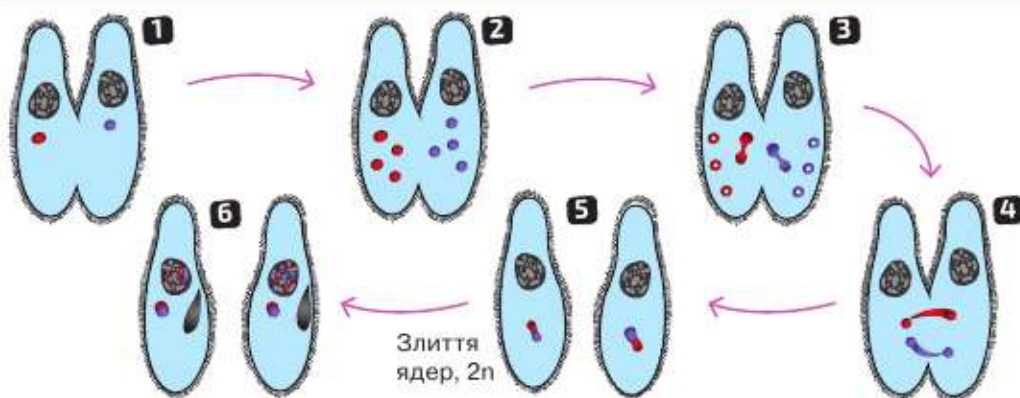
Мал. 31.3. Кросингвер на ділянці хромосоми з трьома генами та можливі варіанти гамет

Ще одне джерело комбінативної мінливості — випадкове розходження гомологічних хромосом в анафазі I мейозу. Це випадкове комбінювання створює величезну можливість варіантів. Наприклад, для дрозофіли, де $n = 4$ (кількість хромосом у гаметі), кількість можливих комбінацій становить 2^4 , тобто 16. Таким чином, одна самиця може утворити 16 варіантів яйцеклітин, і стільки ж варіантів сперматозоїдів може утворити самець. Отже, у процесі запліднення можливі 256 варіантів поєднання хромосом для однієї пари дрозофіл (і це без урахування кросингверу).

У людини така варіативність значно більша, позаяк $n = 23$. Тож випадковість злиття гамет — ще одне джерело комбінативної мінливості в процесі статевого розмноження.

Чи є комбінативна мінливість в організмів, які розмножуються нестатеві? У прокаріотів, інфузорій, деяких водоростей може відбуватися кон'югація — зближення організмів з обміном або односторонньою передачею спадкового матеріалу (мал. 31.4).

У такий спосіб бактерії можуть передавати плазміді з важливими генами, наприклад, стійкості до антибіотиків. Плазміда реплікується, і її копія через цитоплазматичний місточок надходить в іншу бактерію. Інфузорії в ході кон'югації зближуються (1), відбувається мейоз малих ядер (2). З чотирьох ядер лишається одне, що ділиться мітотично (3). Утворені ядра мігрують в сусідню клітину (4). Після злиття ядер (5, 6) відновлюється диплоїдний набір хромосом. Попри те, що розмноження не відбувається, формується генетична різноманітність особин, що сприяє природному добору в популяціях.



Мал. 31.4. Кон'югація у інфузорій

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Мінливість — здатність організмів набувати нових ознак або втрачати чи змінювати попередні. Розрізняють неспадкову (фенотипну, модифікаційну) і спадкову (генотипну) мінливість. Неспадкова мінливість зазвичай спричинена дією умов довкілля. Спадкову мінливість поділяють на мутаційну та комбінативну. Джерела комбінативної мінливості під час статевого розмноження: кросинговер, незалежне розходження гомологічних хромосом у мейозі, випадкове злиття гамет в процесі запліднення.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Поясни різницю між фенотипною і генотипною мінливістю.
2. Наведи приклади фенотипної мінливості у рослин, тварин, людини. Визнач, якими чинниками зумовлена мінливість.
3. Наведи приклади генотипної мінливості у різних організмів.
4. Поясни джерела комбінативної мінливості.
5. Змодельуй (на паперових хромосомах) джерела комбінативної мінливості при утворенні гамет в організмі, якщо $n = 2$.
6. STEM-проект. Самостійно змодельуй формування генотипово різних нащадків однієї пари голубів, за допомогою ресурсу Learn.Genetics. Виконай в [e-додатку](#) завдання 31.2.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 32 Види мутацій. Мутагени

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



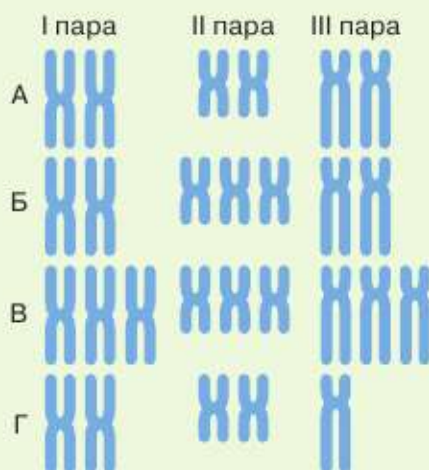
Мутації є змінами геному. Поміркуй, які мутації і за яких умов не успадковуються нащадками. Запропонуй якомога більше прикладів і аргументуй кожен із них.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

1 На малюнку 32.1 зображено каріотипи чотирьох гіпотетичних організмів (А–Г) одного виду. Якою літерою позначено вихідний варіант? Який каріотип утворився внаслідок поліплоїдії? Анеуплоїдії (зокрема, трисомії і моносомії)?

2 Яка з точкових мутацій гена — заміна чи випадіння нуклеотиду — може більше вплинути на зміну амінокислотного складу білка, кодованого цим геном? Відповідь обґрунтуй. Можеш скористатися симуляцією на LearnGenetics (виконай в [е-додатку](#) завдання 32.1).



Мал. 32.1. Кількість хромосом у гіпотетичних каріотипах А–Г

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Мутації — незапрограмовані, раптові зміни геному. Вони є стабільними, позаяк вони залишаються в геномі практично назавжди, не є оборотними. Мутації можуть виникати в будь-яких клітинах організму і навіть притаманні неклітинним формам життя — вірусам.

Хоча більшість мутацій є шкідливими, саме вони є основним джерелом матеріалу для еволюції. Дарвін називав цю форму мінливості невизначеною, індивідуальною. Адже поява конкретної мутації не визначається і не спрямовується змінами довкілля.

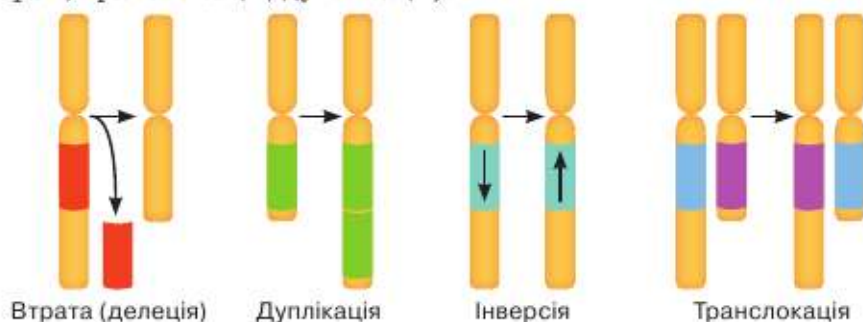
Залежно від масштабу змін генетичного матеріалу розрізняють геномні, хромосомні та генні мутації.

Геномні мутації	Хромосомні мутації	Генні (точкові) мутації
Зміна кількості хромосом: • поліплоїдія — зміна кількості наборів хромосом; • анеуплоїдія — зміна кількості гомологічних хромосом (+1; -1 тощо)	Масштабні перебудови окремих хромосом: • делеція (втрата ділянки); • інверсія (розворот); • транспозиція (переміщення в межах хромосоми); • транслокація (переміщення між хромосомами)	Зміни послідовності кількох нуклеотидів в ДНК: • заміна нуклеотида / нуклеотидів; • випадіння нуклеотида / нуклеотидів; • вставлення нуклеотида / нуклеотидів

Наймасштабнішими є геномні мутації. Поліплоїдія — зміна кількості хромосом, кратна гаплоїдній. Так, триплоїдні клітини містять три гаплоїдних набори, тетраплоїдні — чотири. Поліплоїдія часто виникає і зберігається у рослин, веде до збільшення вегетативної маси та розвитку стійкості до несприятливих умов. Розповсюдженість поліплоїдних форм у рослин пов'язана з тим, що для них характерне вегетативне розмноження та самозапилення. Саме на поліплоїдній формі рослини енотери Гуго де Фриз вперше задокументував мутацію як зміну генотипу. Поліплоїдні форми тварин зазвичай нежиттєздатні через порушення механізмів визначення статі.

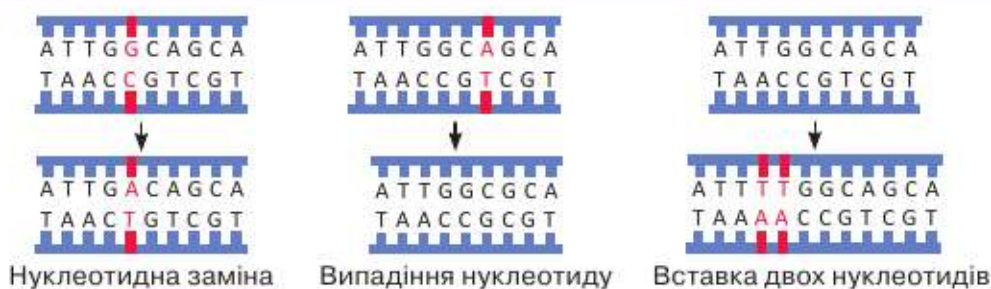
У людини виявлено випадки анеуплоїдії: у такому разі збільшується або зменшується кількість хромосом певної пари. Наприклад, трисомія за 21-ою хромосомою спричинює синдром Дауна. Трапляються порушення кількості статевих хромосом.

З видами хромосомних мутацій ознайомся на малюнку 32.2. Деякі хромосомні мутації можуть не викликати змін фенотипу (як-от деякі інверсії, транслокації, дуплікації).



Мал. 32.2. Основні типи хромосомних перебудов

Генні мутації трапляються найчастіше. Можуть відбуватися заміни, випадіння або вставки нуклеотидів (мал. 32.3, с. 142). Зміни в послідовності нуклеотидів в гені можуть призвести до порушення або втрати функцій білка, що кодується цим геном.



Мал. 32.3. Основні види генних (точкових) мутацій

Змоделюй можливий вплив генних мутацій на просторову структуру білка (виконай в **е-додатку** завдання 32.2).

Залежно від локалізації мутацій їх поділяють на генеративні і соматичні.

Генеративні мутації	Соматичні мутації
<ul style="list-style-type: none"> • Виникають у статевих клітинах або їх попередниках • Можуть успадковуватися нащадками під час статевого розмноження • Є матеріалом для підвищення біорізноманіття, для еволюції 	<ul style="list-style-type: none"> • Виникають у соматичних клітинах тіла • Не успадковуються нащадками під час статевого розмноження • Можуть призводити до злоякісних новоутворень

За впливом на життєздатність організмів мутації поділяють на нейтральні, шкідливі та корисні. Шкідливі часто мають летальний ефект: втрата або недієвість важливого білка може спричинити загибель ембріонів чи порушення ключових функцій організму.

Багато мутацій є нейтральними: вони зумовлюють певні варіації ознак, але не позначаються на виживанні. Прикладами таких варіантів є особливості зовнішності людини — форма мочки вуха, брів або підборіддя. Водночас деякі з них можуть виявитися значущими за зміни умов середовища та стати об'єктом природного добору.

Корисні мутації надають перевагу у життєздатності. Наприклад, ті, що сприяли формуванню світлішої шкіри у первісних євразійців, забезпечували інтенсивніший синтез вітаміну D в умовах помірних широт. Це, у свою чергу, допомагало запобігати рахіту в немовлят і матерів та підвищувало життєздатність популяції.

Мутація — це пошкодження у хімічній структурі молекули ДНК. Значна частина таких порушень виправляється системами репарації (ремонт ДНК, мал. 9.6, с. 42). Лише ті зміни, які залишаються у генетичному матеріалі після роботи цих механізмів і можуть передаватися нащадкам, вважаються справжніми спадковими змінами.

Різноманітні фактори, які спричиняють мутації, називають *мутагенами*. Серед них розрізняють такі, що є нормальними продуктами метаболізму клітини, і ті, що потрапляють іззовні. Штучне застосування мутагенних чинників називають індукованим мутагенезом.

Мутагени поділяють на фізичні (йонізуюче, ультрафіолетове випромінювання, вплив низьких і високих температур), хімічні (бензопірен тютюнового диму, ряд пестицидів, формальдегід, вільні радикали як продукти метаболізму) і біологічні (віруси, мобільні генетичні елементи).

Деякі віруси, як-от ВІЛ, вбудовують свою провірусну ДНК у геном Т-лімфоцитів людини. Причиною мутацій також можуть бути токсини, які виділяють бактерії та паразити, токсичні метаболіти й речовини, синтезовані організмом в процесі імунної відповіді.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Залежно від масштабу змін спадкового матеріалу мутації поділяють на генні (точкові), хромосомні, геномні. За впливом на функціонування організму вони можуть бути нейтральними, шкідливими або (дуже рідко) корисними. Генеративні мутації виникають у статевих клітинах, соматичні — у соматичних клітинах і не успадковуються нащадками. Мутагени — фактори, що спричиняють мутації, — бувають фізичні, хімічні і біологічні.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які мутації можуть впливати на окремий організм? Яке значення мутацій в еволюції?
2. У чому полягають відмінності між геномними і генними мутаціями?
3. Скористайся малюнком 32.2 (с. 141) і опиши деякі види хромосомних мутацій.
4. Які з мутацій — соматичні чи генеративні — відіграють важливішу роль в еволюції? Обґрунтуй.
5. Які типи мутацій (за масштабом) можна виявити цитологічними методами?
6. На основі додаткової інформації підготуй повідомлення про види мутагенів та їх вплив на організм людини.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 33 Модифікаційна мінливість

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Гуртківці досліджували врожайність одного сорту квасолі на ділянці. Зібрали насіння, визначили масу насінин: вона коливалася в межах від 0,2 г до 0,5 г. Юні дослідники відібрали з усіх отриманих насінин ті, що мали більшу масу — 0,4–0,5 г. Наступного року висіяли саме це насіння. Умови догляду були такими самими, як і минулого року. Спрогнозуй, якою буде маса насінин нового врожаю: в межах 0,4–0,5 г чи 0,2–0,5 г.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Якщо впродовж ранніх етапів вагітності жінка хворіла на краснуху, можливі ураження плоду, наприклад, порушене формування органа слуху, що може призвести до глухоти. Усе тому, що вірус краснухи здатен проникати до плоду і порушувати програму ембріонального розвитку. Чи успадковуватиметься глухота, спричинена вірусом, наступними поколіннями?
- 2 Науковці стверджують, що рівень стресу, спричиненого умовами догляду, впливає на експресію певних генів у лабораторних щурів. Тож, якщо мати ретельно піклується про новонароджених, певні гени поведінки є активними. Якщо ні, ці гени метилуються, їх активність пригнічується (формується інший епігенетичний візерунок). Поміркуй, як науковці довели, що не генетичні, а епігенетичні зміни на ранньому етапі розвитку впливають на поведінку щурів і їхній майбутній соціальний статус. Уклади план експериментального дослідження (скористайся матеріалами в **е-додатку** (завдання 33.1)).

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

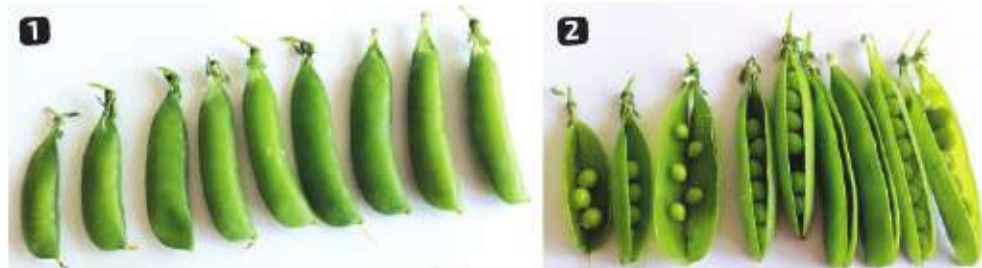
Фенотипну мінливість, зумовлену дією умов існування, називають модифікаційною. А особливості фенотипу, що формуються таким чином, модифікаціями.

Наприклад, засмага виникає влітку як захист від надмірного ультрафіолетового випромінювання. Проте восени і взимку відбувається оновлення епітелію, і засмага поступово зникає.

Інтенсивні фізичні тренування стимулюють збільшення м'язової і кісткової маси. У відповідь на навантаження і механічний стрес під дією біологічно активних речовин (гормон росту, інсуліноподібний

фактор росту) посилюється експресія генів, відповідальних за синтез білків м'язової тканини. М'язи адаптуються до навантаження збільшенням маси і витривалості. Проте припинення фізичних тренувань веде до зменшення маси м'язів.

Тож модифікаційну мінливість простіше досліджувати у рослин, адже шляхом вегетативного розмноження отримують велику кількість особин з ідентичним генотипом. Залежно від умов догляду (вологості, температури, освітлення, внесення добрив) генетично однакові рослини демонструють різну врожайність, розміри плодів, кількість насінин у них (мал. 33.1).



Мал. 33.1. Варіативність розмірів плодів та кількості насінин у бобах гороху

Для характеристики мінливості ознаки проводять статистичний аналіз. Для опису мінливості ознаки укладають варіаційний ряд, на основі якого отримують варіаційну криву.

Варіаційний ряд — це впорядкована послідовність значень ознаки (варіант, v) від найменшого до найбільшого разом із частотами зустрічальності цих варіантів (p).

На малюнку 33.2 зображено мінливість розмірів листків жасмину від найменшого до найбільшого. Відповідний варіаційний ряд подано в таблиці.



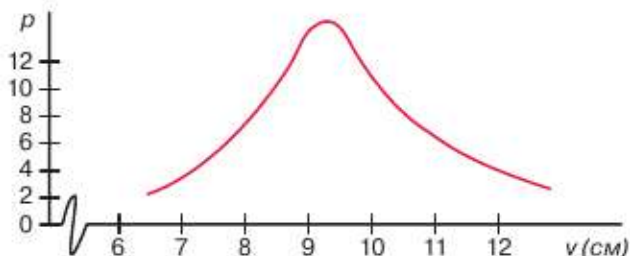
Мал. 33.2. Вибірка листків жасмину

Варіанти (v , см)	6,1–7,0	7,1–8,0	8,1–9,0	9,1–10,0	10,1–11,0	11,1–12,0	12,1–13,0
Частоти (p)	2	6	11	14	9	5	3

З таблиці зрозуміло, що середні значення довжини (9,1–10,0 см) траплялися найчастіше. А от листки з найменшою і найбільшою довжиною — найрідше.

Варіаційна крива — це графік, який показує, наскільки часто у вибірці зустрічаються різні варіанти ознаки: по осі X позначають варіанти (v), по осі Y — їх частоти (p).

Зазвичай варіаційна крива має дзвоноподібну форму (мал. 33.3).



Мал. 33.3. Варіаційна крива мінливості довжини листових пластинок

Межі мінливості ознаки називають *нормою реакції*. Є ознаки з вузькою і широкою нормою реакції. Норма реакції визначається генотипом. А от конкретні значення залежать від умов, у яких перебували біологічні об'єкти (наприклад листки, плоди, рослини загалом).

Наприклад, твій генотип визначає норму реакції зросту — межі ознаки, відповідні саме для такого генотипу (*пригадай, що зріст визначається кількома парами полімерних генів*). А яким саме буде зріст в межах норми реакції, залежить від способу життя, умов зростання.

Маса тіла певною мірою теж визначається генотипом. Проте умови життя, харчування, фізична активність суттєво впливають на прояв цієї ознаки у конкретної людини.

Реалізація впливу умов на організм здійснюється шляхом зміни експресії відповідних генів. Саме так організм адаптується до тих чи інших умов. Тож модифікації зазвичай є корисними для організму і забезпечують пристосування до конкретних умов. Часто модифікаційні зміни є оборотними.

Проте на ранніх етапах розвитку можуть сформуватися необоротні варіанти модифікацій. Цікавим прикладом є формування матки і робочих бджіл із запліднених яйцеклітин (мал. 33.4).

Розвиток личинки визначають умови, передусім особливості харчування. Перші 2–3 дні всіх личинок годують маточним молочком.



Мал. 33.4. Бджолина матка (в центрі) серед робочих бджіл

Личинок, з яких розвинуться робочі бджоли, переводять на харчування медом, нектаром і пилом. А майбутня матка продовжує отримувати маточне молочко, що містить особливий білок, який пригнічує експресію гена *Dnmt3*, що знижує рівень метилювання ДНК. В результаті у личинки розвиваються яєчники, збільшується черевце і вона набуває специфічних рис, навіть у поведінці. Експериментально вчені спробували зменшити рівень метилювання ДНК шляхом впливу на ген *Dnmt3* у личинок і спостерігали ефект формування яєчників.

Тож на формування ознак шляхом зміни експресії генів впливають умови, у яких перебуває організм.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Модифікації — неспадкові зміни фенотипу, що формуються під впливом умов середовища. Зазвичай модифікації мають пристосувальний характер. Багато модифікацій є оборотними. В основі формування модифікацій лежать епігенетичні механізми, що регулюють експресію генів. Норма реакції — межі мінливості певної ознаки — визначається генотипом.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Обґрунтуй пристосувальне значення модифікацій на конкретних прикладах.
2. Наведи приклади оборотних і необоротних модифікацій. На яких етапах розвитку формуються названі модифікації?
3. Опиши роль епігенетичних чинників у формуванні модифікаційної мінливості.
4. Що таке норма реакції? Чим визначається норма реакції — генотипом чи умовами середовища?
5. Учні та учениці досліджували мінливість кількості насінин у бобах гороху. Вибірка склала 30 бобів. Отримані значення: 2; 2; 3; 3; 3; 3; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 6; 6; 6; 6; 7; 7; 8; 8; 9. Уклади варіаційний ряд і варіаційну криву.
6. Проведи дослідження мінливості певної ознаки у рослин за планом. (Виконай в -додатку завдання 33.2.)

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 34 Формування фенотипу організмів як результат взаємодії геному з умовами середовища

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Поміркуй, які ознаки людини визначаються лише генотипом, а які залежать від умов середовища. Наведи приклади таких ознак для різних організмів.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 В окремих популяціях цукровий діабет виявляється досить часто. Наприклад, в індіанців Піма діабет виявлено у 8 % населення (в Мексиці). Проте це захворювання виявлено аж у 50 % індіанців Піма, що переїхали на проживання до США. Запропонуй причини такого феномену.
- 2 Забарвлення пір'я папуг і фламінго має суттєву мінливість у межах кожного виду. Запропонуй гіпотезу щодо причин такої мінливості. Уклади план експериментального дослідження для виявлення природи чинників, що визначають забарвлення пір'я в обох груп птахів. Виконай в **е-додатку** завдання 34.1.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Фенотип формується на основі генотипу та дії умов, у яких організм розвивається. Деякі ознаки визначаються лише генотипом. Наприклад, забарвлення насіння та квіток у гороху, наявність гребеня і візерунок оперення у голубів, групи крові та резус-фактор у людини.

Проте багато ознак мають широку норму реакції, що успадковується. Це ріст і маса організмів, особливості поведінки тощо. На прояв таких ознак суттєво впливають умови середовища. І це не лише температура чи освітлення, а й джерела живлення (їжа для тварин і людини, особливості ґрунту для рослин), рівень стресовості умов розвитку, спосіб життя.

Фізичні тренування впливають на формування кісткової маси. Інтенсивні тренування у період активного росту (до 18 років) найбільше

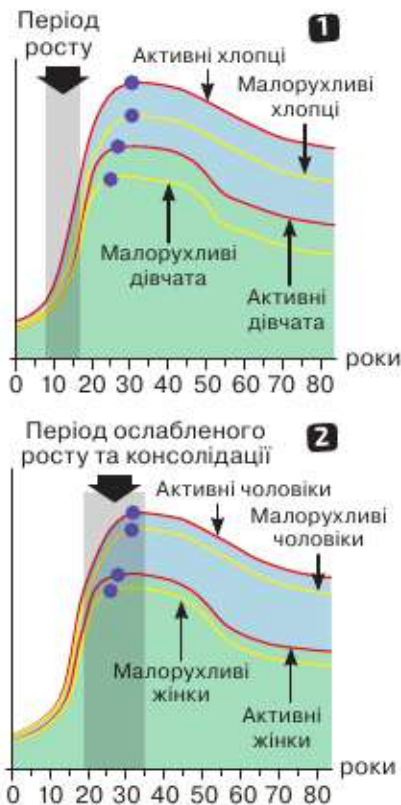
сприяють формуванню щільної кісткової маси, що зберігатиметься упродовж життя (мал. 34.1). Тренування в зрілому віці мають менший вплив на збільшення кісткової маси.

У формуванні деяких ознак вирішальну роль відіграють умови середовища. Наприклад, володіння багатьма мовами не успадковується людиною, а набувається у спілкуванні та навчанні. Сприяють цьому багате мовне середовище й вольові зусилля. Разом із тим, схильність до вивчення мов успадковується. Тож різним людям доводиться прикладати більше чи менше зусиль для опанування мовами. У дитячому і підлітковому віці значно легше опанувати основи іноземних мов, ніж у дорослому.

Для опанування піснею свого виду молодий самець горобців чи інших птахів має чути таку пісню ще пташеням у гнізді, щоб згодом її заспівати. Якщо у цей чутливий період пісня не була почута, самець не матиме здатності закликати піснею самиць свого виду. Тож загалом ознаку визначено генотипом, але вона зможе реалізуватися лише за відповідних умов.

Не завжди гени, що визначають певну ознаку, проявляються у фенотипі. Наприклад, є гени з неповною пенетрантністю. Мірою пенетрантності є частка (у %) особин, які характеризуються певним фенотипом, серед усіх особин з однаковим генотипом. Деякі спадкові хвороби людини, наприклад подагра, характеризуються неповною пенетрантністю, тобто не всі особи, які несуть мутацію, хворіють. На прояв гена може впливати стать: у чоловіків пенетрантність гена подагри близько 20 %, а у жінок близько до нуля.

Пенетрантність гена *BRCA1*, що підвищує ризик раку молочної залози, становить 50–65 % у жінок і близько 1 % у чоловіків. Причому показник пенетрантності зростає з віком. Тож, знаючи особливості геному, носіям гена варто частіше проходити обстеження. Але на-



Мал. 34.1.

Вплив фізичної активності на кісткову масу впродовж життя (1 — активність у віці до 18 років; 2 — у віці 19–40)

явність такого алеля не є вироком і не обов'язково призведе до раку. У чоловіків цей алель може стимулювати розвиток раку простати (з пенетрантністю 9 %). На прояв таких генів впливають умови і спосіб життя.

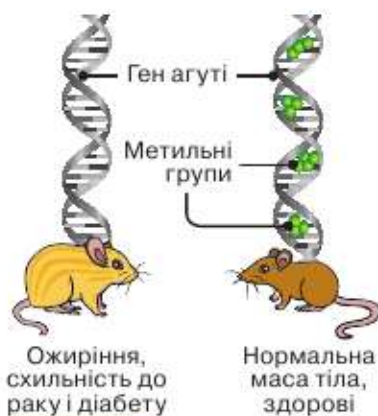
Експресивність гена відображає силу прояву відповідного алеля у фенотипі. Так, дрозофіли, гомозиготні за мутантним алелем *eyeless* (безокості), можуть мати різну кількість фасеток очей — від нормальної кількості до повної їхньої відсутності. Люди, носії алеля полідактилії (шестипалості), можуть мати повноцінний шостий палець, інші — лише маленький хрящовий відросток, а в деяких спостерігається лише роздвоєння фаланги.

Алель агуті у мишей та інших ссавців відповідає за зональне забарвлення шерсті, створюючи ефект чергування темних і світлих смуг на кожній волосині. Крім того активність цього гена стимулює ожиріння і розвиток діабету. Експериментально було показано, як раціон матері під час вагітності впливає на фенотип мишенят. Якщо самиці отримували їжу з достатньою кількістю вітамінів (фолієвої кислоти, вітаміну B₁₂), ген агуті зазнавав метилювання, і його експресія була мінімальною (мал. 34.2). І навпаки, за материнського раціону з надмірним калорійним харчуванням без умісту необхідних вітамінів мишенята мали жовте хутро, надмірну масу тіла і проблеми з діабетом. Тож харчування матері мало епігенетичний вплив і визначало ступінь експресії гена.

Результати досліджень показують, що умови в утробі матері та харчування батьків впливають на здоров'я нащадків. Збалансоване харчування сприяє кращому здоров'ю й довшій тривалості життя, тоді як надмірне висококалорійне харчування з нестачею вітамінів і харчових волокон підвищує ризик надлишкової маси тіла та хвороб (мал. 34.3).

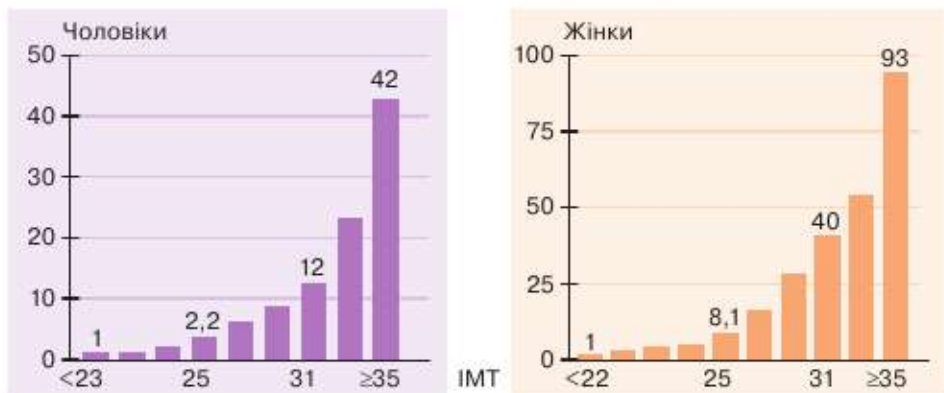
Людина успадковує певні здібності, але без їх розвитку й праці над собою не зможе повністю реалізувати себе. Дитячий і підлітковий вік є важливими для формування особистості.

Спочатку умови розвитку створюють батьки, а згодом усе більше залежить від власних зусиль. Тож подбай про своє здоров'я та самореалізацію вже сьогодні.



Мал. 34.2.

Вплив метилювання гена агуті на формування фенотипу у мишей



Мал. 34.3. Залежність розвитку діабету II типу від індексу маси тіла (ІМТ)

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Фенотип формується на основі генотипу під дією умов середовища. Деякі ознаки визначаються лише генотипом (група крові, резус-фактор), більшість — генотипом і середовищем. На експресію генів впливають харчування, фізичні та соціальні фактори середовища.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Наведи приклади ознак, що визначаються лише генотипом.
2. На основі аналізу малюнку 34.1 (с. 149) поясни, як тренування у різному віці впливають на кісткову масу людей упродовж життя.
3. Як формується здатність птахів співати пісню свого виду (оціни роль спадковості і умов зростання)?
4. Спираючись на малюнок 34.3, поясни зв'язок між індексом маси тіла (ІМТ) і розвитком діабету. ($IMT = m/h^2$, де m — маса, кг; h — зріст, м).
5. Поясни, чому умови на ранніх етапах розвитку мають суттєвий вплив на формування фенотипу.
6. Проаналізуй свої індивідуальні фізичні і психічні особливості. Які з них визначені лише генотипом, а які є результатом взаємодії генотипу і середовища (виховання, умов зростання)? Уклади план дій для розвитку своїх здібностей.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 35 Генетика людини. Медико-генетичне консультування

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Поміркуй, як можна застосувати близнюковий метод у розслідуванні природи успадкування деяких ознак. Чому цей метод може дати цінну інформацію для генетиків?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 У жінок в ядрі клітин можна виявити тільки Барра: ущільнений хроматин, що є інактивованою щільно упакованою X-хромосомою. Адже у клітинах жінок та інших самиць ссавців одна з X-хромосом зазнає епігенетичного впливу — повністю інактивується. За яких змін каріотипу тільки Барра можуть виявити у чоловіків і два тільки Барра у жінок?
- 2 У нормальному гені β -ланцюга гемоглобіну в певній ділянці ДНК закодовано глутамінову кислоту (Глу). Внаслідок мутації в цьому самому триплеті відбувається її заміна на іншу амінокислоту — валін (Вал), що призводить до серпоподібноклітинної анемії. Які нуклеотидні зміни могли відбутися в матричному ланцюзі ДНК? Поясни, чому навіть така невелика зміна може впливати на форму еритроцитів.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Для досліджень особливостей генетики людини використовують генеалогічний, біохімічні, цитогенетичні, молекулярно-біологічні та інші методи.

Цитогенетичні методи важливі для виявлення порушень каріотипу, масштабних хромосомних мутацій.

Особливим методом генетики людини є близнюковий, що полягає у вивченні однайцевих (монозиготних) близнят, послідовність геному яких є ідентичною. Ці організми розвиваються з бластомерів, утворених з однієї заплідненої яйцеклітини. Тож спостереження за проявом ознак у близнят дає матеріал для оцінки впливу генотипу і середовища на їх формування. *Ознайомся в е-додатку з інформацією*

про епігенетичні відмінності, що формуються у близнят протягом життя (завдання 35.1).

Для вивчення характеру спадкування ознак застосовують генеалогічний метод, що базується на складанні родоводів (мал. 26.1, 30.1, 35.1). Правила їх укладання та план проекту з моделювання родоводу опрацюй в **е-ДОДАТКУ** (завдання 35.2).

Застосування генеалогічного методу дало змогу науковцям визначити характер успадкування багатьох ознак. У таблиці зазначено деякі домінантні і рецесивні ознаки людини.

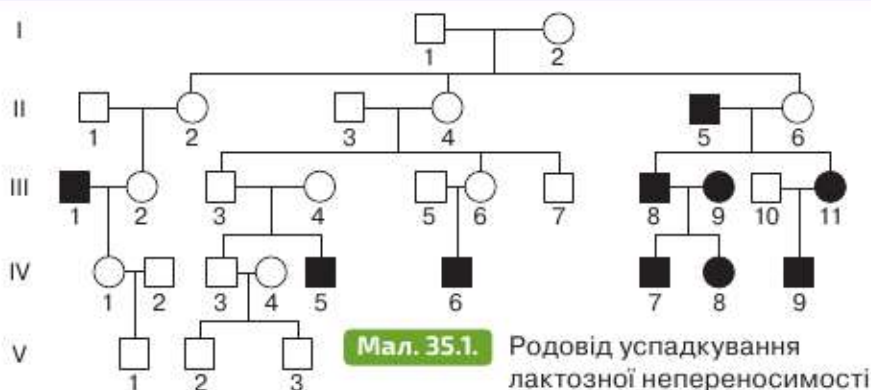
Деякі ознаки людини змінюються із часом. Наприклад, багато людей втрачає здатність

перетравлювати лактозу молока з віком, хоча в дитинстві без проблем харчувалися молоком. Втрату такої здатності називають лактозною інтолерантністю (непереносимістю). Родовід успадкування ознаки зображено на малюнку 35.1 (с. 154).

У людей із втратою толерантності до лактози структурний ген лактази не зазнає мутацій. Змінюється лише його експресія. Насправді у всіх ссавців ген лактази вимикається після переходу на інші види їжі. Тому нащадки з часом втрачають здатність харчуватися молоком. Проте у популяціях людей закріпилася мутація регуляторного гена, що зберігає активність гена лактази впродовж життя.

Невід'ємною частиною генетики людини є медична генетика. Усі хвороби можна умовно поділити на групи: спадкові (визначаються геномом), хвороби зі спадковою схильністю (розвиток патології обумовлюється взаємодією геному та середовища) та неспадкові (патології, викликані тільки зовнішніми факторами). Спадкові хвороби не обов'язково передаються у спадок. Зокрема, не спадкуються хвороби, викликані соматичними мутаціями, наприклад, онкологічні захворювання (хоча схильність до них може спадкуватися).

Домінантні	Рецесивні
Темне волосся	Світле волосся
Кучеряве волосся	Пряме волосся
Карі очі	Голубі або сірі очі
Зелені очі	Голубі або сірі очі
Праворукість	Ліворукість
Короткозорість	Нормальний зір
Кругле обличчя	Видовжене обличчя
Ямочки на щоках	Відсутність ямочок на щоках
Товсті губи	Тонкі губи
Довгі вії	Короткі вії
Монголоїдний розріз очей, наявність складки епікантуса	Європеоїдний розріз очей
Наявність резус-фактора (Rh+)	Відсутність резус-фактора (Rh-)

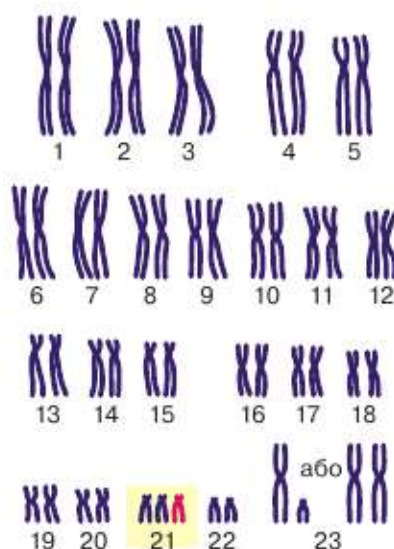


Геномні і масштабні хромосомні мутації часто є не сумісними з життям і спричиняють внутрішньоутробну загибель ембріона. Найчастіше з відхилень у кількості хромосом у новонароджених трапляється синдром Дауна — поява додаткової 21-ї хромосоми (мал. 35.2). Такі діти можуть мати нижчий зріст, вкорочені пальці рук, своєрідну форму обличчя, певні відставання у фізичному і розумовому розвитку. За сприятливих умов вони можуть соціалізуватися і досягти успіхів. Також часто трапляються порушення кількості статевих хромосом, наприклад чоловіки з набором ХХУ, ХУУ, жінки ХХХ, Х0.

Прикладами захворювань, що визначаються генними мутаціями, є гемофілія, альбінізм (повна відсутність меланіну), муковісцидоз (накопичення слизу в дихальних шляхах), фенілкетонурія, серпоподібноклітинна анемія та інші.

Фенілкетонурія спричинена мутацією гена ферменту, що перетворює фенілаланін на тирозин. Через накопичення фенілаланіну та нестачу тирозину виникають порушення роботи нервової й м'язової систем і поведінкові проблеми. Раннє виявлення (у перші дні після народження) і спеціальна дієта дають змогу дитині нормально розвиватися.

Сучасна медична генетика зосереджується на ранній діагностиці спадкових хвороб. У медикогенетичних консультаціях, вивчаючи родоводи та використовуючи інші методи, визначають наявність у майбутніх батьків мутантних алелів. Важливим є також виявлення



Мал. 35.2. Синдром Дауна: особливості кариотипу

спадкових вад на ембріональній стадії. У разі діагностики хвороби лікарі надають рекомендації, зокрема щодо обмеження чи вилучення з раціону матері або новонародженого продуктів, які містять речовини з порушеним обміном (наприклад, за фенілкетонурії).

Можливості молекулярно-біологічних методів значно зросли. Зокрема, секвенування ДНК (визначення послідовностей нуклеотидів) дає змогу оцінювати ризики захворювань, ефективність ліків і точніше встановлювати діагнози. Наукові дослідження наближають розвиток персоналізованої медицини, що ґрунтується на аналізі індивідуальних особливостей геному для підвищення ефективності профілактики й лікування.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

У генетиці людини використовують генеалогічний, близнюковий, біохімічні, цитогенетичні, молекулярно-біологічні та інші методи. Спадкові хвороби людини визначаються геномом, хвороби зі спадковою схильністю — геномом і дією умов середовища. Найчастішим геномним порушенням є синдром Дауна та відхилення у кількості статевих хромосом. Більшість спадкових хвороб спричинено генними мутаціями. У профілактиці і лікуванні спадкових хвороб важливу роль відіграє медико-генетичне консультування.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які методи досліджень використовують у генетиці людини?
2. Якою — домінантною чи рецесивною — є ознака непереносимості лактози? Обґрунтуй свої міркування.
3. Уклади гіпотетичний родовід успадкування будь-якої домінантної і рецесивної ознаки.
4. Наведи приклади захворювань людини, що спричиняються геномними і генними мутаціями.
5. Чому частота алеля мутантного гемоглобіну, що спричиняє серпоподібноклітинну анемію, має високу частоту у популяціях мешканців тропіків? Скоритайся матеріалами в **е-додатку** (завдання 35.3).
6. У групах дослідіть, як виникла і успадковується здатність переносити лактозу молока в дорослому віці. Виконайте в **е-додатку** завдання 35.4.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

Узагальнювальні дослідницькі завдання

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ ІЗ ГЕНЕТИКИ

Приклади розв'язку

1. У томатів алель високого росту (B) домінує над алелем низького росту (b). Які рослини можна отримати внаслідок схрещування гетерозиготних рослин високого росту з низькорослими?

B — алель високого росту	$P: \text{♀ } Bb \times \text{♂ } bb$
B — алель низького росту	$G: B, b \quad b$
$P: Bb, bb$	$F_1: Bb \quad bb$
F_1 — ?	високі низькі

Відповідь: у F_1 50 % рослин високого росту, 50 % — низького.

2. У жінки група крові В (третя), причому у її батька група крові 0 (перша), а в чоловіка — АВ (четверта). Які групи крові можуть бути у дітей?

I^A — алель, що кодує аглютиноген А	$P: \text{♀ } I^B i^0 \times \text{♂ } I^A I^B$
I^B — алель, що кодує аглютиноген В	$G: I^B; i^0 \quad I^A; I^B$
i^0 — алель, що не кодує аглютиногенів	$F_1: I^B I^A \quad I^B I^B \quad i^0 I^A \quad I^B i^0$
Оскільки у батька жінки група крові 0 ($i^0 i^0$), жінка з третьою групою крові є гетерозиготою $I^B i^0$.	$AB \quad B \quad A \quad B$ (IV) (III) (II) (III)
$P: \text{♀ } I^B i^0; \text{♀ } I^A I^B$	
F_1 — ?	

Відповідь: у дітей можливі групи крові В (III) — з імовірністю 50 %, АВ (IV) — 25 %, А (II) — 25 %.

Задачі для самостійного опрацювання

- У людини праворукість (здатність краще володіти правою рукою) домінує над ліворукістю. Ліворукий чоловік (шульга) одружився з праворукою жінкою. Якими можуть бути діти, якщо: а) жінка гомозиготна; б) жінка гетерозиготна?
- У подружжя під час визначення резус-фактора було встановлено, що він позитивний і в чоловіка, і в жінки. Але в них народився син із негативним резус-фактором. Як успадковується резус-фактор? Склади схему схрещування.
- Ген, що зумовлює білий колір шерсті в овець, домінує над геном, що зумовлює чорний колір. Який висновок можна зробити про генотипи батьків, якщо в потомстві виявлено розщеплення за фенотипом 3 : 1? Склади схему схрещування.

4 РОЗМНОЖЕННЯ ТА ІНДИВІДУАЛЬНИЙ РОЗВИТОК ОРГАНІЗМІВ



§ 36 Способи розмноження організмів. Нестатеве розмноження

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Суниці, як і багато інших рослин, розмножуються статеві і нестатеві. Більшість садівників розмножують суницю вусами, іншими частинами пагона. Проте селекціонери застосовують статеве розмноження. Чому лише нестатевий спосіб селекціонерам не достатньо? В чому недоліки нестатевий розмноження?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Чи можливе нестатеве розмноження у людини? Поміркуй і уклади план для аргументованої відповіді (що таке нестатеве розмноження; яку форму нестатевий розмноження варто розглянути; які обмеження для реалізації відповідного способу для людини ти передбачаєш; як можна подолати ці обмеження завдяки науковим дослідженням). Зроби загальний висновок зі своїх міркувань.
- 2 Під час вегетативного розмноження живці рослин часто висаджують у ґрунт і накривають скляною банкою або прозорим ковпаком з іншого матеріалу (мал. 36.1). Відомо, що після відрізання живець втрачає контакт із кореневою системою і тимчасово не може ефективно поглинати воду. У той самий час через стрес продири у листках можуть залишатися відкритими. Поміркуй, чому накривання живців банкою допомагає їхньому приживленню.



Мал. 36.1. Живцювання

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Однією з універсальних властивостей організмів є їхня здатність до репродукції, тобто до самовідтворення шляхом утворення нащадків, які забезпечують збереження видів та безперервність їхнього існування. Репродукція організмів відбувається у процесі їх розмноження, який може відбуватися у різні способи.

Зазвичай розрізняють статеве і нестатеве розмноження. Як окрему форму розглядають вегетативне розмноження. Але частіше його вважають одним із варіантів нестатевого розмноження. У чому полягає різниця між цими формами?

Статевим називають розмноження, під час якого утворюються спеціалізовані статеві клітини та відбувається статевий процес. Нестатеве розмноження відбувається без участі статевих клітин і без статевого процесу. При цьому можуть утворюватися спеціалізовані клітини для розмноження, які не є статевими.

ОЗНАКИ НЕСТАТЕВОГО РОЗМНОЖЕННЯ

Бере участь тільки один батьківський організм

Відбувається без поєднання генетичного матеріалу двох організмів

Нашадки переважно генетично ідентичні батьківському організму та один одному

Забезпечує швидке збільшення чисельності популяції (за стабільних умов середовища)

Основними способами нестатевого розмноження є поділ клітин, розмноження за допомогою спеціалізованих клітин (спор) і вегетативне розмноження.

Шляхом поділу клітин можуть розмножуватися і прокаріотичні, і еукаріотичні організми.

Спосіб поділу	Характеристика процесу	Приклади організмів
Бінарний поділ (поділ навпіл, рівномірний поділ)	Клітина ділиться на дві приблизно однакові дочірні клітини; усі структури рівномірно розподіляються між ними	Переважна більшість бактерій, більшість одноклітинних еукаріотів
Брунькування (нерівномірний поділ)	На поверхні материнської клітини формується випинання — брунька, яка отримує повний набір спадкового матеріалу, але менше цитоплазми. З часом брунька відокремлюється й стає новою клітиною	Дріжджі
Шизогонія (множинний поділ)	Клітина багаторазово ділиться, утворюючи кілька ядер; потім цитоплазма розділяється на частини, кожна з яких містить одне ядро	Трипаносоми, форамініфери, споровики (зокрема малярійний плазмодій), деякі водорості

Нестатеве розмноження в еукаріотів у багатьох випадках відбувається з використанням спеціалізованих клітин — спор, які утворюються

шляхом мітотичних поділів і зазвичай містять такий саме набір хромосом, як і клітини материнської особини. Такі спори пристосовані до поширення. Деякі з них можуть мати джгутики, що є характерним для деяких видів водних організмів (як-от хламідомонад). Часто для їх утворення в організмів є спеціалізовані структури, наприклад, конідієносці для конідій у багатьох грибів. Спорами розмножуються такі вищі спорові рослини, як мохи, хвощі і папороті, що належать до різних груп рослин (*більше дізнайся в [Е-ДОДАТКУ \(завдання 36.1\)](#)*).

Вегетативне розмноження відбувається шляхом утворення нових особин із частин материнського організму. Цей термін зазвичай використовується виключно для багатоклітинних еукаріотів. Вегетативне розмноження має місце як у рослин, так і у тварин та грибів. У тварин воно може відбуватися у формі брунькування або фрагментації.

Як і у випадку з одноклітинним брунькуванням, у багатоклітинних організмів на тілі материнської особини (тільки у цьому випадку багатоклітинної) утворюється випинання — брунька. У подальшому з неї формується нова молода особина. Така форма розмноження поширена у Жалких — губок, коралів, актиній. Фрагментація відбувається у формі розділення всього материнського організму на дві або більшу кількість частин. Такий спосіб розмноження можна зустріти у плоских і кільчастих червів та голкошкірих.

Для лишайників, губок і мохуваток відмічено вегетативне розмноження шляхом утворення спеціалізованих багатоклітинних структур (соредій, гемул, статобластів тощо).

У рослин способи вегетативного розмноження є дуже різноманітними. Часто вони здійснюються спеціалізованими видозміненими органами. Хоча у деяких рослин здатність до вегетативного розмноження є низькою.

Способи вегетативного розмноження рослин

Спосіб розмноження	Приклади рослин
Кореневищами (видозмінений багаторічний підземний пагін)	Пирій, купина
Бульбами (видозмінений потовщений підземний пагін розташований на спеціалізованому підземному пагоні — столоні)	Топінабур, картопля
Цибулинами (вкорочений підземний пагін з м'ясистими листками)	Тюльпан, часник, цибуля
Вусами (довгий повзучий пагін, який може вкорінюватися далеко від материнської рослини)	Полуниця, суниця

Полиембріонія — процес розвитку кількох зародків з однієї заплідненої яйцеклітини.

Група організмів	Приклади	Особливості поліембріонії
Тварини (загалом)	Пласкі черви, кільчасті черви, членистоногі, хребетні	Розвиток кількох зародків з однієї заплідненої яйцеклітини
Ссавці	Броненосці	З однієї зиготи утворюється 7–9 зародків
Рослини	Тюльпани, латаття, ірис, мімози	З однієї насінини розвивається кілька зародків

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Здатність до репродукції є однією з універсальних властивостей організмів, яка реалізується у вигляді розмноження. Розрізняють статеве і нестатеве розмноження. Основними способами нестатевого розмноження є поділ клітин, розмноження за допомогою спеціалізованих клітин (спор) і вегетативне розмноження.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Чому репродукція є однією з універсальних властивостей організмів?
2. Які основні властивості нестатевого розмноження?
3. Виконай в **е-додатку** завдання 36.2.
4. У людини можуть народжуватися близнюки двох типів — монозиготні і дизиготні. Чи можна вважати народження цих типів близнюків одним із варіантів нестатевого розмноження? Якщо можна, то яким саме?
5. Серед культурних рослин поширеними є вегетативні способи, що були створені людиною (відсадками, живцями, щепленнями). Порівняй їх із поширеними в природі вегетативними способами розмноження рослин, вкажи наявні у них позитивні і негативні особливості.
6. Вегетативне розмноження багатоклітинних організмів пов'язане з рівнем їхньої здатності до регенерації. Яка тканина рослин відіграє головну роль у відновленні організму з його частини? Які клітини у тварин мають подібні властивості?

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 37 Статеве розмноження. Гаметогенез

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



За статевого розмноження лише половина особин (жіноча стать) народжує нащадків. Тому темпи розмноження значно повільніші, ніж за нестатевого розмноження. Але більшість видів багатоклітинних організмів розмножуються статевим. То в чому його перевага?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** Риба-місяць і акула-молот є рибами (мал. 37.1). Але вони використовують зовсім різні стратегії розмноження. В чому полягає ця відмінність?



Мал. 37.1. Риба-місяць і акула-молот

- 2** Партеногенез — розвиток організму з незаплідненої яйцеклітини. Тож запліднення не відбувається. До якої групи розмноження — статевим чи нестатевим — можна віднести партеногенез? Вікіпедія українською зазначає: «Партеногенез — особлива форма статевим розмноження». Англійською: «Партеногенез — особлива форма нестатевим розмноження». Поміркуй і наведи якомога більше підтверджень першого і другого тверджень. Вислови власну думку із цього приводу.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Як тобі вже відомо, обов'язковими компонентами статевим розмноження є утворення спеціалізованих статевих клітин і наявність статевим процесу. Характерною ознакою статевих клітин є

те, що вони мають гаплоїдний набір хромосом. Під час статевого процесу здійснюється поєднання генетичного матеріалу двох особин в одній клітині. Зазвичай це відбувається шляхом злиття двох статевих клітин (гамет), але може відбуватися і у формі обміну спадковим матеріалом, наприклад, під час кон'югації. Статеве розмноження притаманне еукаріотам і у прокаріотів відсутнє.

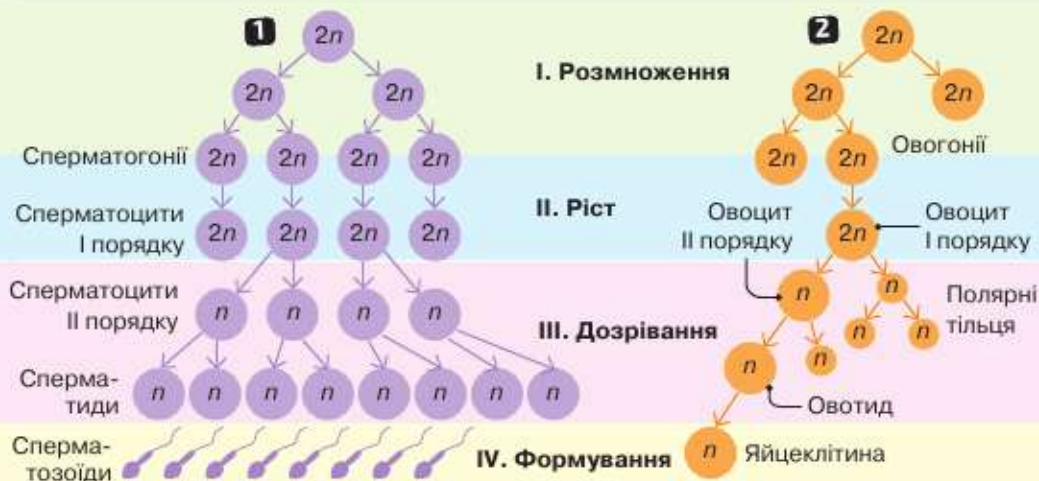
Прокаріоти можуть здійснювати обмін спадковим матеріалом, тобто статевий процес у них може відбуватися, як і у деяких одноклітинних еукаріотів. Прикладом є кон'югація в інфузорій (мал. 31.4, с. 139). Але в цих випадках не спостерігається утворення спеціалізованих статевих клітин і не відбувається збільшення кількості особин (без чого назвати процес розмноження взагалі неможливо).

Утворення статевих клітин (гамет) відбувається в процесі гаметогенезу. Основою його є мейотичний поділ клітин (мейоз). Гаметогенез відбувається у спеціальних залозах або у спеціальних клітинах.

Розгляньмо процес утворення гамет на прикладі гаметогенезу у ссавців. Утворення статевих клітин у особин чоловічої і жіночої статі дещо відрізняється. Відповідно, ці процеси мають назву сперматогенез і овогенез (мал. 37.2, с. 164). Виділяють кілька стадій гаметогенезу, що детально описано у таблиці.

Етапи гаметогенезу ссавців

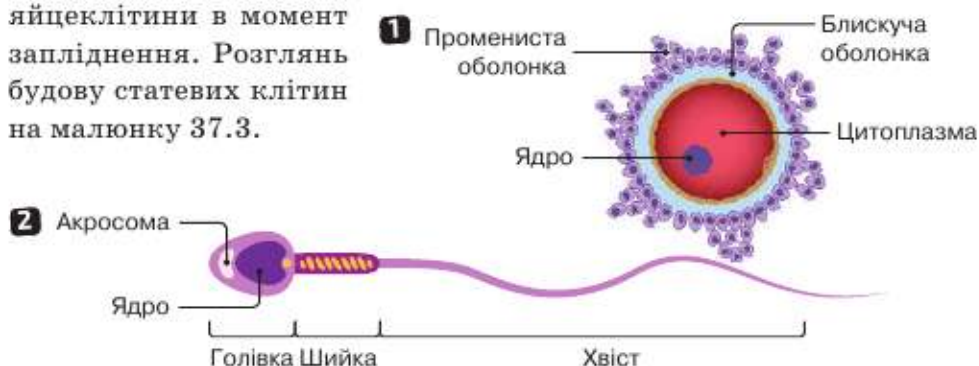
Сперматогенез	Овогенез
Утворення диплоїдних клітин, які є попередниками гамет — сперматогоніїв, шляхом мітотичного поділу	Утворення диплоїдних клітин, які є попередниками гамет — овогоніїв, шляхом мітотичного поділу
Збільшення розмірів сперматогоніїв, їх підготовка до редукційного поділу і перетворення на сперматоцити I порядку	Збільшення розмірів овогоніїв, їх підготовка до редукційного поділу, накопичення поживних речовин у вигляді зерен жовтка і перетворення на овоцити I порядку
Мейотичний поділ, у результаті якого після мейозу I утворюються два сперматоцити II порядку. Після мейозу II утворюються чотири однакові за розміром сперматиди (які вже є гаплоїдними). В подальшому сперматиди дозрівають і перетворюються на сперматозоїди	Мейотичний поділ, у результаті якого після мейозу I утворюється одна велика клітина (овоцит II порядку), у яку переходять всі накопичені поживні речовини, і одна дрібна клітина (первинне полярне тільце). Після мейозу II з овоцита II порядку утворюються одна велика клітина (яйцеклітина) і одне вторинне полярне тільце. Первинне полярне тільце також ділиться, утворюючи два вторинні полярні тільця. В подальшому всі полярні тільця гинуть



Мал. 37.2. Етапи гаметогенезу: **1** — сперматогенез; **2** — овогенез

Процеси гаметогенезу регулюються гіпоталамо-гіпофізарною системою, статевими гормонами.

Сперматогенез завершується утворенням величезної кількості сперматозоїдів. На завершальному етапі сперматиди втрачають значну частину цитоплазми, позбуваються частини органел. У них формується джгутик, акросома — спеціальна органела, заповнена травними ферментами, що беруть участь у розчиненні оболонки яйцеклітини в момент запліднення. Розглянь будову статевих клітин на малюнку 37.3.



Мал. 37.3. Будова статевих клітин: **1** — яйцеклітини; **2** — сперматозоїда

Яйцеклітина містить запас поживних речовин для розвитку ембріона. У ссавців, як в більшості організмів яйцеклітини не здатні до самостійного руху (їх переміщення по матковій трубці забезпечує війчастий епітелій). Кількість утворених яйцеклітин значно менша порівняно зі сперматозоїдами (лише близько 500 за життя жінки).

Запліднення — процес злиття статевих клітин з формуванням диплоїдної зиготи. У тварин запліднення може бути зовнішнім або внутрішнім.

Деяким організмам властивий **партеногенез** — розвиток зародка з незаплідненої статевої клітини. Залежно від хромосомного набору особини, що утворюється, розрізняють гаплоїдний і диплоїдний партеногенез.

Гаплоїдний партеногенез характерний для бджіл: з незапліднених яєць розвиваються гаплоїдні самці (трутні), із запліднених — диплоїдні самки (робочі бджоли й матки). Диплоїдний партеногенез трапляється у попелиць, де під час формування яйцеклітини всі хромосоми переходять до неї, а полярне тільце залишається без хромосом.

Партеногенез трапляється і у тварин, і у рослин. У тварин його спостерігають у комах, дафній, коловертках, нематод, равликів, а серед хребетних — у деяких риб, амфібій і ящірок. У рослин він проявляється різними формами, зокрема апоміксисом.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Статевим називають розмноження, під час якого утворюються спеціалізовані статеві клітини і відбувається статевий процес. Утворення статевих клітин (гамет) відбувається завдяки спеціальному процесу, який називають гаметогенезом. Основою цього процесу є мейотичний поділ клітин (мейоз). Під час мейозу відбуваються рекомбінація генетичного матеріалу і редукція числа хромосом.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Яке розмноження називають статевим?
2. Склади перелік характерних особливостей статевого розмноження.
3. Порівняй будову яйцеклітини та сперматозоїда.
4. Склади перелік відмінностей між мітозом і мейозом.
5. У тварин залози, які виробляють чоловічі і жіночі клітини, можуть формуватися в однієї особини (явище гермафродитизму). Які переваги й недоліки має гермафродитизм у тварин порівняно з наявністю двох статей?
6. Виконай в **e-додатку** завдання 37.1.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 38 Онтогенез. Ембріональний розвиток

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



У птахів ембріональний період відбувається в яйці. У ссавців — всередині організму самиць. Поміркуй, які переваги й недоліки кожного з варіантів.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

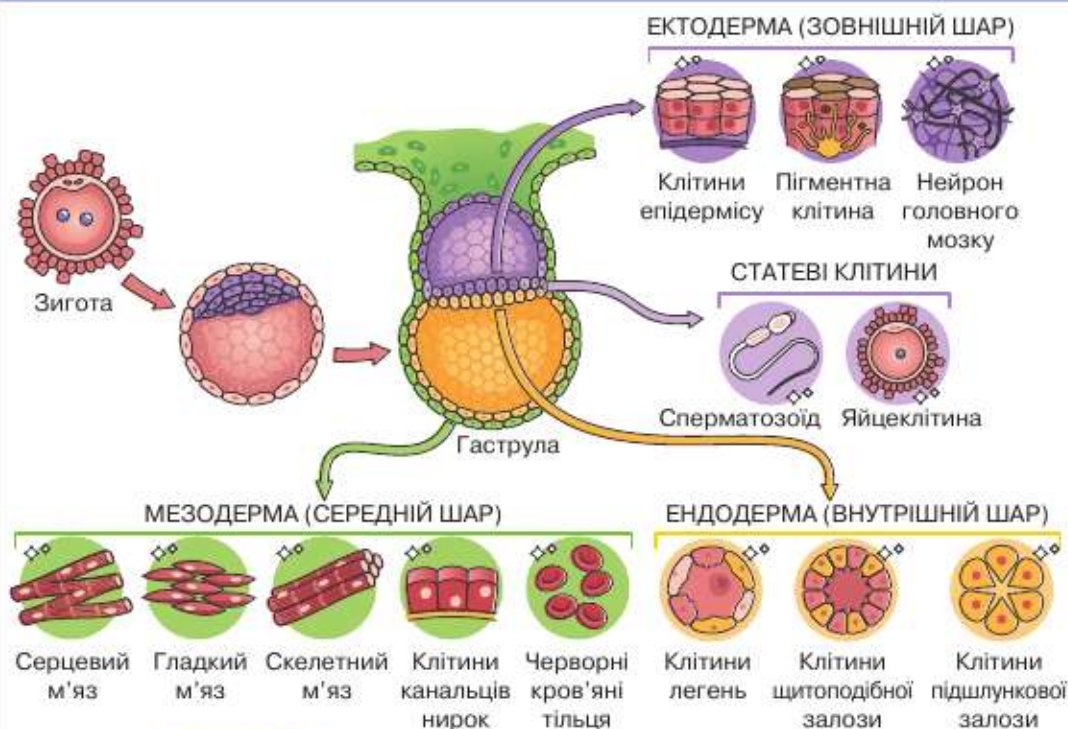
- 1 Тривалий час життя на Землі розвивалося лише у водоймах. Запліднення і розвиток ембріона зазвичай відбувалися у воді. Рептилії, птахи, ссавці набули здатності розмножуватися так, щоб і процес запліднення, і ранній розвиток ембріона не був безпосередньо пов'язаний із водоймами. Які структури сформувалися навколо зародка, щоб він зміг успішно розвиватися без зовнішнього водного середовища?
- 2 Під час ембріонального розвитку в зиготі формується ембріон. Чи є ембріональний період в індивідуальному розвитку квіткових рослин?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Після утворення зиготи або розмноження нестатевим шляхом розпочинається індивідуальний розвиток організму, який триває від цього моменту до смерті (онтогенез). Онтогенез поділяється на декілька періодів, кількість яких у різних груп організмів може відрізнятися. У тварин виокремлюють два основні періоди онтогенезу:

- 1) ембріональний (зародковий), який триває з моменту запліднення до моменту виходу з яйцевих оболонок або народження;
- 2) постембріональний — з моменту народження до смерті.

Зародковий (ембріональний) розвиток можна розглянути на прикладі хордових тварин, а саме ссавців. Цей період поділяється на кілька етапів: дроблення, гастрюляція з утворенням зародкових листків і оболонок, утворення тканин (гістогенез) і органів (органогенез) (мал. 38.1). Усі ці процеси ведуть до формування повноцінного зародка, який набуває рис, притаманних виду.



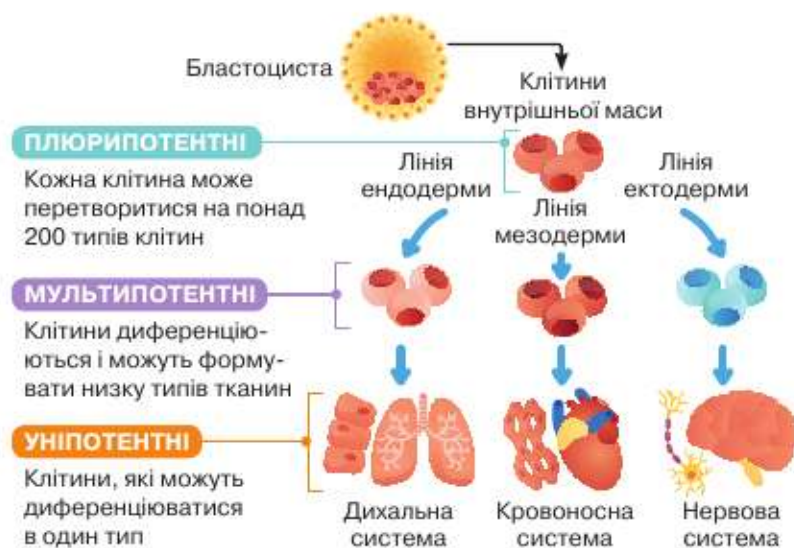
Мал. 38.1. Етапи ембріонального розвитку у ссавців

Особливості етапів ембріонального розвитку ссавців

Назва етапу	Процеси, які відбуваються
Дроблення	Відбувається ряд послідовних мітотичних поділів зиготи, в результаті утворюється багато дрібних бластомерів. Завершується формуванням бластули, що складається з шару бластомерів, що оточують порожнину — бластоцель
Гаструляція	Бластула шляхом вгинання стінки перетворюється на гаструлу, яка має два шари клітин і порожнину — гастроцель, що сполучається з навколишнім середовищем через бластопор (первинний рот). Зовнішній шар — ектодерма, внутрішній — ентодерма. Між ними проникають бластомери, утворюючи мезодерму. Усі три шари називають зародковими листками
Гістогенез і органогенез	Зародкові листки формують зачатки тканин і органів. З ектодерми утворюються зовнішній епітелій, шкірні залози, нервова система тощо. З ентодерми — травні залози, епітелій дихальної системи та кишечника. З мезодерми — м'язові й сполучні тканини, кровоносна та частина статеві системи

Бластомери після перших поділів зиготи є тотипотентними, тобто здатні утворити новий організм при відокремленні (так виникають монозиготні близнюки). На пізніших стадіях тотипотентність зникає,

але клітини зберігають здатність диференціюватися — це стовбурові клітини (мал. 38.2). Вони можуть утворювати різні типи клітин і ділитися необмежену кількість разів, на відміну від диференційованих клітин, у яких кількість поділів обмежена.



Мал. 38.2. Стовбурові клітини

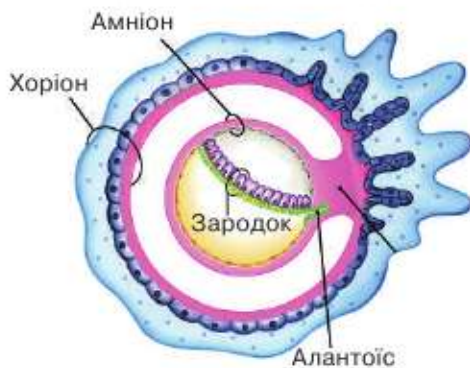
В організмі дорослої тварини деякі типи стовбурових клітин зберігаються і функціонують все життя. Наприклад, саме стовбурові клітини забезпечують постійне утворення і диференціацію клітин крові.

Упорядкований розвиток зародка значно зумовлює взаємодією його частин. Вони є основою так званої ембріональної індукції, коли наявність певних частин зародка в якомусь місці забезпечує розвиток цілком певних структур поряд із ними. Відбувається це завдяки клітинам-організаторам, які виробляють особливі сигнальні молекули. Ці молекули і викликають диференціацію розташованих поряд клітин у потрібні саме в цьому місці тканини і органи.

Характерною особливістю ембріонального розвитку тварин є утворення провізорних органів, які виникають в зародків і личинок, функціонують тимчасово до завершення відповідного періоду розвитку. Як-от зябра у личинок амфібій.

У ссавців, птахів і рептилій важливими провізорними органами є їхні зародкові оболонки — амніон, хоріон і алантоїс (мал. 38.3). Вони оточують зародок і забезпечують його виживання під час ембріонального розвитку на суходолі. Амніон (водна оболонка) захищає ембріон, є середовищем, у якому зародок рухається.

Хоріон — ворсинчаста оболонка, що забезпечує газообмін, живлення, у ссавців — бере участь у формуванні плаценти. Алактоїс здійснює утилізацію та зберігання продуктів обміну речовин, які утворювалися зародком. У більшості ссавців формується плацента — провізорний орган, у якому переплітаються кровоносні судини ембріона і вагітної самиці. Крізь стінки судин відбувається газообмін, надходження поживних речовин до зародка, а продуктів обміну — у кров самиці.



Мал. 38.3. Зародкові оболонки

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Онтогенез — це індивідуальний розвиток організму, який триває від запліднення до смерті. У тварин виокремлюють два основні періоди онтогенезу: ембріональний (зародковий) і постембріональний. Ембріональний період триває з моменту запліднення до моменту виходу з яйцевих оболонок або народження. У ссавців ембріональний період поділяється на кілька етапів: дроблення, гастрюляція з утворенням зародкових листків і оболонок, утворення тканин (гістогенез) і органів (органогенез).

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Навіщо організмам потрібен ембріональний період розвитку?
2. Які етапи виділяють у зародковому розвитку ссавців?
3. Навіщо наземним хребетним потрібні зародкові оболонки?
4. Плацента — важливий орган, що забезпечує функціонування плоду і перебіг вагітності. Кому належить плацента — матері чи дитині?
5. Краснуха є вірусним захворюванням, яке у дорослих має досить легкий перебіг. А от у зародка в період вагітності захворювання на краснуху може спричинити важкі наслідки. Чому?
6. Переглянь відео в **е-додатку** і дай відповіді на запитання (завдання 38.1).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 39 Постембріональний розвиток

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Акселерація — це прискорення темпів вікового розвитку у дітей та підлітків порівняно з попередніми поколіннями. Це явище спостерігається в людських популяціях. Але чому воно виникає?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Зазвичай організми після втрати здатності до розмноження довго не живуть. Це зрозуміло, бо таким чином вид уникає конкуренції за ресурси між представниками різних поколінь. Але у людини літній вік став звичним явищем. Яке це має значення для людства?
- 2 У предків людини статевая зрілість наставала значно раніше, приблизно у 6–8 років, як і у сучасних шимпанзе. У сучасної людини дитинство значно подовжилось, і статевая зрілість настає у 12–16 років. Навіщо людині знадобилося таке довге дитинство?

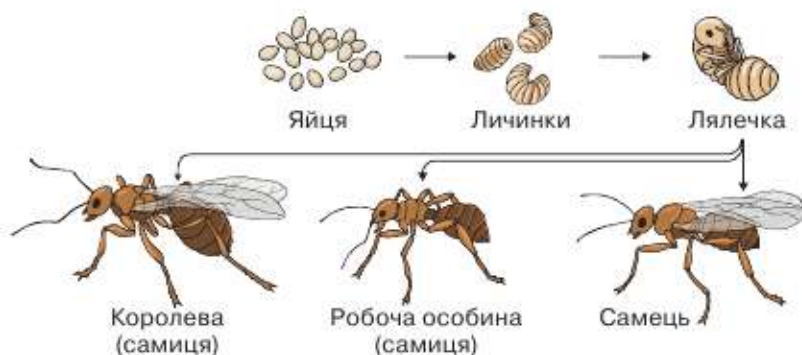
РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Постембріональний період розпочинається з моменту народження або виходу організму з яйцевих оболонок. У тварин цей період поділяють на три основні фази: дорепродуктивну (личинкову за непрямого розвитку, або ювенільну — за прямого), репродуктивну (дорослу) та пострепродуктивну (період старіння). Координація цих етапів здійснюється шляхом нейрогуморальної регуляції.

Дорепродуктивна фаза забезпечує фізичний ріст організму та розвиток його систем органів. Для видів із високим рівнем організації нервової системи вона є періодом активного навчання. Основним результатом цієї фази є досягнення статевої зрілості і набуття здатності до розмноження.

Але в деяких випадках особина може не набути здатності до розмноження. Таке трапляється у видів зі складною соціальною поведінкою,

коли представники виду можуть формувати кілька соціальних каст (як-от у мурах) (мал. 39.1), або у колоніальних організмів (фізалія).



Мал. 39.1. Соціальні касты у мурах

Доросла (репродуктивна) фаза розпочинається після закінчення ювенільної, або личинкової. Її основне завдання — забезпечити розмноження організму і самовідтворення виду. У різних тварин її тривалість може значно відрізнятись. У комах вона часто є меншою за тривалістю, ніж личинкова, а у хребетних часто значно перевищує ювенільну.

Постембріональна фаза є не у всіх тварин. У багатьох випадках тварини можуть розмножуватися тільки раз протягом життя, після чого гинуть (наприклад, горбуша). Часто пострепродуктивна фаза є важливою для соціальних видів, де особини похилого віку піклуються про особин наступних поколінь. Прикладом такого виду є людина.

Пострепродуктивний розвиток може бути прямим або непрямим, що пов'язано саме з особливостями дорепродуктивного періоду.

Головною особливістю прямого розвитку є відсутність личинкової стадії. З яйцевих оболонок або з тіла матері виходить організм, подібний за будовою до дорослої особини (має всі основні органи та системи, окрім статевої); веде подібний спосіб життя (мешкає в тому самому середовищі). Розвиток у цьому випадку зводиться до росту та статевого дозрівання. Прямий розвиток є характерним для багатьох павукоподібних, усіх плазунів, птахів, ссавців, дощового черв'яка (мал. 39.2), річкового рака тощо.

За непрямого розвитку обов'язковою є личинкова стадія. В багатьох видів будова личинки суттєво відрізняється від будови дорослої особини. Личинки і дорослі особини можуть жити в різних середовищах (вода і суходіл, ґрунт і наземне середовище).

Зазвичай личинка має і особливі личинкові органи, відсутні у дорослих особин (зябра у пуголовків, черевні ніжки у гусені метеликів) і може суттєво відрізнятися від них за способом життя та раціоном. Це дає змогу уникнути конкуренції за ресурси між різними поколіннями одного виду.

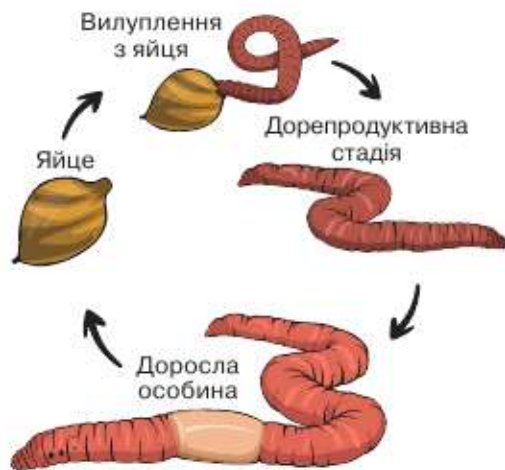
У комах розрізняють розвиток з неповним і повним перетворенням. За розвитку з неповним перетворенням личинки подібні до дорослих особин, але менші за розміром, мають недорозвинені крила і нефункціональну статеву систему. Ріст відбувається під час кількох линьок, саме тоді формуються крила та статеві органи. Такий розвиток у тарганів, сарани, богомола тощо.

За розвитку з повним перетворенням личинка значно відрізняється від дорослої особини за будовою. Спочатку вона росте (завдяки линькам) і накопичує масу, а потім переходить у нерухому стадію — лялечку. У цей період більшість личинкових тканин руйнується, а з імагінальних

дисків формуються органи дорослої особини. Непрямий розвиток характерний для усіх комах, багатьох морських ракоподібних, амфібій, коралових поліпів, двостулкових молюсків тощо (мал. 39.3).

На перебіг постембріонального розвитку істотно впливають зовнішні умови. Нестача їжі уповільнює ріст і подовжує дорепродуктивну фазу, а сприятливі умови пришвидшують перехід до дорослого стану.

Яскравим прикладом впливу умов є медоносні бджоли. З личинок розвиваються або самці (гаплоїдні трутні), або самиці — робочі бджоли та матки (мал. 39.4). Розвиток самиць визначається характером

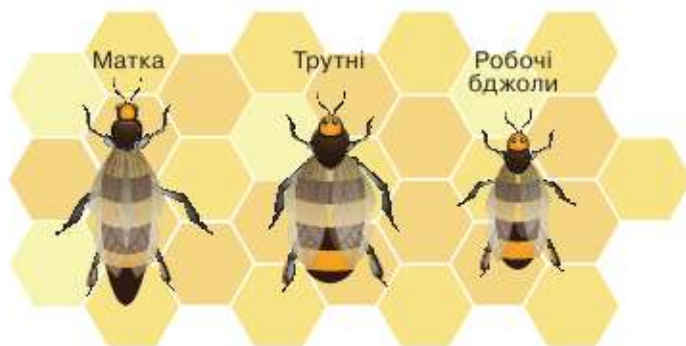


Мал. 39.2. Прямий розвиток у дощового черв'яка



Мал. 39.3. Непрямий розвиток у жаби

годування: робочі бджоли отримують маточне молочко лише перші три дні, тоді як матки — упродовж усього розвитку.



Мал. 39.4. Соціальні касти бджіл

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Постембріональний (післязародковий) період онтогенезу розпочинається після народження організму або виходу його яйцевих оболонок. Цей період у тварин поділяють на три основні фази: дорепродуктивну, репродуктивну і пострепродуктивну. Процес постембріонального розвитку може проходити без стадії личинки (прямий розвиток) і з личинковою стадією (непрямий розвиток).

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

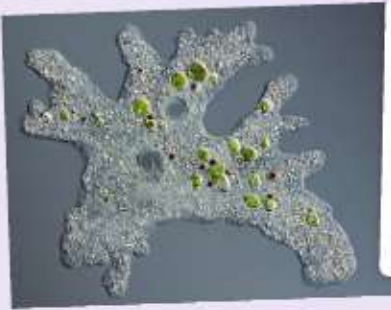
1. Що таке постембріональний розвиток?
2. Порівняй ембріональний і постембріональний періоди онтогенезу.
3. Наведи приклади тварин з прямим розвитком. Які переваги і недоліки такого типу розвитку?
4. Склади перелік характерних особливостей непрямого типу постембріонального розвитку.
5. На конкретних прикладах поясни, як неспадкові фактори можуть впливати на постембріональний розвиток.
6. Переглянь відео в **е-додатку** і дай відповіді на запитання (завдання 39.1).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 40 Життєві цикли організмів

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Якщо організми розмножуються статеву, наступне покоління формується з поєднаних у заплідненні гамет, які утворило попереднє. Із часом батьківські організми старіють (але не в усіх) і гинуть (у всіх). А от амеба протей ділиться навпіл, так утворюються дві дочірні амеби. Чи померла материнська амеба? Поясни відмінності життєвих циклів людини і амеби.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Метелики є типовими прикладами організмів з життєвим циклом, у якому личинки (гусінь) дуже не схожі на дорослих особин (імаго). Для перетворення на імаго гусені треба пройти нерухому стадію онтогенезу — лялечку, яка є більш вразливою для хижаків. У чому перевага такого життєвого циклу?
- 2 Стьожек широкий є паразитом хребетних тварин, який має складний життєвий цикл із двома проміжними хазяями (мал. 40.1). Навіщо потрібна така складність?



Мал. 40.1. Життєвий цикл стьожака широкого

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Життєвим циклом називають період між однаковими фазами розвитку двох або більшої кількості послідовних поколінь. Так, у собак життєвий цикл є періодом між дорослим собакою одного покоління і його нащадками, які досягли дорослого віку.

Тривалість життєвого циклу може значно відрізнятися у різних організмів. Так, у кишкової палички життєвий цикл є періодом між двома поділами клітини і може тривати лише пів години. А у grenландської акули період між її виходом з яйця і виходом з яйця її нащадків значно більший, бо статевої зрілості вона досягає у віці 150 років. У безхребетних тривалість життєвих циклів теж може бути великою. Наприклад, у однієї із цикад вона досягає 17 років.

Життєві цикли організмів поділяються на прості і складні. У організмів із простим життєвим циклом усі покоління не відрізняються одне від одного. Такі цикли мають кишкова паличка, амеба, річковий рак, павук-хрестовик, таргани, плазуни, птахи, ссавці (мал. 40.2).

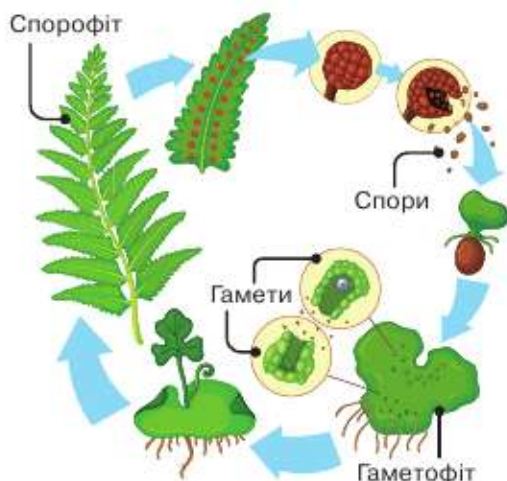


Мал. 40.2. Прості життєві цикли тварин: **1** — качки; **2** — таргана

У складних життєвих циклах закономірно змінюються різні покоління або відбуваються глибокі перетворення організму під час розвитку. Наприклад, у бабок личинки мешкають у воді й перед переходом у дорослу стадію істотно змінюють свою будову. Складний цикл характерний і для всіх комах із повним перетворенням.

Типовим прикладом організмів зі складним життєвим циклом є наземні рослини (мал. 40.3, с. 176). У них чергуються два покоління: спорофіт (диплоїдне) і гаметофіт (гаплоїдне).

Покоління гаметофіту розмножується статевим способом і утворює гамети, а покоління спорофіту розмножується нестатевим способом (утворює спори). Тож зі спори виростає гаметофіт. Після запліднення із зиготи виростає спорофіт.



Мал. 40.3. Складний життєвий цикл папороті

Одне із цих поколінь в життєвому циклі наземних рослин переважає (займає більшу частину циклу і досягає більшого розвитку). Гаметофіт переважає тільки у мохоподібних. У всіх інших наземних рослин в життєвому циклі переважає спорофіт. Чергування гаплоїдних і диплоїдних поколінь і складні життєві цикли також є характерним для багатьох водоростей (як-от бурі, червоні тощо).

Чергування поколінь, які розмножуються статевим і нестатевим способом, є харак-

терним і для інших груп організмів. Воно зустрічається у багатьох одноклітинних. Так, малярійний плазмодій в організмі комарів розмножується статевим способом, а в організмі людини — нестатевим. У жалких, які мають дві стадії життєвого циклу (поліпа і медузи), поліпи розмножуються нестатевим способом, а медузи — статевим.

У деяких тварин (дафнії, попелиці) чергуються партеногенетичні та статеві покоління. У сприятливих умовах весни й літа вони розмножуються партеногенетично, що забезпечує швидке зростання чисельності. Восени, коли умови стають нестабільними, переходять до статевого розмноження, яке підвищує генетичну різноманітність і шанси на виживання.

Часто складні життєві цикли притаманні паразитам. Такі паразити, як печінковий сисун, використовують зміну кількох хазяїв (мал. 40.4). Перевагою такого циклу є те, що на деяких личинкових стадіях паразит може розмножуватися партеногенетично, збільшуючи кількість нащадків. Крім того, наявність кількох хазяїв підвищує вірогідність



Мал. 40.4. Складний життєвий цикл печінкового сисуна

потрапляння паразита в організм хазяїна, як це добре видно на прикладі стьожака широкого (мал. 40.1, с. 174), у якого одні хазяї поїдають інших, забезпечуючи таким чином передачу паразита.

Хазяїв таких паразитів класифікують відповідно до особливостей його розмноження. Остаточним або основним хазяїном називають вид, у якому паразит розмножується статевим способом. А проміжними є тварини, в яких паразит розмножується нестатевим способом. Наприклад, для стьожака широкого основним хазяїном є ведмідь, собака або людина, а проміжними — дрібні ракоподібні і риби. У малярійного плазмодія, навпаки, людина є проміжним хазяїном, а комар — основним. А для свинячого ціп'яка людина може бути як основним, так і проміжним хазяїном.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Життєвий цикл — це період між однаковими фазами розвитку двох послідовних поколінь. Життєві цикли організмів поділяють на прості й складні. У організмів із простим життєвим циклом покоління подібні за будовою та способом життя. У складних життєвих циклах спостерігається закономірне чергування різних поколінь або відбувається складне перетворення організму під час розвитку.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. За якими ознаками можна встановити, що життєвий цикл є складним?
2. На прикладі конкретних видів тварин порівняй простий і складний життєві цикли.
3. За малюнком 40.3 визнач послідовність етапів життєвого циклу папороті, плоїдність (кількість наборів хромосом) на кожному етапі. Зауваж, що мейоз відбувається в процесі утворення спор.
4. Склади опис життєвого циклу одного з паразитичних черв'яків (на вибір).
5. У життєвому циклі одноденки личинкова фаза дуже довга, а доросла — дуже коротка. У собаки ситуація прямо протилежна. Запропонуй і обґрунтуй пояснення цього факту.
6. Виконай в -додатку завдання 40.1.

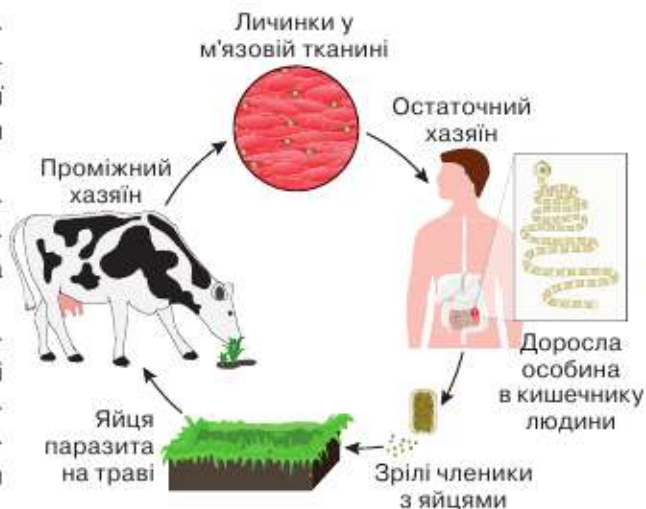
СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

Узагальнювальні дослідницькі завдання

1. Ознайомся з життєвим циклом бичачого ців'яка. Дай відповіді на запитання.

- До якого типу життєвих циклів — простих чи складних — належить життєвий цикл цієї тварини і за якими ознаками це можна визначити?
- Який із хазяїв цього паразита є остаточним, а який — проміжним? Як це можна встановити?
- Яким чином можна використати знання про особливості життєвого циклу цього паразита для профілактики захворювання людини, збудником якого він є?



2. Ознайомся з життєвим циклом хвоща. Дай відповіді на запитання.

- Яка стадія життєвого циклу хвоща забезпечує статеве розмноження рослини, а яка — нестатеве?
- Які способи нестатевого розмноження може використовувати хвощ?
- Чим відрізняються гаметофіт і спорофіт хвоща?
- Чому наявність рідкої води є обов'язковою умовою для успішного розмноження цієї рослини?
- На якій стадії життєвого циклу рослини їй потрібна вода для розмноження?
- Чим відрізняються життєві цикли хвоща і моху політриха?



5 БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА СЕЛЕКЦІЇ, БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ

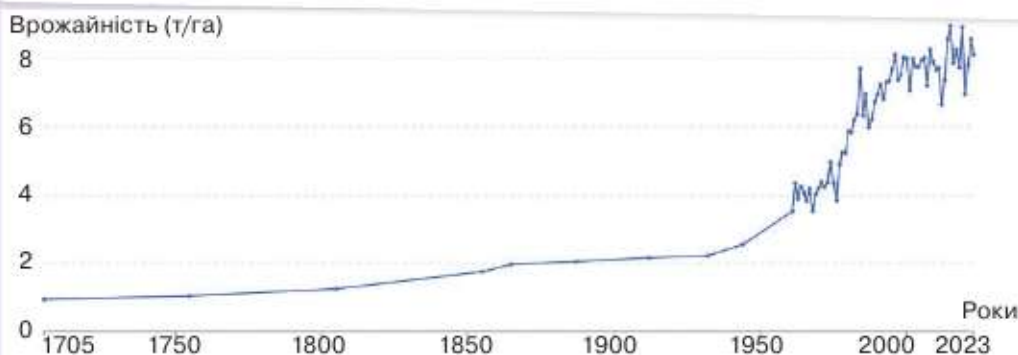


§ 41 Завдання і досягнення селекції

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Розглянь графік, на якому зображено врожайність пшениці (т/га) у Великій Британії в період з 1705 року до сьогодні. На ньому добре видно, що протягом XIX ст. врожайність зросла вдвічі, а в XX ст. спостерігається швидкий і високий ріст врожайності, який розпочався в 30-х роках. Як можна пояснити таку динаміку?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 «Зелена революція» — це комплекс змін у сільському господарстві, який відбувся в 40–70-х роках XX століття. Які позитивні і негативні наслідки мала ця «революція»?
- 2 У домашньому господарстві вирощують курей. Очікують важливих гостей, і для приготування смачної страви з курятиною обирають найкращого півня, з найбільшою масою. Чи є такі дії відповідними механізму штучного добору в селекції? Відповідь обґрунтуй.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Селекція є прикладною наукою, завданням якої є створення нових і вдосконалення існуючих форм організмів, які використовує людство у своїй діяльності. Вона розробляє методи і технології роботи з ними, адаптує організми під вимоги сучасного виробництва і нагальні потреби людини.

Селекція використовує власну систему термінів і позначень. Нові форми в межах виду у рослин селекціонери називають *сортами*, серед

тварин — *породами*, серед мікроорганізмів — *штамами*. Залежно від того, з якою групою організмів працюють селекціонери, виділяють кілька галузей: селекцію тварин, селекцію рослин, селекцію мікроорганізмів.

Селекція як галузь діяльності зародилася давно, хоча як окрема наукова дисципліна вона оформилася відносно недавно. Від самого початку процесів одомашнення організмів люди розробляли і використовували методи селекції. Дикі предки домашніх видів тварин і рослин не повністю задовольняли людей, які їх використовували. Тому вони і почали здійснювати найпростіший відбір найкращих особин з метою отримання від них нащадків, що і стало початком селекції.

Найдавніші етапи селекційних робіт зараз можна відстежити тільки по слідах у геномах одомашнених видів. Перші письмові згадки, які дійшли до нашого часу, вказують на штучне запилення фінікових пальм у Давній Фінікії більше трьох тисяч років тому.

Практичний досвід селекційних робіт поступово накопичувався. Незалежну селекцію здійснювали в усіх центрах одомашнення рослин і тварин. Поступово поширювалися найбільш вдалі сорти рослин і породи тварин. Деякі з них збереглися і зараз. Так, дуже давньою породою серед собак вважається салукі (належить до групи хортів, виведена в районі Родючого Півмісяця раніше ніж 3,5 тисячі років до н.е.) (мал. 41.1). *Дізнайся більше про виведення порід собак і котів з відео в е-додатку (завдання 41.1).*



Мал. 41.1. Салукі

За тисячоліття існування селекція досягла значних успіхів. Це добре видно по кількості порід тварин і сортів рослин, створених селекціонерами.

Кількість порід і сортів, виведена селекціонерами

Кількість сортів рослин		Кількість порід тварин	
Рис	>40 000	Вівці	>1300
Томат	>10 000	Кури	>1600
Груша	>3000	Велика рогата худоба	>1100
Яблуна	>2500	Собаки	до 400
Картопля	>4000	Кішки	до 200

Важливим успіхом селекціонерів було значне збільшення продуктивності рослин і тварин, яке було досягнуто за тисячоліття роботи. Дуже добре це видно на прикладі врожайності сільськогосподарських культур. Наприклад, у XIII ст. врожайність пшениці в країнах Європи коливалася в районі 5 ц/га (0,5 т/га). А в XIX ст. вона вже становила від 10 (на початку) до 20 (в кінці століття) ц/га. Хоча останні показники відносяться тільки до найбільш передових країн Європи на той час.

Крім селекції на врожайність впливали і технології ведення господарства. Наприклад, суттєво вплинуло на врожайність запровадження сівозмін, а в XIX ст. — поширення виготовлених промисловим способом сільськогосподарських інструментів (наслідок промислової революції).

В середині XX ст. відбулася «Зелена революція». Вона була комплексом змін в сільськогосподарських технологіях, головним рушієм яких стало створення за короткий термін високопродуктивних сортів і порід та хімізація сільського господарства. Це різко підняло врожайність всіх основних культур. Швидкий прогрес у створенні нових форм організмів став можливим завдяки відкриттю законів спадковості і досягненням генетики. Розуміння генетичних законів значно полегшило і прискорило роботу селекціонерів. А хімізація сільського господарства дала можливість у промислових масштабах забезпечити його мінеральними добривами та різко обмежила вплив шкідників, які раніше могли винищувати до 90 % врожаю.

Зараз селекція є наукою, яка виконує надзвичайно важливі для людства завдання. Можливості кількісного збільшення площ для вирощування потрібного людству продовольства і технічних культур вже вичерпано. А кількість населення планети продовжує зростати. Тому тільки робота селекціонерів може забезпечити якісне зростання продуктивності одомашнених видів.

ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ СУЧАСНОЇ СЕЛЕКЦІЇ

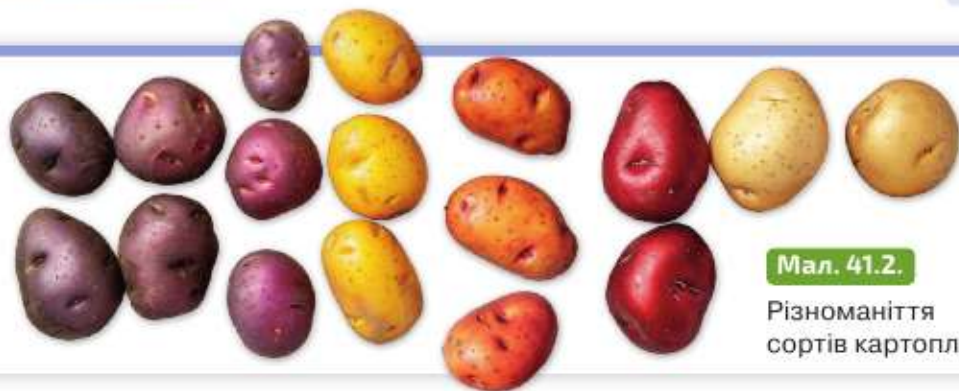
Створення нових сортів рослин з високою врожайністю (мал. 41.2)

Створення нових порід тварин з високою продуктивністю

Створення нових форм рослин і тварин, які мають підвищену стійкість до захворювань і несприятливих факторів середовища

Забезпечення зниження витрат на вирощування сільськогосподарських рослин і тварин

Адаптація сортів рослин і порід тварин до умов сучасного сільськогосподарського виробництва з урахуванням вимог нових агротехнологій



Мал. 41.2.

Різноманіття сортів картоплі

ДЛЯ ТИХ, ХТО ХОЧЕ БІЛЬШЕ ЗНАТИ...

Регіони планети, у яких склалися сприятливі умови як за кліматичними параметрами, так і за наявними видами придатних до одомашнення рослин, і в яких відбулося одомашнення певних видів рослин, називають центрами походження культурних рослин. У багатьох випадках одомашнення тварин також відбувалося в цих центрах.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Селекція — це наука, яка займається створенням нових і вдосконаленням існуючих форм організмів, які використовує людство у своїй діяльності. Вона вже кілька тисяч років забезпечує адаптацію одомашнених організмів під вимоги сучасного виробництва і нагальні потреби людини. Основними галузями селекції є селекція рослин, селекція тварин і селекція мікроорганізмів.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Поясни сутність понять «сорт», «порода», «штам».
2. Опиши, коли зародилася селекція і як це відбувалося.
3. Поясни механізми дії штучного добору.
4. Завдяки чому вдалося підвищити врожайність культурних рослин і продуктивність сільськогосподарських тварин?
5. Які основні завдання сучасної селекції?
6. Опрацюй інформацію на флеш-картках про походження культурних рослин і перевір себе (виконай в **е-додатку** завдання 41.2).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 42 Селекція рослин

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Плоди дикоростучого банана (мал. 42.1) відрізняються від культурних бананів малим розміром і наявністю великої кількості насіння. Яким чином у процесі одомашнення рослини вдалося позбутися насінин у плодах?



Мал. 42.1. Плоди дикоростучого банана

ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Існує поширена думка, що сучасні сорти томатів втратили свій оригінальний смак, а причиною цього вважають генну модифікацію. Але ці сорти було отримано методами класичної селекції. Чому ж вони втратили смак томатів?
- 2 У 1960 році українських дослідниць Олександр Колосієць і Марію Боронос було нагороджено премією за створення сортів цукрового буряку з однонасінними плодами. Чому однонасінність буряку виявилася такою важливою ознакою?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

У селекції рослин широко застосовуються практично всі методи селекції. Передусім, це класичні методи — штучний добір (як індивідуальний, так і масовий) і гібридизація. З новітніх технологій застосовують мікроклональне розмноження, соматичну гібридизацію клітин, редагування геному зі створенням генетично модифікованих організмів.

Штучний добір був першим методом селекції рослин. Людина відбирала найкращі за потрібними показниками рослини для отримання від них насіння з метою вирощування наступних поколінь. За масового добору це відбувається без урахування ознак конкретних батьківських рослин. Наприклад, після збирання зерна зі всього поля відбирають найбільші за розміром зерна з усіх зібраних. Недоліком масового відбору є те, що не береться до уваги модифікаційна мінливість. Тому темпи селекції за його застосування доволі низькі. За індивідуального добору враховується не тільки потрібна ознака

певної рослин, але й наявність ознаки у батьківських рослин. Таким чином у селекції враховують не лише фенотип, а й генотип.

Часто рослини, отримані в результаті штучного добору, схрещували, здійснюючи штучне запилення. У селекції рослин використовують близькоспоріднене схрещування, що веде до створення чистих (гомозиготних) ліній, неспоріднене схрещування в межах виду (при цьому часто спостерігають підвищену врожайність), віддалену гібридизацію (міжвидове схрещування).

Успішним прикладом міжвидової гібридизації є тритикале — гібрид жита і пшениці (мал. 42.2). Він був виведений наприкінці XIX ст. в Європі, де зараз переважно і вирощується. Перевагами тритикале є високий вміст білку і амінокислоти лізину. Комерційно успішним виявилось використання тритикале як кормової культури.



Мал. 42.2. Тритикале

Особливістю селекції тритикале стало те, що звичайні гібриди жита і пшениці виявилися неплідними. Тому для отримання плідних варіантів вчені вдалися до поліплоїдизації. Найбільш вдалим варіантом виявилися гексаплоїдні гібриди (6n).

Багато культурних рослин є поліплоїдними (жито, пшениця, бавовна, картопля, полуниця), що не лише полегшує отримання міжвидових гібридів, а й може підвищувати врожайність і стійкість до стресу. Проте чимало рослин (як-от рис, томат, кукурудза) є диплоїдними.

Клонування рослин застосовується значно ширше, ніж у тварин. Мабуть, тобі доводилося клонувати картоплю або кімнатні рослини. Адже в результаті вегетативного розмноження утворюються клони — організми з ідентичним з материнським організмом геномом.

Зараз поширеним варіантом клонування рослин є мікроклональне розмноження. Клітини рослин значно легше переходять у недиференційований стан, утворюючи калусну тканину.

Невеликі фрагменти калусної тканини розміщують на поживному середовищі у спеціальних пробірках. А для перетворення недиференційованої тканини на невелику рослину з коренем та пагоном її обробляють фітогормонами (мал. 42.3, с. 186). Перевагами цього методу є можливість швидкого розмноження рослин з потрібним генотипом незалежно від пори року. Крім того, цей метод дозволяє

отримувати посадковий матеріал від рослин, які погано розмножуються вегетативно, як, наприклад, хвойні рослини.



Мал. 42.3. Мікроклональне розмноження рослин

Значне поширення в селекції рослин отримали методи генетичної та клітинної інженерії і генетична модифікація рослин. Значною мірою це пов'язано з тим, що класичні методи селекції вже перестали задовольняти вимоги селекціонерів. Вони є невибілковими і часто можна разом із корисними ознаками отримати якісь неприємні побічні наслідки.

Так вийшло, наприклад, з томатами. Методами класичної селекції вдалося отримати сорти, плоди яких є стійкими до механічних ушкоджень при транспортуванні. Це покращувало характеристики плодів для продажу в супермаркетах. Але побічним ефектом стала втрата плодами томатів характерних смаку і запаху. Зараз цю проблему намагаються вирішити за допомогою генетичної модифікації.

Прикладом застосування технології генетичної модифікації є створення золотого рису (мал. 42.4). Так назвали генетично модифікований сорт рису посівного, який здатний синтезувати бета-каротин (попередник вітаміну А). Нестача цього вітаміну за даними ЮНІСЕФ є причиною смерті від 1 до 2 млн людей щорічно. Значна кількість



Мал. 42.4.

Золотий рис відрізняється від звичайних сортів кольором

смертей припадає на регіони, де основною продуктовою культурою є рис. Але масована інформаційна кампанія проти генетично модифікованих продуктів перешкоджає широкому використанню цього сорту.

Технологічні вимоги до культурних рослин часто мають дуже важливе значення. Наприклад, у буряка утворені квітками суцвіття плоди зростаються у супліддя. При висіванні суплідь паростки молодих буряків заважають нормальному розвитку одне одного. Це потребує великих затрат ручної праці на проріджування посівів буряків.

Тому важливим завданням стало створення одонасінневих сортів. Цю проблему вдалося розв'язати саме українським селекціонерам.

*Більше про застосування традиційних і новітніх підходів у селекції рослин дізнайся в **е-додатку** (завдання 42.1).*

ДЛЯ ТИХ, ХТО ХОЧЕ БІЛЬШЕ ЗНАТИ...

У селекції рослин використовують штучний добір (переважно масовий), усі форми гібридизації, мікроклональне розмноження, генетичну модифікацію та інші методи. Для подолання стерильності гібридів і з метою підвищення врожайності використовують поліплоїдію. Здатність рослин до вегетативного розмноження спрощує клонування (отримання генетично ідентичних нащадків).

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

У селекційній роботі з рослинами застосовують різноманітні методи, зокрема штучний (переважно масовий) добір, різні способи гібридизації, мікроклональне розмноження та генетичну модифікацію. Для усунення стерильності гібридних форм і підвищення врожайності важливу роль відіграє поліплоїдія. Наявність у рослин здатності до вегетативного розмноження значно полегшує процес клонування, тобто отримання генетично однакових нащадків.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які методи використовують у селекції рослин?
2. У чому відмінність між масовим та індивідуальним добром?
3. Які переваги надає застосування поліплоїдії у селекції рослин?
4. Опрацюй в **е-додатку** інформацію про селекцію ріпаку (завдання 42.2).
5. Завдяки яким особливостям рослин мікроклональне розмноження активно використовують у селекції? Які його переваги над статевим у селекції?
6. Об'єднайтеся у групи і підготуйте презентацію про один сорт рослин, який районований у вашій місцевості.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 43 Селекція тварин

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Фермери спостерігають, що кури, які дають багато яєць, часто мають слабший імунітет, тоді як кури, стійкіші до інфекцій, несуть менше яєць. Запропонуй селекційний підхід, який допоможе поєднати обидві бажані ознаки. Уклади план дій, спосіб оцінки результатів.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Кількість порід собак значно більша, ніж кількість порід котів. Із чим це може бути пов'язано? (Ідеї для відповіді знайди в **Е-ДОДАТКУ** (завдання 43.1).)
- 2 Здичавілі корови, які залишилися в Чорнобильській зоні відчуження після аварії, досить успішно розмножувалися. Через кілька поколінь їхні нащадки все більше нагадували давніх турів — предків корів. Чому так сталося?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Селекція тварин має свої особливості. Передусім, від однієї тварини важко отримати дуже велику кількість нащадків. Але натомість у тварин значно легше проводити контрольовані схрещування і відслідковувати, як успадковується певна ознака протягом кількох поколінь. Це й зумовило частоту використання різних селекційних методів у цій галузі.

Масовий відбір у селекції тварин переважно застосовувався на ранніх етапах доместикації (одомашнення). Пізніше переважав індивідуальний добір із залученням різних варіантів схрещувань, як спорідненого (інбридинг), так і неспорідненого (аутбридинг). Для спорідненого схрещування використовують тварин однієї породи (як мінімум) або однієї родини (частіше). Можливі варіанти схрещувань: батьки-діти або брати-сестри. Такий тип схрещування дає змогу швидко перевести потрібну ознаку у нащадків в гомозиготну форму. Побічним ефектом є високий ризик отримати разом із корисною ознакою набір спадкових захворю-

вань, які часто виокремлюються під час інбридингу. Це добре помітно на прикладі виведення деяких порід собак.

Для неспорідненого схрещування (аутбридингу) використовують тварин різних порід. В результаті може виникнути багато нових спадкових комбінацій ознак. Крім того, можливе виникнення гетерозису (явища «гібридної сили», за якого у першому поколінні нащадків за неспорідненого схрещування спостерігається значне збільшення продуктивності порівняно з обома батьками).

Це явище спостерігають і в селекції рослин, наприклад, під час вирощування кукурудзи. Гетерозис може бути соматичним (більші розміри і маса організму), репродуктивним (більша плодючість, у рослин більша врожайність) або адаптаційним (вища стійкість до несприятливих факторів середовища і захворювань).

Як і в селекції рослин, у селекції тварин застосовують віддалену гібридизацію, коли схрещують представників різних видів. У тварин такі гібриди зазвичай неплідні. Але їх можуть активно використовувати завдяки корисним властивостям, заснованим на ефекті гетерозису. Прикладом цього є гібриди коней і віслюків (мули і ослики), які отримують і використовують вже кілька тисяч років через значну силу і витривалість цих особин (мал. 43.1).

Методи клітинної інженерії в селекції тварин нині застосовують переважно з дослідницькою метою. Вирощування культур тканин або створення цибридів (клітин, утворених у результаті злиття двох різних клітин, іноді навіть представників різних видів) використовують переважно для з'ясування функцій окремих генів та механізмів їхньої дії.

Генетичну модифікацію тварин зазвичай проводять для досліджень, але інколи вона спрямована й на досягнення певних селекційних результатів. Основна ідея генетичної модифікації — це заміна гена в організмі тварини таким самим геном іншого виду або додавання гену, якого даний вид не має. Здійснюється це зазвичай ще на стадії яйце-клітини (або в культуру клітин) за допомогою спеціальних векторів на основі бактеріальних плазмід або вірусних геномів. Також може бути використана пряма ін'єкція ДНК в клітину за допомогою мікроголки



Мал. 43.1. Використання мула для транспортування вантажів

або обстріл клітин зі спеціальної генної гармати (на частках, які вона вистрілює в клітини, розташовано фрагменти ДНК з потрібним геном). Все більшого поширення зараз набуває технологія редагування геному CRISPR/Cas9.

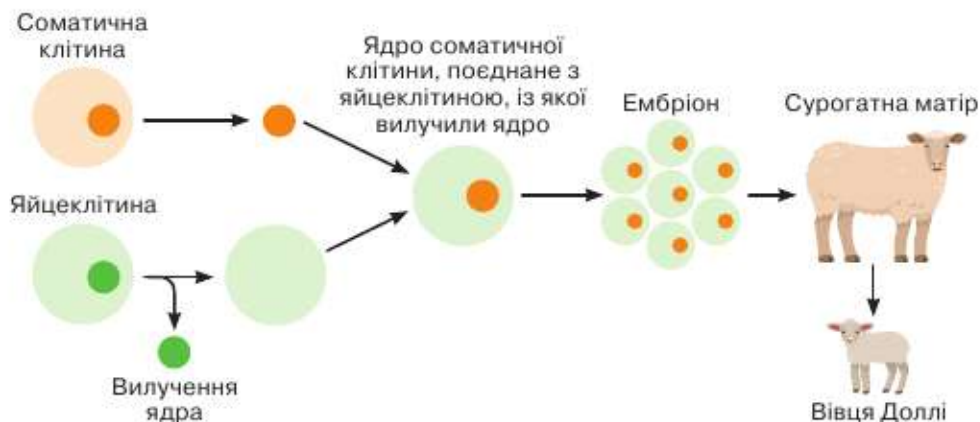
Прикладом генетичних модифікацій тварин, які було використано в селекції і допущено до використання, може бути лосось, у якого модифікували ген регуляції росту (мал. 43.2). Це дало змогу рибі рости цілий рік, а не тільки навесні та влітку, як росте звичайна форма цього виду.



Мал. 43.2. Генетично модифікований лосось

Клонування тварин також є сучасною технологією, яку можна використовувати в селекції. Особливо важливою вона може стати в ситуації, коли треба забезпечити розмноження унікальної особини якогось виду або породи у відносно короткий термін. Принцип цієї

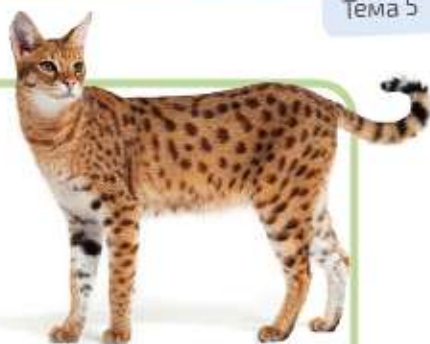
технології відображено на мал. 43.3. У тварини-донора беруть соматичну клітину, ядро якої поміщають в яйцеклітину, з якої попередньо вилучили ядро. Стимулюють поділ, і отриманий без запліднення ембріон поміщають у матку самки цього самого виду (сурогатну матір). У клонованого організму ядерний геном є копією геному донора соматичної клітини. Саме в такий спосіб було отримано вівцю Доллі. Більше про клонування дізнайся у [Е-додатку](#) (завдання 43.2).



Мал. 43.3. Схема процесу клонування тварини

ДЛЯ ТИХ, ХТО ХОЧЕ БІЛЬШЕ ЗНАТИ...

В кінці XX століття завдяки віддаленій гібридизації вдалося вивести нову породу кішок, яку назвали саванна (мал. 43.4). Породу вивели шляхом схрещування домашньої кішки із сервалом. Сервал є представником диких африканських видів кішок. Як не дивно, але гібриди виявилися здатними до розмноження. Більш того, у перших поколіннях гарно проявився ефект гетерозису — самці першого та другого поколінь були дуже великими. В 2016 році самець другого покоління встановив світовий рекорд. Він став найвищим котом у світі — висотою 48,4 см. У наступних поколіннях коти цієї породи залишаються великими, але вже мають менший розмір, приблизно такий, як у інших великих порід кішок (наприклад мейн-кунів).



Мал. 43.4. Саванна

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

У селекції тварин широко застосовують індивідуальний добір, а також різні форми споріднених і неспоріднених схрещувань. Окрім того, використовують віддалену гібридизацію, генетичну модифікацію та клонування. За допомогою клонування отримують тварин з ідентичним ядерним геномом.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які методи селекції використовують у селекції тварин?
2. Поміркуй, чому за неспорідненого схрещування спостерігають явище гетерозису.
3. У чому переваги і недоліки близькоспорідненого схрещування у тварин?
4. Які методи селекції, що активно використовують в селекції рослин, практично не використовують у селекції тварин?
5. Поміркуй, чи однакову роль у селекції тварин відводять чоловічій і жіночій статі. Обґрунтуй власне бачення ролі кожної статі.
6. Опрацюй в **е-додатку** інформацію про одомашнення тварин і виконай завдання 43.3.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 44 Селекція мікроорганізмів

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Хворі на діабет першого типу потребують ін'єкцій інсуліну. Раніше його отримували з тварин — свиней і корів. Проте ін'єкції такого інсуліну часто спричиняли алергічні реакції, оскільки його молекула має певні відмінності від людського інсуліну. Проблему ліків від цукрового діабету вдалося розв'язати за допомогою бактерій. Як бактерії змогли допомогти людям у виробництві інсуліну та інших ліків?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Генетичний аналіз показав, що всі сучасні промислові дріжджі походять від двох груп дріжджів, які були одомашнені в Європі у кінці XVI (перша група) та в середині XVII (друга група) століття. Але хлібні вироби і пиво вироблялися в Європі і значно раніше. Чому саме в цей період відбулося поширення дріжджів із цих груп?
- 2 Уклади перелік методів селекції рослин і тварин. Поміркуй, які з них практично не можна застосувати в селекції бактерій. Аргументовано доведи свої міркування методом PRES.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Селекція мікроорганізмів має свої особливості. Мікроорганізми швидко розмножуються і можуть утворювати значну кількість нащадків, а виділення в окрему культуру клітини з певною ознакою не становить труднощів. Це дає змогу ефективно використовувати як масовий, так і індивідуальний добір. Низький рівень комбінативної мінливості можна компенсувати застосуванням штучного (індукованого) мутагенезу, що сприяє швидкому формуванню різноманітності вихідного матеріалу.

Технології генетичної модифікації найкраще відпрацьовано саме для цієї групи організмів.

До недоліків роботи із цією групою належать потреба у спеціальних поживних середовищах, суворі вимоги до стерильності та біобезпеки, а також значні фінансові витрати, адже проникнення навіть одного

стороннього мікроорганізму або ризик потрапляння модифікованих організмів у довкілля можуть створити серйозні проблеми й ускладнити організацію селекційної роботи.

Особливістю селекції бактерій є відсутність у них статевого розмноження, наявність лише одного алеля гена, позаяк вони не є диплоїдними. Тому селекціонерам доводиться використовувати природні процеси обміну спадковою інформацією, які природньо притаманні цим організмам — кон'югацію, трансдукцію і трансформацію.

Трансформація — процес перенесення ізольованої ДНК з одних прокаріотичних клітин до інших. У природних умовах бактерія може поглинати з навколишнього середовища ДНК, що залишилася після загибелі іншої клітини. Поглинуті фрагменти здатні інтегруватися в нуклеоїд або плазміді реципієнтної бактерії. *Дізнайся більше про трансформацію в е-додатку (завдання 44.1).*

Трансдукція — процес перенесення ДНК між клітинами прокаріотів за участі вірусів (бактеріофагів).

Кон'югація — це процес перенесення плазмідної ДНК між двома прокаріотичними клітинами за допомогою спеціальних ниткоподібних утворень — F-пілів. Їх формування і сам процес обміну спадковим матеріалом контролюється генами, які розташовані в спеціальній F-плазміді.

Іншими об'єктами селекції є мікроскопічні еукаріотичні організми — гриби та водорості. У цих груп спостерігають статеве розмноження, проте нестатеве відбувається дуже часто. Так для більшості промислових штамів дріжджів (мал. 44.1) важливим є виведення форм, які розмножуються вегетативно (брунькуванням). Це допомагає стабілізувати характеристики грибів, які використовуються у виробництві продукції.



Мал. 44.1. Клітини пекарських дріжджів

Основні напрями роботи селекціонерів цієї галузі — створення нових штамів мікроорганізмів для потреб харчової та медичної промисловості й збереження довкілля. Певні успіхи спостерігаються і в аграрному секторі, де ґрунтові бактерії стають основою нових біодобрив. Використання бактерій, що фіксують азот з повітря, може суттєво знизити внесення мінеральних добрив у ґрунт.



Мал. 44.2.

Aspergillus niger — цвілевий гриб, який використовують у виробництві лимонної кислоти

Перспективним напрямком селекції є створення штамів мікроорганізмів, що переробляють відходи з утворенням біогазу.

Мікроскопічні цвілеві гриби використовують, наприклад, для виробництва лимонної кислоти (мал. 44.2) та особливих видів сирів, а дріжджі — для виготовлення хлібних виробів, пива та міцних алкогольних напоїв.

Генетики порівняли геноми «одомашнених» дріжджів із геномами їхніх предкових диких штамів. Виявилося, що у пекарських дріжджів, які використовують для виробництва хліба та пива, відмінності були дуже значними, тоді як у винних дріжджів — мінімальними. Це пояснюється тим, що пекарські дріжджі протягом тривалого часу перебували у штучних умовах як частина заквасок, тоді як винні дріжджі продовжували існувати у природному середовищі — на поверхні ягід винограду. Таким чином, швидкість селекційних змін у мікроорганізмів значною мірою залежить від умов їхнього вирощування.

Людина використовувала дріжджі ще з перших етапів одомашнення рослин (хоча відкрили і описали їх тільки після винайдення мікроскопа). Але тривалий час не існувало потреб у великому виробництві продукції з їх використанням. Все виробництво зосереджувалося в умовах невеличких пекарень або броварень. Лише в XVI і XVII століттях відбувся перехід на виробництва продукції у великих промислових масштабах, що і зумовило поширення найкращих штамів дріжджів за рахунок конкуренції між виробниками.

Значну роль бактерії відіграють у виробництві кисломолочної продукції (йогурти, кефіри, сири), квашенні овочів.

Новий напрям селекції мікроорганізмів — створення штамів, що очищують доквілля, переробляють відходи. Деякі штами бактерій (наприклад, *Ideonella sakaiensis*) переробляють пластик, інші беруть активну участь у знешкодженні нафти.

Бактерії і мікроскопічні гриби активно використовують у виробництві лікарських препаратів. Великим проривом у лікуванні бактеріальних інфекцій стало відкриття і виробництво антибіотиків. Це речовини, що виділяються мікроорганізмами (зазвичай грибами або бактеріями), і мають здатність пригнічувати або вбивати інші види бактерій. Дізнайся більше про антибіотики в **е-ДОДАТКУ** (завдання 44.2).

Для промислового виробництва антибіотиків проводять селекцію мікроорганізмів та культивують їх. На малюнку 44.3 зображено культуру гриба *Penicillium*, який використовують для виробництва пеніциліну.

Тому селекціонери постійно працюють над виведенням нових штамів мікроорганізмів, які забезпечують промисловість новими різновидами антибіотиків у промислових масштабах. Генетична модифікація мікроорганізмів зробила можливим вироблення ними таких важливих ліків, як гормони (наприклад, людський інсулін або гормон росту).



Мал. 44.3.

Культура гриба *Penicillium*, який використовують для виробництва пеніциліну

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Основними об'єктами селекції мікроорганізмів є бактерії та гриби (як цвілеві, так і дріжджеві). Основними методами селекції мікроорганізмів є відбір, штучний мутагенез, рекомбінація шляхом трансформації або трансдукції, генетична модифікація та інші методи. Мікроорганізми відіграють важливу роль у виробництві харчових продуктів, напоїв і лікарських препаратів (як-от антибіотики, гормони тощо) та у переробці відходів, очищенні води і ґрунту.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які організми є об'єктами селекції? Назви їх біологічні особливості.
2. З якою метою проводять селекцію мікроорганізмів?
3. Які методи використовують у селекції мікроорганізмів? Як вони допомагають отримати різноманіття генетичного матеріалу?
4. Яких умов потрібно дотримуватися у приміщеннях, де виводять нові штами мікроорганізмів? Чому?
5. Яка роль селекції мікроорганізмів у збереженні довкілля?
6. Які важливі лікарські засоби людина навчилася отримувати з мікроорганізмів? Виконай в **е-додатку** завдання 44.3.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 45 Сучасні біотехнології

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

У бактеріях, що входять до складу кисломолочних продуктів, учені почали виявляти гени бактеріофагів. Згодом з'ясувалося, що нові фагові гени з'являлися після процесу культивування. На яку думку це могло наштовхнути дослідників? І як вони, спостерігаючи за цим, навчилися змінювати геноми бактерій?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Поміркуй, якими можуть бути молекулярні ножиці, що розрізають ДНК? Перші такі «ножиці» виявили у природі у 70-х роках. Як їх можна використати?
- 2 Пластикове забруднення — проблема людства. Іде робота над створенням штамів, які розкладають пластик. Як поширення таких бактерій зможе вплинути на довкілля та життя людини? Змодельуй ситуацію.

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Біотехнологією називають сукупність промислових методів виробництва певних речовин із використанням різних організмів, біологічних процесів або явищ. Здавна біотехнології лежали в основі виробництва продуктів харчування (дріжджовий хліб, сири, кисломолочні продукти тощо) та одягу (шовк). Але як окрема галузь біотехнологія виокремилася в 70-х роках XX ст.

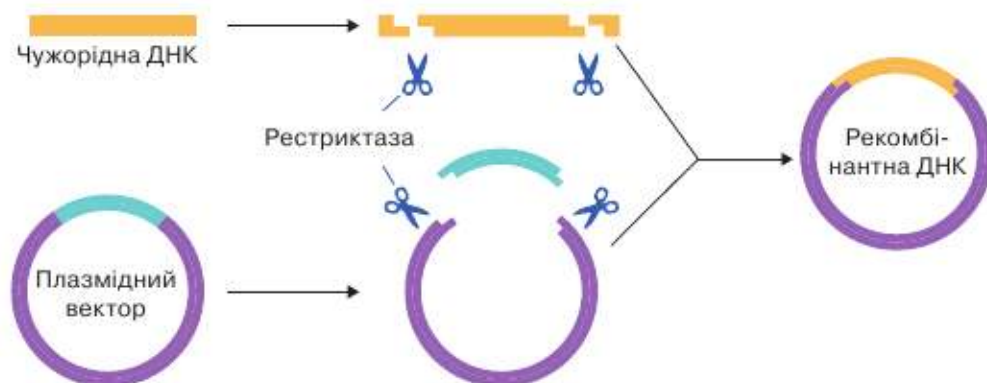
Сучасна біотехнологія широко використовує класичні технології селекції (особливо селекції мікроорганізмів), але найбільший ефект зараз приносять нові методи, розроблені останнім часом. Широко використовуються технології клітинної та генної інженерії. Найважливішими технологіями останнього часу стали технології рестрикції та CRISPR. А найпомітнішим результатом було створення моноклональних антитіл, генетично модифікованих організмів (ГМО) і генотерапії.

Технологію рестрикції було створено ще в 70-х роках XX століття на основі відкриття способу захисту бактерій від проникнення вірусної ДНК бактеріофагів за допомогою спеціальних ферментів. Рестрикція є

гідролізом молекули нуклеїнової кислоти під дією спеціальних ферментів — рестриктаз. Ці ферменти розрізають подвійну спіраль ДНК без пошкодження нітрогенових основ, здійснюючи два надрізи, розташовані на протилежних нитках ДНК. Кожна з рестриктаз розрізає ДНК не у випадковому місці, а на ділянці з певною послідовністю нуклеотидів (сайт рестрикції), до якої може входити від чотирьох до восьми нуклеотидів.

Рестриктази можуть розрізати ДНК двома способами — з утворенням «тупих» кінців (коли обидві нитки ДНК мають однакову довжину) і з утворенням «липких» кінців (коли нитки ДНК мають різну довжину і кінчик однієї з ниток виступає назовні у вигляді неспареної одинарної нитки). Наявність таких «липких» кінців дає можливість використовувати їх для створення рекомбінантної ДНК. *Про роботу рестриктаз дізнайся в **Е**-додатку (завдання 45.1).*

Принцип створення рекомбінантної ДНК полягає у тому, що дві різні молекули ДНК можна розрізати однією рестриктазою з утворенням «липких» кінців. Завдяки тому, що ці «липкі» кінці є однаковими (бо кожна рестриктаза розрізає тільки одну послідовність нуклеотидів) у різних молекул, вони легко можуть взаємодіяти між собою, бо є комплементарними. Результатом стане створення дволанцюгової ділянки ДНК і об'єднання двох молекул в одну. Саме такий підхід використовують для того, щоб вставляти певний ген в ДНК бактерій (в плазміді або в нуклеоїд) (мал. 45.1).



Мал. 45.1. Створення рекомбінантної ДНК з використанням ферментів рестрикції

Іншою проривною технологією є CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*), відкрита в 2012 році. Цю систему виявили у бактерій, які за її допомогою створювали систему захисту від проникнення в клітини ДНК бактеріофагів. Якщо бактерії під час першого контакту з вірусом вдавалося його знищити

(наприклад, за допомогою рестриктаз), то вона вбудовувала шматочок його ДНК у власний геном. А потім використовувала його у складі великого білкового комплексу для швидкого розпізнавання і знищення таких самих вірусів. Ця властивість передавалася у спадок і нащадкам цієї клітини.

Основна перевага такої системи у тому, що вона може дуже точно розпізнати певну ділянку ДНК. Таке розпізнавання дозволяє її використовувати для знаходження і заміни невеличких ділянок генів, з якими працюють біотехнологи. Швидкість, точність й ефективність їхньої роботи значно зросла.

Моноклональні антитіла — це однакові антитіла, які утворює клітинна лінія, отримана шляхом клонування одного специфічного лейкоцита. Такі лінії створюють за допомогою гібридом — клітин, утворених злиттям потрібного В-лімфоцита з раковою клітиною. Гібридами здатні постійно виробляти великі кількості антитіл, що розпізнають один антиген, тому їх широко застосовують у медичній діагностиці. *Дізнайся про це в -додатку (завдання 45.2.)* Крім того, вони можуть застосовуватися в лікуванні онкологічних захворювань.

Генна терапія — це сучасний метод лікування спадкових хвороб, спричинених дефектом одного гена. Під час лікування пошкоджений ген замінюють на його робочу копію. Це можна зробити безпосередньо в організмі або в клітинах, які тимчасово вилучають, виправляють і повертають назад.

Найбільш дискусійною технологією за останні кілька десятиріч років стала технологія створення генетично модифікованих організмів. Використання таких організмів розпочалося після відкриття рестриктаз у 80-х роках XX століття зі створення модифікованих бактерій, яким в геном додали ген людського інсуліну. Потім таким же чином було отримано багато білків, потрібних для лікування людини (наприклад, гормонів, ферментів).

Генна модифікація сільськогосподарських рослин (насамперед сої) дала змогу підвищити їх врожайність і стійкість до захворювань. В 2009 році було схвалено використання генетично модифікованих кіз, із молока яких отримували антикоагулянти, що значно знижують ризик утворення тромбів під час хірургічних операцій.

Але із самого початку використання ГМО громадськість у багатьох країнах була стурбована їх поширенням. Основними аргументами проти використання такої технології були побоювання потрапляння нових генів у природні популяції від агрокультур, можливі алергічні реакції на продукти з доданими новими генами, можлива потенційна

шкода для здоров'я людини у випадку їх споживання, релігійні й морально-етичні погляди.

Також потенційною проблемою стала можливість того, що стійкі форми можуть витіснити багато видів з екосистем, знизити біорізноманіття і порушити їх стійкість. Тому вихід ГМ-організмів за межі лабораторій має бути контрольованим з урахуванням вимог біобезпеки.

Це не є дивним, бо в основу отримання ГМО покладено природний процес горизонтального перенесення генів. Його прикладом є трансдукція у бактерій. Цей процес відбувається безперервно, протягом мільярдів років і без участі людини. Власне, сама людина є значною мірою генетично модифікованим організмом, бо генів інших видів (особливо вірусів) в її геномі багато. Деякі з них відіграють важливу роль у нашому житті.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Біотехнологією називають сукупність промислових методів виробництва певних речовин із використанням різних організмів, біологічних процесів або явищ. Найважливішими технологіями останнього часу стали технології рестрикції та CRISPR. А найпомітнішим результатом було створення моноклональних антитіл, генетично модифікованих організмів (ГМО) і генотерапії.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

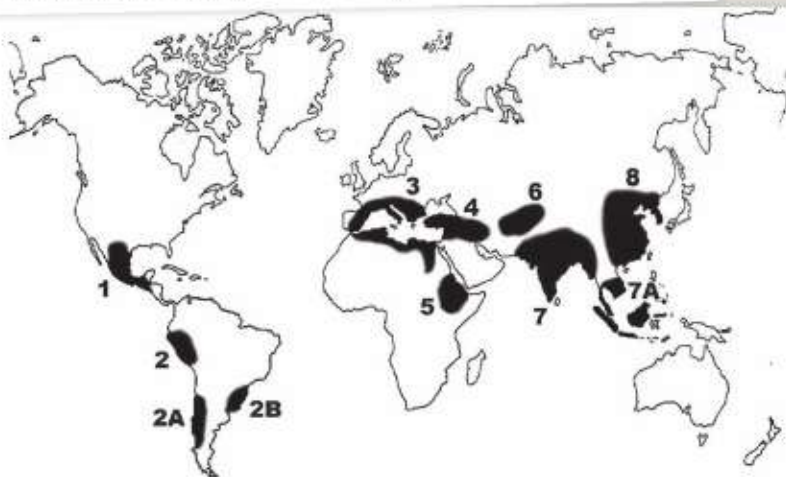
1. Дай визначення поняття «біотехнологія». Які завдання вона вирішує?
2. Наведи приклади застосування біотехнологій у виробництві їжі та кормів.
3. Окресли перспективи застосування біотехнологій для збереження довкілля.
4. Як створюють ГМ-організми? Які технології для цього використовують?
5. Як застосовують біотехнології у медицині?
6. Рестриктази розрізають ДНК лише у ділянках із певною нуклеотидною послідовністю — сайті рестрикції. У лінійній молекулі ДНК є чотири сайти рестрикції. Скільки фрагментів утвориться внаслідок дії рестриктази на цю молекулу? А якщо молекула ДНК кільцева? Рестриктаза розріже її на таку саму кількість фрагментів чи іншу? Зобрази ці дії на малюнку.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

Узагальнювальні дослідницькі завдання

1. Розглянь карту, на якій зображено центри походження культурних рослин, і виконай завдання.



- Використовуючи додаткові джерела інформації, склади перелік основних центрів походження культурних рослин.
- Вибери один із центрів походження культурних рослин і склади перелік видів, які було одомашнено в цьому центрі.
- Попрацюйте в групах. Створіть презентацію для одного з видів рослин, одомашнених у цьому центрі, в якій дослідить і пояснить значення цього виду в житті сучасної людини, вкажіть основні регіони вирощування цієї культури.

2. Вибери один із видів домашніх тварин, які зображено на малюнку, і виконай завдання.



- Укажи регіон, де було одомашнено цю тварину.
- Поясни, яке значення має ця тварина в житті сучасної людини.
- Запропонуй і обґрунтуй можливі напрями подальшої селекції цього виду.
- Створи презентацію, в якій продемонструй свої рішення попередніх завдань.

6 ЛЮДИНА І БІОСФЕРА



§ 46 Екосистеми

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

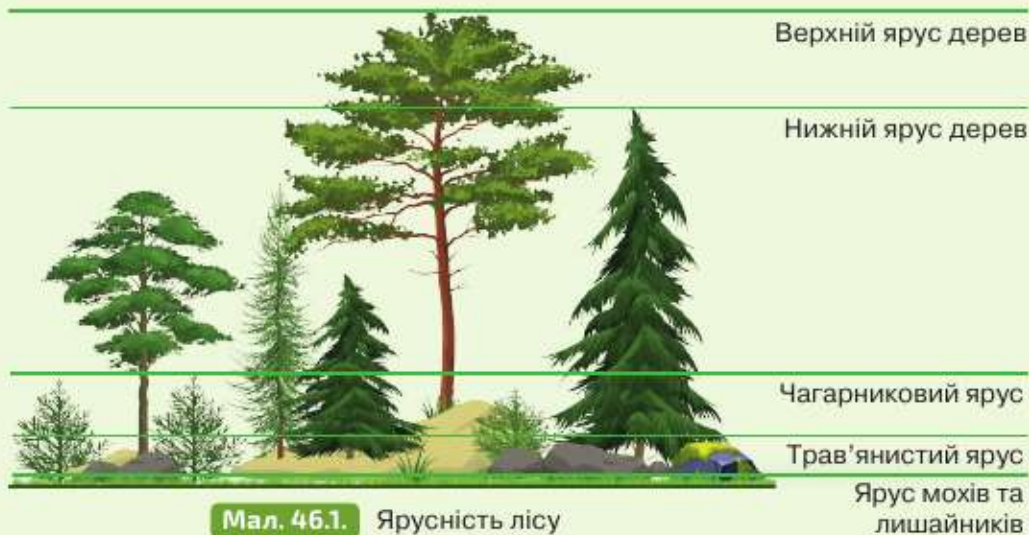


Кораловий риф, ліс і австралійська пустеля дуже різні. Але вчені об'єднують їх одним терміном — «екосистема». Що ж є між ними спільного?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** У лісі часто можна помітити, що рослини ростуть не просто так, а розподіляються по висоті, утворюючи кілька ярусів (мал. 46.1). Навіщо це потрібно?



Мал. 46.1. Ярусність лісу

- 2** На півночі України розташована зона лісів, а на півдні — зона степів. Між ними міститься зона лісостепу. А що таке лісостеп?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Організми не можуть існувати ізольовано. Вони взаємодіють між собою і навколишнім середовищем, утворюючи окремий рівень організації життя — екосистемний. У природі цей рівень представлений *екосистемами*, що є сукупностями живих організмів, які мешкають у певному середовищі існування й утворюють із ним одне ціле. Відповідно, до складу екосистем входять два основні компоненти — біотичний (біоценоз) і абіотичний (біотоп) (мал. 46.2).

КОМПОНЕНТИ ЕКОСИСТЕМИ

Біотичний (біоценоз)

Автотрофні організми (здатні створювати органічні речовини з неорганічних)

Гетеротрофні організми (потребують готові органічні речовини для створення власних речовин)

Абіотичний (біотоп)

Каміння, вода, повітря тощо

Мал. 46.2. Компоненти екосистеми

Розміри екосистем можуть бути різноманітними. Екосистема може існувати в краплі води, займати територію острова, лісового масиву, континенту або бути ще більшою. Глобальною екосистемою, яка охоплює всю нашу планету, є *біосфера*. Тому і різноманіття екосистем є високим. Але в межах нашої планети можна виокремити три основні групи екосистем — наземні, морські (солоноводні) і прісноводні (мал. 46.3).



Мал. 46.3. Екосистеми різних основних груп: **1** — наземні; **2** — морські; **3** — прісноводні

Кожна із цих груп складається з великих екосистем. На суходолі вони представлені ландшафтно-географічними зонами, а у водоймах визначаються фізичними й гідрологічними особливостями. До наземних екосистем належать степ, широколистяний ліс, тайга, мішаний ліс, пустеля тощо. Прикладом морських екосистем є рифтові (глибоководні) екосистеми,

екосистеми коралових рифів, естуаріїв (гирла річок), пелагічні (відкритого океану) екосистеми тощо. Прісноводні екосистеми представлені екосистемами проточних і стоячих водойм та екосистемами боліт.

Між чітко вираженими екосистемами можуть існувати перехідні типи. Наприклад, на суходолі існують лісостеп і лісотундра, а на межі солоних і прісних вод утворюються екосистеми солонуватих водойм (наприклад лиманів). Зі свого боку такі великі екосистеми складаються з менших. Це можуть бути екосистеми окремого лісу або луки, окремої річки, болота чи озера тощо.

Біоценози екосистем не є простою сукупністю їх живих мешканців. *Біоценоз* — це складна система взаємопов'язаних видів, які активно взаємодіють як між собою, так і з неживими компонентами екосистеми. Кожний біоценоз має свій певний видовий склад, порушення якого може призводити до негативних наслідків для всієї екосистеми саме через тісні зв'язки організмів між собою. Різні біоценози мають різноманітний за багатством видовий склад. Зазвичай біоценози, які існують у складних умовах (суворий клімат, нестача ресурсів, екстремальні значення інших складових середовища), мають бідніший видовий склад, тоді як у сприятливих умовах (тропічний ліс, кораловий риф) видовий склад значно різноманітніший.

Важливою характеристикою біоценозів є їх просторова структура — розміщення організмів у межах екосистеми за певними закономірностями. Розрізняють горизонтальну та вертикальну організацію угруповань. Горизонтальний розподіл чітко простежується на прикладі рослинності степу або лісу: ділянки з більш родючими ґрунтами заселяють вибагливіші види, тоді як на менш родючих поширені невибагливі організми. Такий розподіл зумовлений різницею в умовах середовища — вологістю, освітленням і вмістом поживних речовин.

Вертикальну структуру теж дуже добре можна побачити на прикладі лісу. Так, у широколистяному або мішаному лісі можна виявити до 5–6 ярусів. Перший ярус утворюють найвищі дерева (дуб, ясен, сосна), другий — дерева меншого розміру (горобина, дикі яблуні), третій — чагарники і підріст дерев, четвертий — низькі кущі і високі трав'янисті рослини, п'ятий — низькі трави, шостий — мохи і лишайники. Такий розподіл дає змогу рослинам ефективно використовувати сонячне світло, поглинаючи максимальну його кількість на одиницю площі.

Вертикальна структура біоценозу присутня і під землею. Це пов'язано з тим, що корені різних рослин проникають на різну глибину (мал. 46.4), а ґрунтові умови можуть досить сильно змінюватися зі зміною глибини розташування шарів ґрунту.



Мал. 46.4. Розташування коренів рослин у ґрунті

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Екосистеми є сукупностями живих організмів, які мешкають у певному середовищі існування й утворюють з ним одне ціле. До складу екосистем входять два основні компоненти — біотичний (біоценоз) і абіотичний (біотоп). Біоценози є складними системами взаємопов'язаних видів, які активно взаємодіють і між собою, і з неживими компонентами екосистеми. Кожний біоценоз має певний видовий склад і структуру.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які компоненти входять до складу екосистеми?
2. Які групи екосистем існують на нашій планеті?
3. Склади перелік характерних рис прісноводних екосистем.
4. Чому різні біоценози можуть відрізнятися за складом?
5. На конкретному прикладі поясни, чи існує вертикальна структура у водних екосистемах.
6. Переглянь відео в **е-додатку** і дай відповіді на запитання (завдання 46.1).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 47 Зв'язки організмів в екосистемах

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Основою наземних екосистем є рослини, які здійснюють фотосинтез і утворюють органічні речовини, використовуючи енергію сонця. А що може бути основою глибоководних екосистем в океані, якщо на великі глибини світло взагалі не проникає?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** Опунцію (мал. 47.1) завезли в Австралію у 1788 році. І це спричинило екологічну катастрофу. Яка це могла бути катастрофа і як вдалося її подолати?



Мал. 47.1. Опунція в Австралії

- 2** Для стабільного існування екосистеми потрібна наявність як організмів, які створюють органічні речовини, так і організмів, які ці речовини руйнують. Це і забезпечує колообіг речовин в екосистемі. Чи можливе існування екосистеми з одного виду? І, якщо можливе, то за яких умов?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Організми біоценозу поділяють на три групи: продуценти, консументи та редуценти, які виконують різні функції в екосистемі. Продуценти — це автотрофні організми, що утворюють органічні речовини. Серед них розрізняють фото- та хемоавтотрофів.

Консументи є гетеротрофами. Вони використовують для побудови своїх організмів і задоволення енергетичних потреб органічні речовини інших організмів, поїдаючи їх. Джерелом ресурсів для консументів можуть бути як продуценти (їх поїдають травоядні організми, або консументи першого порядку), так і інші консументи (їх поїдають хижаки, або консументи другого порядку). Консументів 2-го порядку зі свого боку можуть поїдати консументи 3-го порядку.

Редуценти, як і консументи, є гетеротрофами і живляться готовими органічними речовинами. Але їхнім джерелом ресурсів є мертва органіка з решток живих організмів або продуктів їх життєдіяльності. Редуцентів не слід плутати з тваринами — детритофагами, які також живляться мертвою органікою (детритофагів відносять до консументів). На відміну від детритофагів, редуценти не залишають твердих неперетравлених залишків — екскрементів. Редуценти представлені в екосистемах переважно грибами, бактеріями і археями. Їхніми кінцевими продуктами розщеплення органіки є неорганічні або найпростіші органічні сполуки.

Поїдаючи одне одного, представники біоценозу утворюють трофічні ланцюги (ланцюги живлення) і трофічні сітки (трофічні мережі). Вони створюють в екосистемі потік енергії і речовини, який зв'язує всі компоненти біоценозу і дає йому змогу успішно існувати. Харчовий ланцюг є системою взаємин між організмами біоценозу, які відбуваються шляхом поїдання одних організмів іншими і забезпечують перенесення енергії і речовини від її джерела (автотрофних організмів) до всіх організмів біоценозу. Зв'язки між організмами в харчових ланцюгах називають *трофічними*.

Кожний організм займає в ланцюгах живлення певне місце (ланку), яку називають *трофічним рівнем*. Назви цих рівнів було зазначено вище — продуценти, консументи 1-го, 2-го, 3-го порядків, редуценти. У біоценозах багато видів мають досить різноманітну дієту, тому різні харчові ланцюги біоценозу перетинаються й утворюють складні трофічні мережі (мал. 47.2).



Мал. 47.2. Трофічна мережа

Основним джерелом енергії в більшості екосистем є фотоавтотрофні організми, які запасують енергію сонця в своїх органічних сполуках. Цю енергію і використовують консументи інших трофічних рівнів. До 90 % втрачається на процеси життєдіяльності і виділення тепла. Тому кількість трофічних рівнів в екосистемах обмежена. Перехід енергії між трофічними рівнями в екосистемі часто зображують у вигляді піраміди енергії (мал. 47.3). Зазвичай на такій схемі вказують, що на наступний рівень переходить 10 % енергії, але це є умовним спрощенням, бо перехід енергії у різних видів навіть у межах одного біоценозу може відбуватися з різною ефективністю.

Більшість екосистем первинно отримують сонячну енергію, що поглинається фотосинтезуючими продуцентами. Також енергія надходить в екосистему у процесі хемосинтезу. Тобі відомі екосистеми на дні океану в зоні тектонічних розломів (пригадай черв'яків рифтій, заселених прокаріотами, що окиснюють сірководень). Крім того, на океанічне дно можуть потрапляти рештки відмерлих організмів з поверхні океану та продукти їхньої життєдіяльності. Ці речовини стають джерелом їжі для детритофагів, які своєю чергою є їжею для консументів.

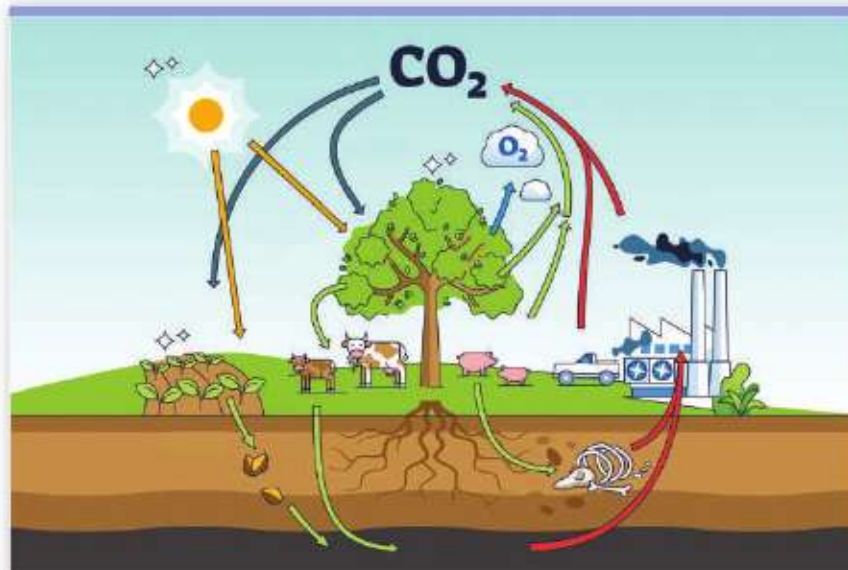
Відповідно, ланцюги живлення поділяють на два типи — пасовищний (ланцюг виїдання) і детритний (ланцюг розкладання). Детритний ланцюг розпочинається з подрібнених решток мертвих організмів. Його назва походить від латинського слова «детритус» — подрібнений.

Завдяки трофічним мережам в екосистемах на нашій планеті існує біологічний колообіг речовин — багаторазова участь хімічних елементів у процесах, що відбуваються у біосфері. Завдяки колообігу хімічні елементи переходять між організмами, потрапляють в абіотичний компонент екосистем і знову надходять до складу живих організмів.

У цьому процесі дуже важливою є роль редуцентів, які і повертають елементи зі складу організмів у біотоп. Надзвичайно важливими для існування життя є колообіги Карбону (мал. 47.4), Нітрогену, Оксигену, Сульфуру, Фосфору та інших макро- і мікроелементів.



Мал. 47.3. Піраміда енергії



Мал. 47.4.

Колообіг
Карбону

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Організми біоценозів поділяють на три основні групи — продуцентів, консументів і редуцентів. Трофічні зв'язки між ними утворюють трофічні ланцюги і мережі, завдяки яким відбувається потік енергії між всіма організмами екосистеми. Трофічні ланцюги поділяються на два типи — пасовищний і детритний. Завдяки трофічним мережам в екосистемах на нашій планеті існує біологічний колообіг речовин.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які екологічні групи організмів входять до складу біоценозу?
2. Що таке трофічний ланцюг?
3. Склади перелік характерних рис представників екологічної групи продуцентів.
4. На конкретному прикладі поясни, що таке колообіг речовин і які фактори можуть на нього впливати.
5. Склади схему руху енергії між трофічними рівнями в екосистемі з детритними ланцюгами живлення (приклад екосистеми обери самостійно).
6. Переглянь в [е-додатку](#) відео і дай відповіді на запитання (завдання 47.1).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 48 Стабільність екосистем та її порушення

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Мал. 48.1. Рапана в Чорному морі

Рапана потрапила в Чорне море з Далекого Сходу у 40-х р. XX ст. і серйозно порушила стабільність його екосистем, спричинивши різке зниження чисельності багатьох двостулкових молюсків (мал. 48.1). Які причини могли зумовити швидке і катастрофічне поширення цього виду в екосистемах Чорного моря?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Улітку 2013 року на річці Сіверський Донець було зафіксовано масове розростання екзотичної акваріумної рослини — пістії (водяного салату) (мал. 48.2). Пістія надзвичайно швидко розмножилася, захопивши нові ділянки річки вниз за течією (за кілька місяців просунувшись на сотню кілометрів) і повністю вкривши поверхні водойм. Інші рослини нею конкурентно витіснялися; водойми заболочувалися. Але протягом року ця проблема суттєво зменшилася, і поширення пістії припинилося. Хоча в Америці (штат Флорида) припинити поширення цієї рослини не вдається протягом багатьох років. Чому екосистема Сіверського Дінця виявилася більш стійкою до інтродукції цього виду, ніж американські екосистеми?
- 2 Чи можна вважати створені людиною штучні біоценози (агроценози) менш стабільними, ніж біоценози природні, чи вони, навпаки, більш стабільні?



Мал. 48.2. Пістія на поверхні річки

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Утворені трофічні зв'язки між організмами екосистем створюють стабільну структуру, яка може успішно протистояти негативному впливу різних факторів. Крім трофічних зв'язків між організмами існують й інші види взаємодій, які зміцнюють стабільність екосистем.

Прикладом таких зв'язків є різні види симбіозу (форми співіснування двох видів).

Найвідомішими формами взаємодії видів в екосистемах є конкуренція, хижацтво, мутуалізм, паразитизм і коменсалізм.

Конкуренція — це боротьба особин одного або різних видів за однакові ресурси середовища (вода, їжа, місця для гніздування тощо).

Хижацтво є взаємовідносинами, за яких один із видів харчується іншим (нападаючи на живу жертву і вбиваючи її відразу).

Якщо один із видів харчується речовинами іншого, не вбиваючи жертву миттєво, а використовує її тривалий час як джерело живлення і середовище існування, то має місце *паразитизм*.

Мутуалізм є варіантом співіснування, від якого обидва учасники отримують вигоду. За *коменсалізму* вигоду отримує тільки один з учасників, але другий при цьому не отримує шкоди.

Ресурсів екосистеми не завжди вистачає для протидії впливу негативних факторів. Тоді її стабільність порушується, а стан погіршується. Фактори, які порушують стабільність екосистем, можна поділити на три великі групи — абіотичні, біотичні й антропогенні (мал. 48.3).



Мал. 48.3. Дія факторів, які порушують стабільність екосистем:

1 — абіотичний; **2** — біотичний; **3** — антропогенний

Абіотичні фактори є результатом дії природних явищ, не пов'язаних з організмами. До таких факторів належать виверження вулканів, повені, пожежі (природного походження, наприклад, від удару блискавки), землетруси, зледеніння тощо. *Біотичні фактори* є результатом дії біологічних об'єктів (збудники захворювань, хижаки, конкуренти тощо). *Антропогенні фактори* пов'язані з діяльністю людини (полювання, знищення середовища існування, забруднення середовища, занесення інвазійних видів тощо).

Цікаво, що стійкість різних видів екосистем до порушення їх стабільності є суттєво різною. Велика кількість видів в екосистемі зі значною кількістю зв'язків між ними покращує шанси екосистеми на збереження стабільності. Велике значення мають і умови середовища

(в екстремальних умовах відновлення екосистем відбувається значно повільніше, а їх стабільність є нижчою).

За стабільністю відрізняються між собою *природні екосистеми* і *штучні екосистеми*, створені людиною (агроценози). Характерними ознаками агроценозів є збіднений видовий склад і постійне вилучення частини ресурсів у зв'язку з використанням їх людиною (збір врожаю, вилов риби тощо). Через це стабільність агроценозів суттєво нижча, ніж у природних систем, і потребує постійного впливу людини для підтримки у збалансованому стані.

Порушення стабільності екосистем стає причиною незворотних змін у них. Результатом є вимирання видів і руйнування середовища існування. Від порушень окремих екосистем страждають інші екосистеми і біосфера в цілому. Результатом надмірного порушення значної частини екосистем може бути глобальна екологічна криза. *Переглянь в е-додатку відео (завдання 48.1).*

Учення про біосферу, як особливу частину Землі, населену живими організмами, створив український учений В. І. Вернадський (мал. 48.4), хоча, на його думку, вперше до цієї ідеї наблизився французький біолог Ж.-Б. Ламарк. А сам термін «біосфера» було запропоновано австрійським геологом Е. Зюссом в 1875 році.



Біосфера вважається однією з **Мал. 48.4.** Володимир Вернадський оболонок нашої планети, але окремої структури не утворює. Вона поширюється на верхню частину літосфери, нижню частину атмосфери і займає всю гідросферу. Вона є найбільшою екосистемою планети й об'єднує всі інші екосистеми. До складу біосфери входять чотири основні компоненти, які і забезпечують її функціонування як цілісної системи, пов'язаної з іншими оболонками планети (мал. 48.5).

В 1927 році французькі вчені Е. Леруа та П. Т. де Шарден запропонували термін «*ноосфера*». В. І. Вернадський розвинув і сформулював вчення про ноосферу як певний стан біосфери, за якого розумова діяльність людини стає визначальним фактором її розвитку. При цьому він звертав увагу на поступову екологізацію всіх сфер життя людини в майбутньому, постійне збереження і поліпшення стану природного середовища. В іншому разі уникнення глобальної екологічної кризи не може бути гарантоване, як і саме існування людства.

ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ БІОСФЕРИ

Жива речовина	Біогенна речовина	Біокосна речовина	Косна речовина
Всі організми на планеті (бактерії, водорості, наземні рослини, одноклітинні, тварини, гриби тощо)	Вся речовина, створена і перероблена організмами (вугілля, торф, осадові породи, кисень і вуглекислий газ атмосфери)	Речовини, створені за участі як організмів, так і неорганічних факторів (ґрунт, мул)	Всі речовини і мінерали, утворені без участі організмів (базальт, граніт, вулканічний туф)

Мал. 48.5. Склад біосфери

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Основними формами взаємозв'язків між організмами в екосистемі є конкуренція, хижацтво, паразитизм, мутуалізм, коменсалізм. Стабільність екосистем може бути порушена внаслідок дії абіотичних, біотичних та антропічних чинників (різноманітних форм діяльності людини). Природні екосистеми мають вищий рівень стабільності порівняно зі штучними (наприклад, агроценозами) завдяки високому біорізноманіттю і завершеності колообігу речовин.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які форми взаємозв'язків між організмами формуються в екосистемах? Наведи конкретні приклади таких взаємодій.
2. Які групи чинників впливають на стійкість екосистеми? Наведи приклади для кожної групи.
3. Доведи, що природні екосистеми більш стійкі, ніж штучні.
4. Який зв'язок між біорізноманіттям і стійкістю екосистеми?
5. Поясни основні положення вчення про біосферу.
6. Які групи речовин у біосфері виділяв В. Вернадський? (Скористайся малюнком 48.5.)

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 49 Людина та екосистеми

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Хімічне забруднення здійснює токсичну дію на організми, а радіаційне є причиною їхніх мутацій. А чим може зашкодити світлове забруднення (мал. 49.1)? І як можна забруднити екосистему світлом?



Мал. 49.1. Світлове забруднення

ТРЕН УЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Велика тихоокеанська сміттева пляма є найбільшою, але, на жаль, не єдиною (мал. 49.2). Як ці плями виникли, і чому вони стали глобальною екологічною проблемою?



Мал. 49.2. Океанічні сміттєві плями (— сміття)

- 2 Війна, яка триває в Україні, стала причиною значної кількості екологічних проблем. Які ці проблеми і чому вони виникли внаслідок війни?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Людина є невід'ємною частиною екосистем, у яких живе, і не лише відчуває вплив умов довкілля, а й сама істотно змінює їх своєю діяльністю. Вплив людини на навколишнє середовище називають *антропогенним*, або *антропічним*.

Ще до появи цивілізації антропогенний вплив став суттєвим фактором. Саме його називають одним із головних чинників плейстоценового вимирання мегафауни. Але господарська діяльність людини зробила цей фактор надзвичайно великим (мал. 49.3).



Мал. 49.3. Приклади антропогенного впливу: **1** — вирубування лісів; **2** — руйнування ландшафтів; **3** — ерозія ґрунтів

Вплив людської діяльності на екосистеми настільки погіршив у деяких із них придатність до життя, що виникла потреба в оцінці якості довкілля, у якому проживає населення. Відповідно до визначення Міністерства охорони здоров'я України, якість природного середовища (якість довкілля) є станом природних і трансформованих людиною екосистем, що зберігає їхню здатність до постійного обміну речовин та енергії, а також відтворення життя.

Якість довкілля є інтегративним показником, що узагальнює вплив всіх наявних факторів середовища і характеризує придатність довкілля до збереження здоров'я людини. Стан довкілля вважається задовільним (здоровим), якщо стан здоров'я людей у такому довкіллі зберігається або покращується. Якщо стан здоров'я людини у даному довкіллі погіршується, то його стан вважається незадовільним. Якщо перебування людини в конкретному середовищі може призвести до важких незворотних наслідків, то таке довкілля вважається екстремальним.

Одним із важливих факторів, який впливає на якість довкілля, є рівень його забруднення. Забруднення є зміною складу і властивостей однієї або кількох сфер Землі (біосфери, гідросфери, атмосфери, літосфери) під впливом якогось фактору. Забруднення буває природним (наприклад, внаслідок виверження вулканів) або антропогенним (внаслідок діяльності людини).

Найбільш відомим видом забруднення є хімічне. Під час такого забруднення в середовище потрапляють речовини, які йому не властиві. Виокремлюють хімічне забруднення важкими металами, пестицидами, поверхнево-активними речовинами, токсинами, антибіотиками тощо. Ці речовини можуть здійснювати шкідливий вплив на біоценози

в цілому або на окремі види організмів з їх складу. Для оцінки впливу речовин на організми використовують поняття гранично допустимої концентрації (ГДК). ГДК — це максимальна кількість шкідливої речовини в одиниці об'єму або маси середовища, яка за щоденного впливу протягом тривалого часу не викликає змін в організмі, спадкових змін у нащадків і не порушує нормальне відтворення основних ланок даної екосистеми. Для різних видів організмів в одній екосистемі величина ГДК може бути різною.

Розрізняють хімічні, фізичні і біологічні забруднення. Фізичне забруднення (змінює фізичні параметри середовища) також може наносити значну шкоду екосистемам. До різновидів фізичного забруднення відносять радіоактивне, електромагнітне, світлове, шумове, теплове тощо. Наприклад, світлове забруднення особливо сильно проявляється у великих містах, де штучне освітлення різко подовжує світловий день, що збиває циркадні ритми рослин і тварин, які адаптовані до змін тривалості дня і ночі, що відповідають широті розташування екосистеми.

Про біологічне забруднення кажуть, якщо в екосистему потрапляють організми, які для неї невластиві. Виокремлюють біологічне забруднення сапротрофними мікроорганізмами, сапротрофними грибами, паразитами, адвентивними видами рослин, збудниками захворювань тощо.

У наш час значною загрозою для людства стали глобальні екологічні проблеми — проблеми всього людства, які охоплюють всі біоми нашої планети і для розв'язання яких недостатньо зусиль окремих країн.

ДО ОСНОВНИХ ГЛОБАЛЬНИХ ПРОБЛЕМ НАЛЕЖАТЬ:

Глобальне
потепління

Забруднення
повітря

Виснаження
озонового шару

Виснаження
природних ресурсів

Кислотні дощі

Знищення лісів

Утилізація відходів

Забруднення води

Зростання населення планети

Для їх розв'язання потрібна координація дій багатьох країн і перехід на нові технології у промисловості та сільському господарстві. Крім того, розв'язання багатьох із них пов'язане з необхідністю соціальних змін у низці країн.

Крім глобальних екологічних проблем для кожної країни, зокрема для України, важливими є регіональні і локальні екологічні проблеми. Вони є актуальними для всієї країни в цілому або для окремих її регіонів. Їх розв'язання також часто потребує координації діяльності

між регіонами країни та країнами-сусідами. Також існують екологічні проблеми місцевого рівня, актуальні насамперед для окремих громад.

НАЙВАЖЛИВІШІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ УКРАЇНИ НА ДАНИЙ МОМЕНТ

Забруднення
повітря

Забруднення
ґрунтів

Забруднення
водойм

Наслідки зміни
клімату

Наслідки
Чорнобильської
катастрофи

Знищення лісів

Утилізація відходів

Деградація ґрунтів

Наслідки військових дій у результаті російського вторгнення

Розв'язання цих проблем потребує як загальнодержавних заходів, так і зусиль місцевих громад. Низка проблем, як-от забруднення річок басейну Дунаю, екологічні проблеми Чорного моря, поширення інвазійних видів тощо, потребують узгоджених дій з окремими сусідніми країнами і Євросоюзом в цілому.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Діяльність людей суттєво змінює екосистеми. Такий вплив на навколишнє середовище називають антропогенним, або антропічним. Однією з його ключових складових є масштабне забруднення довкілля. Через втручання людини виникають різноманітні екологічні проблеми — як глобальні, так і регіональні.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що таке якість довкілля і навіщо її потрібно визначати?
2. Склади перелік видів забруднень і поясни роль людини в їх виникненні.
3. На конкретному прикладі поясни, що таке біологічне забруднення і до яких наслідків для екосистеми воно може призвести.
4. Які основні глобальні екологічні проблеми становлять найбільшу небезпеку для людства?
5. Попрацюйте в групах. Виберіть одну з найбільш актуальних екологічних проблем України та запропонуйте можливі шляхи її розв'язання.
6. Переглянь відео в **е-додатку** і дай відповіді на запитання (завдання 49.1).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 50 Збереження екосистем

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



На початку XX століття в Єллоустоунському національному парку для збереження оленів було знищено популяцію вовків. Потім вовків довелося повертати. Одним із несподіваних наслідків повернення вовків стало збільшення популяції ведмедів (мал. 50.1). Чому?



Мал. 50.1. Ведмеді в Єллоустоунському національному парку

ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Чим відрізняється заповідник від національного парку?
- 2 Дуб червоний (мал. 50.2) має гарні господарчі якості і добре росте в умовах України. Але зараз його заборонено використовувати для відтворення лісів. З чим це може бути пов'язано?



Мал. 50.2. Листя і плоди дуба червоного

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Збереження екосистем є ключовим фактором виживання людства. А для цього в першу чергу слід зберігати біорізноманіття цих систем. Наявність великої кількості видів робить зв'язки в екосистемах більш різноманітними. Такі зв'язки і розгалужені трофічні сітки збільшують стійкість екосистем до зовнішніх впливів. Тому збереження окремих видів збільшує стійкість і всієї екосистеми, а їхнє вимирання, навпаки, цю стійкість зменшує.

Наявність чи відсутність одного-єдиного виду може суттєво вплинути на стан екосистеми й на інші види, які, на перший погляд із цим видом не пов'язані. Так, в Єллоустонському національному парку на початку XX століття для збереження оленів було знищено популяцію вовків (мал. 50.3). Це суттєво вплинуло на цих оленів, бо різко погіршило стан

їхньої популяції через поширення різноманітних захворювань. Вовків повернули. Але несподіваним ефектом цього стало збільшення популяції ведмедів. Виявилося, що олені масово об'їдали ягідники, які були потрібні ведмедам для створення запасів жиру перед сплячкою. Тому регуляція їх чисельності збільшила кормову базу ведмедів.



Мал. 50.3. Олень в Єллоустоунському національному парку

Людина може впливати на біорізноманіття екосистем не тільки напряму (шляхом полювання на певні види), але й опосередковано — знищуючи середовище існування видів або завозячи інвазійні види, які шкідливо діють на екосистеми. Прикладом такого впливу може бути розведення в Україні дубу червоного. Він має певні господарські переваги перед місцевим видом (дубом звичайним), але його як середовище існування може використовувати менша кількість видів тварин (в першу чергу комах). Це значно зменшує біорізноманіття насаджень з цього дерева і екосистем в цілому.

Але людина може впливати на біорізноманіття і позитивно. Прикладом цього є реакліматизація (повторне завезення видів в колишні місця проживання). Так на північ Євразії досить успішно завезли з Америки вівцебиків (мал. 50.4), які там жили до плейстоценового вимирання.

Основним напрямом охорони природи як у всьому світі, так і в Україні стало максимально можливе збереження природних екосистем, охорона біорізноманіття, зниження рівня антропогенного впливу на природу. Для зниження антропогенного впливу створюються безвідходні виробництва, розвивається вторинна переробка відходів, і втілюється концепція



Мал. 50.4. Вівцебик

раціонального природокористування. Сучасну охорону природи побудовано на комплексному підході, коли охороняються всі компоненти довкілля. Збільшується кількість природоохоронних територій і різноманіття природоохоронних об'єктів.

В Україні створено систему законів і постанов, які забезпечують охорону природи. На законодавчому рівні заборонено діяльність, яка може шкідливо вплинути на стан ґрунтів, повітря, водойм, знищити тварин і рослин або цінні природні об'єкти. Україна також заключила низку міжнародних угод в галузі охорони довкілля.

Для збереження біорізноманіття в Україні створено ряд природоохоронних територій (заповідники, природні парки, заказники, пам'ятки природи тощо) (мал. 50.5) та затверджено ряд державних документів. До них належать Червона книга України (офіційний перелік видів та підвидів організмів, які перебувають під загрозою зникнення на території України) і Зелену книгу України (список рідкісних й типових природних угруповань, які потребують охорони на території України).



Мал. 50.5. Національний природний парк «Синевир»

В Україні існують такі типи природоохоронних територій, як заповідники (території, на яких заборонено будь-які види господарської діяльності й туризм), заказники (території, на яких охороняють певні види тварин і рослин та допускають обмежену господарську діяльність), національні парки (території, на яких в обумовлених межах дозволено організований туризм і екскурсії), пам'ятки природи (окремі природні об'єкти із заповідним режимом, що мають наукове, культурне, історичне або естетичне значення) тощо.

Основою сучасних поглядів на взаємодію людини з природою стала концепція сталого розвитку. Сталий розвиток — це розвиток людства,

який відбувається з урахуванням великої кількості факторів, що впливають як на суспільство, так і на природу. Концепцію було сформульовано в рішеннях Конференції ООН з навколишнього середовища та розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.).

Основні принципи раціонального природокористування сформовані на основі концепції сталого розвитку:

- природокористування є процесом, який не може не відбуватися;
- розвиток людства повинен задовольняти потреби нинішнього покоління без шкоди для майбутніх поколінь;
- екологічні, економічні, соціальні і культурні проблеми сучасності повинні розв'язуватися системно з урахуванням як природоохоронних, так і соціальних питань;
- використання природних ресурсів повинно відбуватися таким чином, щоб підтримувати природний баланс і мати можливість їх відновити, бо ми не можемо залишити майбутні покоління наших нащадків без будь-яких ресурсів для життя.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Збереження біорізноманіття є одним із ключових моментів у збереженні існуючих екосистем. Для захисту екосистем в Україні сформовано законодавчу базу і створено такі типи природоохоронних територій, як заповідники, заказники, національні парки тощо. Основою сучасних поглядів на взаємодію людини з природою стала концепція сталого розвитку.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Як біорізноманіття екосистеми пов'язано з рівнем її стійкості?
2. Як людина може впливати на рівень біорізноманіття екосистеми?
3. Які типи природоохоронних територій існують в Україні?
4. Навіщо потрібна Червона книга України?
5. Що таке сталий розвиток і чому людству необхідно дотримуватися його основних принципів?
6. Переглянь відео в **е-додатку** і дай відповіді на запитання (завдання 50.1).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

Узагальнювальні дослідницькі завдання

Розв'яжи екологічні задачі.

ЗАДАЧА 1

Чиста продукція (приріст біомаси внаслідок використання сонячного випромінювання) на ділянці мішаного лісу площею 100 га становить 12 т на 1 га протягом року за акумуляції 0,06 % сонячної енергії. Яким буде приріст біомаси на такій самій площі болота, де рослинністю використовується 0,04 % сонячної енергії? Інтенсивність випромінювання на обох ділянках слід вважати однаковою.

ЗАДАЧА 2

У саванні доступна для газелей біомаса рослинності (сухої речовини) дорівнює $0,1 \text{ кг/м}^2$. За правилом екологічної піраміди (піраміди енергії) розрахуй площу екосистеми, в якій зможе прогодуватися гепард масою 40 кг у ланцюзі живлення «трав'янисті рослини — газелі — гепард», якщо вміст сухої речовини в тілі гепарда 40 %, а на кожний наступний трофічний рівень у цій екосистемі переходить по 10 % речовини і енергії. Повтори розрахунок для варіанту, коли в цій екосистемі перехід речовини і енергії між продуцентами і консументами I порядку (трава — газелі) становитиме 5 %, а між консументами I і II порядків (газелі — гепарди) — 20 %.

ЗАДАЧА 3

Порівняй викиди шкідливих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел забруднення в окремих містах України у 1995 і 2000 роках.

Викиди шкідливих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел (тис. т)

Місто	1995	2000	Місто	1995	2000
Вінниця	4,6	2,1	Рівне	5,1	4,2
Івано-Франківськ	2,7	0,8	Суми	6,3	8,0
Одеса	19,1	9,4	Черкаси	22,8	16,8

Подай дані цієї таблиці у вигляді гістограми. Укажи, в яких містах кількість викидів зменшилася, а в яких — збільшилася. Запропонуй можливі пояснення зміни кількості викидів.

7 ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ



§ 51 Еволюція та еволюційні теорії

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



В XIX столітті двоє вчених Чарльз Дарвін (1) і Альфред Уоллес (2), досліджуючи природу островів, прийшли до схожих ідей щодо механізмів еволюції. Чому саме острови змогли дати їм привід для створення теорії походження видів?



ТРЕН УЙСЯ Д УМАТИ

- 1 Незважаючи на популярність, теорія Дарвіна піддавалася критиці, зокрема англійським інженером Дженкінсом. Головна ідея його заперечень — поглинаючий вплив вільного схрещування. Припустимо, що в популяції з'явилася особина із вдалішою ознакою, ніж у тих, що вже існують, але схрещуватися вона змушена лише з особинами з «нормальними» ознаками. В її дітей ця ознака буде виражена на $1/2$, в наступного покоління — на $1/4$ і так далі. Тому через кілька поколінь вдале нове надбання неминуче буде поглинуте «болотом» звичайних ознак. Дарвіну не вдавалося дати ґрунтовну відповідь на такі заперечення. Яких знань йому не вистачило?
- 2 Пересічні люди вважають, що еволюція — це завжди удосконалення. Чи дійсно біологічна еволюція завжди веде до формування ознак вищого рівня організації? Обґрунтовано підтвердь або спростуй власне бачення відповіді. Застосуй метод PRES.

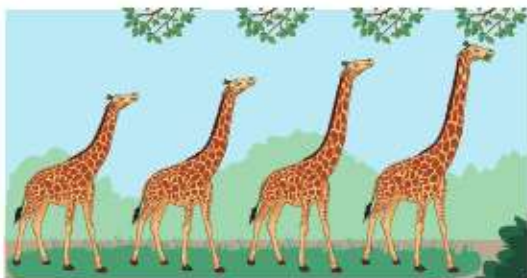
РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Часто можна почути думку, що спростування чи зміна якоїсь теорії еволюції свідчить про те, що еволюції не існує. Це неправильно. У такому випадку відбувається підміна понять, коли еволюцію і еволюційну теорію ототожнюють. Насправді це різні речі. *Еволюція* — це процес змін організмів у процесі історичного розвитку, результатом якого є утворення нових форм організмів. Цей процес відбувається постійно. Ми спостерігаємо його в природі і використовуємо у своїй діяльності.

Еволюційна теорія — не процес. Це наукова теорія, яка пропонує пояснення механізмів еволюції. Зрозуміло, що із часом вчені дізнаються нові факти про перебіг еволюційного процесу. Якщо ці факти

відповідають теорії, то вони її підкріплюють. Якщо ні, то вчені вносять у теорію зміни, які ці факти враховують.

Першу обґрунтовану наукову еволюційну теорію на початку XIX століття запропонував французький вчений Ж.-Б. Ламарк. Він вважав, що за впливу умов середовища організми набувають корисних пристосувань. Наприклад, збільшення довжини шиї та ніг жирафа



Мал. 51.1. Зміни довжини шиї та ніг жирафів за теорією Ж.-Б. Ламарка

можна пояснити постійними намаганнями тварин дотягтися до високо розташованих листків дерев (мал. 51.1). Основною ідеєю цієї теорії була здатність організмів успадковувати надбані у процесі життя ознаки. Еволюційні зміни вчений пояснював внутрішнім прагненням організмів до прогресу. *Ознайомся із сучасними науковими поясненнями походження довгої шиї в жирафа в е-додатку (завдання 51.1).*

Еволюційну теорію, основні положення якої відповідні сучасним еволюційним теоріям, у другій половині XIX століття запропонував англійський вчений Чарльз Дарвін.

На основі спостережень за відмінностями між організмами він виокремив два види мінливості: неспадкову (групову, визначену) і спадкову (індивідуальну, невизначену). Дарвін не мав уявлення про гени та мутації, проте писав, що іноді неочікувано трапляються такі зміни, що можуть надавати організму суттєву перевагу, а іноді є потворними і призводять до загибелі носіїв таких змін. Головну роль в еволюції Дарвін відвів саме спадковій мінливості.

У першому розділі епохальної книги «Походження видів» Дарвін пояснює механізми штучного добору. На конкретних прикладах селекції голубів, інших тварин і рослин він показує, як людина відбирає організми за потрібними їй ознаками, сприяє їхньому розмноженню й отримує велику кількість нащадків із бажаними ознаками.

ФОРМИ БОРОТЬБИ ЗА ІСНУВАННЯ

Внутрішньовидова (між особинами одного виду)

Міжвидова (між особинами різних видів)

Боротьба з фізичними факторами середовища

У боротьбі за існування більші шанси на виживання і розмноження мають ті особини, чиї ознаки виявляються більш корисними

в наявних умовах. Тому такі ознаки зберігаються і поступово поширюються між особинами виду (в популяції). Цей процес Ч. Дарвін назвав природним добром (мал. 51.2). Учений помилково вважав особину одиницею еволюції. Насправді окремий організм в біологічній еволюції не є важливим, якщо не лишає по собі нащадків, котрі є носіями корисних ознак, які далі поширюватимуться у популяції.



Мал. 51.2. Схема дії природного добору

Інший важливий висновок Дарвіна — визначальна роль ізоляції у видоутворенні. Цьому посприяла його участь у кругосвітній подорожі на кораблі «Вігль» і дослідження острівної флори і фауни.

Дарвін не міг пояснити, як саме з'являються нові ознаки, і як вони передаються нащадкам. На жаль, Дарвін не міг пояснити, як з'являються нові ознаки та як вони спадкуються.

Наступним етапом розвитку еволюційної теорії стало створення у середині XX століття синтетичної теорії еволюції, що доповнила основні положення теорії Дарвіна досягненнями генетики, теорії популяцій, результатами нових палеонтологічних досліджень тощо. До створення синтетичної теорії долучилися Джуліан Хакслі, Іван Шмальгаузен, Джон Холдейн, Рональд Фішер, Феодосій Добжанський, Джордж Сімпсон та багато інших науковців.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СИНТЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ЕВОЛЮЦІЇ

Мутації є матеріалом еволюції та джерелом спадкової мінливості

Групи організмів можуть перебувати у біологічному прогресі чи регресі

Елементарною одиницею еволюції є популяція (зміна частот певних «корисних» алелів у популяції забезпечує підвищення пристосованості популяції)

Елементарні еволюційні фактори: природний добір, ізоляція, дрейф генів

Основна рушійна сила еволюції — природний добір

Сучасні еволюційні теорії базуються на положеннях синтетичної теорії еволюції. Вони доповнюють її даними молекулярної біології і цитології, результатами ембріологічних досліджень і створенням математичних моделей еволюційного процесу (що було неможливо в часи Дарвіна). Сучасні технології дають змогу відстежувати процес еволюції в режимі реального часу. Так, надзвичайно докладно було відстежено еволюцію коронавірусу, який став причиною пандемії 2020 року. Було визначено місце переходу вірусу до людини, мутації, які відбувалися з ним, і місця виникнення цих мутацій у процесі поширення вірусу по планеті. Встановлювалося, як кожна мутація впливала на вірус і як змінювала його пристосованість.

Дізнайся в **е-додатку**, звідки беруться нові віруси (завдання 51.2).

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Еволюція — це процес необоротних змін організмів у ході історичного розвитку життя. Результатами еволюції є різноманітність органічного світу та пристосованість організмів до умов існування. Еволюційна теорія — це наукове пояснення механізмів еволюційних змін. Сучасні еволюційні теорії базуються на положеннях синтетичної теорії еволюції, основою для якої стали положення еволюційної теорії Ч. Дарвіна про природний добір та досягнення генетики.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Поясни різницю між поняттями «еволюція» та «еволюційна теорія».
2. Як трактував механізми еволюції Ж.-Б. Ламарк?
3. Які види мінливості розрізняв Дарвін? Якому з них відводив вирішальну роль в еволюції?
4. Поясни механізми дії природного добору відповідно до теорії Дарвіна, скористайся мал. 51.2.
5. Синтетична теорія еволюції ґрунтується на поєднанні класичного дарвінізму і генетики. Поясни, чому для пояснення механізмів еволюції генетика важлива.
6. Переконайся, що розуміння еволюції важливе у практичній діяльності (виконай в **е-додатку** завдання 51.3).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 52 Еволюційні процеси в популяціях

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Деякі види тварин опановують міське середовище, де формуються нові популяції. Наприклад, ящірки. Поміркуй, які зміни можуть з'явитися у фенотипах і генотипах в популяції міських ящірок порівняно з лісовими. Уклади план гіпотетичного експерименту для виявлення того, який вид мінливості — спадкова чи неспадкова — є визначальним у їх формуванні.



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1** Популяція наземних черевоногих молюсків, що мають два варіанти забарвлення — смугасте і однорідне, — опановує нову територію (мал. 52.1). Ці молюски часто стають здобиччю птахів, які розбивають мушлі і споживають м'які частини тіла. Результати дослідження кількості ушкоджених мушель і живих молюсків відображено у таблиці.



Мал. 52.1. Молюски одного виду з різним забарвленням мушлі

	Молюски зі смугастою мушлею	Молюски з однорідною мушлею
Живі молюски	264	299
Розбиті мушлі	486	374
Загалом	750	673

Спираючись на результати дослідження та враховуючи високу плодючість молюсків, спрогнозуй, яким буде співвідношення молюсків зі смугастими та однорідними мушлями через кілька років.

- 2** За зміни умов певний алель може надавати організмам перевагу у виживанні і розмноженні. Змодельуй ситуації: у популяції внаслідок мутації чи міграції з'являється носій такого: а) домінантного алеля; б) рецесивного алеля. У якому з двох випадків алель зможе швидше поширитися у популяції? Зберігатися в популяції в прихованому стані? Змодельуй ці процеси в **Е-ДОДАТКУ** за інтерактивною симуляцією (завдання 52.1).

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Популяція є сукупністю особин одного виду, що існує на певній території і відносно відособлена від інших популяцій цього виду. Статеве розмноження створює можливості обміну генами між особинами. Сукупність генів особин популяції називають *генофондом*. За незмінних умов частота алелів у популяції зберігалася б стабільною. Таку генетичну рівновагу в ідеальній популяції (з великою чисельністю особин, співвідношенням статей 1 : 1, вільного схрещування, відсутності міграцій, мутацій і добору) описує закон Харді-Вайнберга (ознайомся з цим законом в **е-додатку** і виконай завдання 52.2).

Проте зазвичай у реальних популяціях такі умови не зберігаються. Зміни у частотах алелів генів, генотипів і, відповідно, фенотипів в межах популяції становлять процес мікроеволюції. Оскільки гени узагальнено всіма особинами популяції, саме популяція є елементарною одиницею еволюційного процесу.

Причинами генетичних змін можуть бути: мутації, міграції, природний добір, не випадкові схрещування, випадкові зміни (дрейф генів).

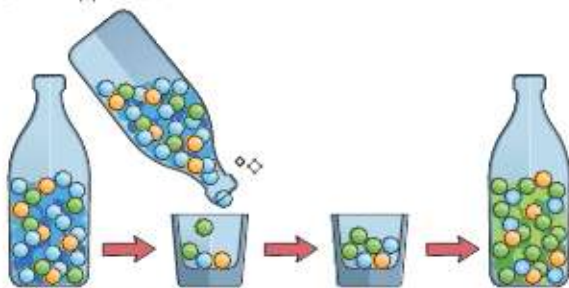
Мутації — головне джерело виникнення генетичної варіабельності, яке «постачає матеріал» для еволюційного процесу.

Міграції особин з однієї популяції в іншу і пов'язані з ними потоки генів призводять до зменшення генетичних відмінностей між популяціями.

Маленький розмір популяцій — один із важливих еволюційних чинників. У маленьких ізольованих популяціях частоти алелів від одного покоління до іншого можуть змінюватися раптово. Таку випадкову (неспрямовану і непередбачувану) зміну частот алелів називають *дрейфом генів*. Через нього після кількох поколінь один з алелів («обраний» випадково) може стати переважаючим у малій популяції. В такому разі проявляється «ефект шийки пляшки» (мал. 52.2). Тому популяція, що сформується згодом, матиме інше співвідношення генотипів і фенотипів порівняно з вихідною.

Особливо важливим чинником еволюційних змін є природний добір, що діє спрямовано, забезпечуючи більш ефективне розмноження краще пристосованих особин у певних умовах середовища.

Добір діє тільки на фенотип — саме особини з різними



Мал. 52.2. Дрейф генів

фенотипами можуть мати різну пристосованість. Алелі, що не проявляються у фенотипі (наприклад, рецесивні алелі гетерозигот), залишаються для добору «непомітними».

Добір тому і називають природним, що він здійснюється «сам собою»: пристосованіші особини передають свої алелі та їх комбінації наступним поколінням, а менш пристосовані — гинуть або не залишають нащадків, що і призводить до зміни генетичної структури популяції.

Дію добору легко зрозуміти на прикладі популяції скелястих мишей після виверження лави і зміни поверхні суходолу зі світлої піщаної на темну лавову (мал. 52.3). Початково у мишей світле забарвлення, проте внаслідок випадкових мутацій частина мишей має темне забарвлення. Хижаки швидше вполюють темну мишу на світлій поверхні і світлу — на темній. Тож залежно від забарвлення поверхні виживають і дають нащадків ті миші, забарвлення хутра яких маскує від хижаків.

Умови довкілля можуть змінюватися, що впливає на напрям добору. Розмір дзьоба галапагоських земляничків (так званих в'юрків Дарвіна) може коливатися в певних межах (мал. 52.4). У час дворічної засухи, коли вегетували лише кактуси, перевагу мали птахи з більшим дзьобом, що допомагало їм діставати з кактусів нектар чи насіння. Після рясних дощів і відновлення рослинності менші розміри дзьоба сприяли ширшому раціону птахів. Тож у популяції змінювалася частота поширення відповідних фенотипів і генотипів.



Мал. 52.3. Кишенькова скеляста миша (*Chaetodipus intermedius*)



Мал. 52.4. Земляничник великий (*Geospiza magnirostris*), один із видів в'юрків Дарвіна



Мал. 52.5. Різні форми забарвлення березового п'ядуна на корі дерев

Тож зміни генофонду популяцій, спричинені добром, можуть бути оборотними. Цікавим прикладом є зміни забарвлення метеликів березових п'ядунів у Великій Британії (мал. 52.5).

Первинно у популяції переважало світле забарвлення, що сприяло маскуванню метеликів від хижаків на фоні світлої кори дерев. Але промислова революція XIX століття спричинила забруднення повітря вугільним пилом. В результаті стовбури вкривалися пилом і ставали темнішими. В таких умовах перевагу отримали метелики з темним забарвленням. Їхня частка, як і цього алеля, в популяції зростає.

Проте уже в XX столітті розпочалася активна боротьба із забрудненням довкілля, що призвело до зменшення викидів і, відповідно, посвітління стовбурів дерев. Метелики зі світлим забарвленням знову поширилися в популяції, тоді як частка темних метеликів зменшилася. Тож мікроеволюційні процеси можуть бути оборотними.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Популяція є сукупністю особин певного виду організмів, яка існує на певній території і відносно відокремлена від інших популяцій цього виду. Генофонд — сукупність генів особин популяції. Мікроеволюційні зміни — зміна частот фенотипів, генотипів та алелів у популяції. Такі зміни можуть бути спричинені мутаціями, міграціями, малим розміром популяцій, природним добром, дрейфом генів.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Доведи, що популяція, а не особина, є одиницею еволюції.
2. Які чинники можуть впливати на зміну частот алелів у популяції?
3. Поясни, чому дрейф генів більше проявляється у малих популяціях, ніж у великих.
4. Як міграції можуть впливати на еволюцію в межах популяції та виду?
5. Виконай практичну роботу «Дослідження мікроеволюційних процесів у скелястих мишей» в **е-додатку** (завдання 52.3).
6. Переглянь в **е-додатку** відео (завдання 52.4) і дізнайся про відмінності міських і лісових ящірок.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 53 Видоутворення. Макроеволюція

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ



Мал. 53.1. Скелети сицилійських карликових слонів

На фото (мал. 53.1) показано скелети сицилійських карликових слонів, які у висоту не перевищували один метр. Вони належали до роду *Palaeoloxodon* і вважаються найменшими представниками слонів. Але до цього самого роду належав і *Palaeoloxodon namadicus*, який жив на території сучасної Індії та вважається одним із найбільших слонів. Його висота, ймовірно, досягала 4,5 метра. Як від одного спільного предка могли виникнути настільки різні тварини?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 Часто люди уявляють утворення нових видів в умовах ізоляції популяцій у різних географічних локаціях. А чи можуть утворитися різні види від одного предка на одній території?
- 2 Один із класиків американської літератури XIX ст. Герман Мелвілл у своєму романі «Мобі Дік» переконував читачів, що кити є рибами. Вчені обґрунтовано пояснюють, що письменник помилявся і що кити є представниками ссавців. Але чому риби і кити так схожі?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Тобі уже зрозуміло, як відбуваються еволюційні процеси в межах популяції. Але як утворюються нові види?

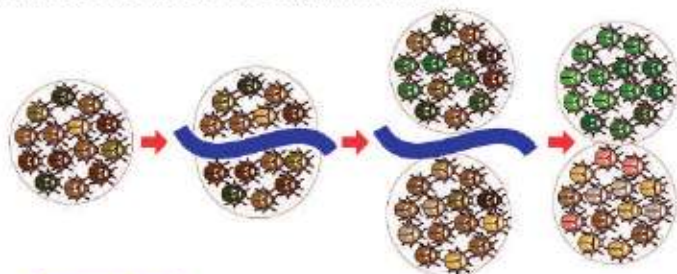
Розгляньмо видоутворення для видів, яким притаманне статеве розмноження. Пригадай поняття «вид».

Вид (англ. *species*) — це сукупність популяцій організмів, які: подібні за будовою та процесами життєдіяльності, здатні схрещуватися і давати плідне потомство, мають спільні ознаки каріотипу, мають подібні вимоги до умов існування, тісно пов'язані між собою еволюційно.

У переважній більшості випадків передумовою видоутворення є репродуктивна ізоляція.

Більшість видів існує у кількох (або багатьох) популяціях. Якщо якась популяція повністю ізольована від інших, відсутні міграції, припиняється потік генів до і від інших популяцій (мал. 53.2).

У межах популяції в особин виникають мутації (зокрема генеративні), які можуть спадкуватися. Нейтральні і корисні мутації успадковуються і поширюються серед нащадків. З часом генофонд популяції змінюється, і навіть під час зустрічі особин із двох дочірніх популяцій вони уже не можуть схрещуватися, позаяк упродовж сотень і тисяч поколінь накопичилися певні відмінності.

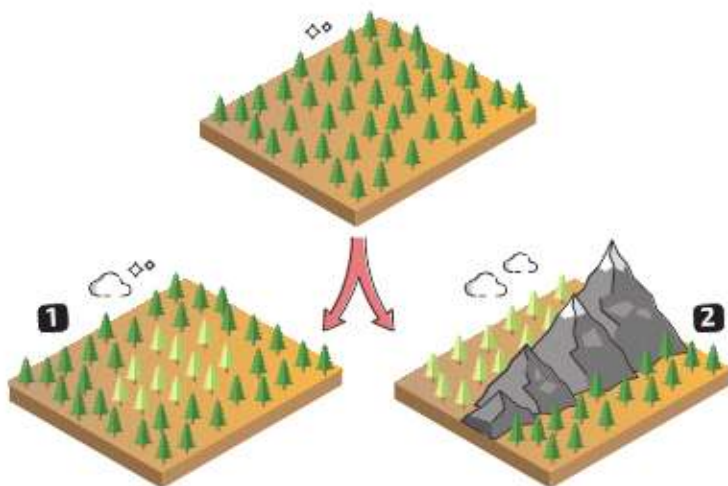


Мал. 53.2. Перебіг процесу видоутворення

Ізоляційні бар'єри можуть бути як фізичними (потрапляння на різні острови або на різні береги великої ріки), так і екологічними (нерест риб одного виду в різних місцях одного озера, полювання птахів одного виду на комах в різних частинах крон дерев, цвітіння заплавних рослин одного виду в різний час тощо). Тож, відповідно, виокремлюють географічну й екологічну ізоляцію.

З різними способами формування репродуктивних бар'єрів ознайомся за відео в **е-додатку** (завдання 53.1).

Існує кілька способів видоутворення. Найпоширенішими є географічне (алопатричне) і екологічне (симпатричне) (мал. 53.3).



Мал. 53.3. Видоутворення: **1** — екологічне (симпатричне); **2** — географічне (алопатричне)

Алопатричне видоутворення зумовлене географічною ізоляцією популяцій, а симпатричне — екологічною ізоляцією в межах одного ареалу.

Спостереження за ізоляцією видів на островах надихнули Дарвіна і Уоллеса на обґрунтування ролі ізоляції у видоутворенні. На островах часто поширені ендемічні (властиві лише певній території) види. Їх формування може бути пов'язано з ефектом засновника внаслідок дрейфу генів.

Як же на одному острові формується кілька видів? Вони потрапляють туди з материка чи формуються на самому острові? Наприклад, на кожному з великих Карибських островів є по чотири види ящірок анол, які опанували різні екологічні ніші. Як учені з'ясували походження цих видів, дізнайся, виконавши в **Е-додатку** завдання 53.2.

Особливими способами видоутворення є *гібридизація* і *поліплоїдизація*. За гібридизації новий вид виникає як гібрид інших видів. У випадку поліплоїдизації — за рахунок кратного збільшення числа хромосом у результаті мутації. Такий спосіб частіше зустрічається у рослин.

Якщо умови існування відрізняються для відокремлених популяцій, починає діяти добір на користь мутацій, що дають адаптивні переваги. Під час розділення на кілька різних популяцій, які потрапляють у різні умови, відбувається утворення відразу кількох видів, пристосованих до різних умов — *адаптивна радіація* (мал. 53.4).



Мал. 53.4. Адаптивна радіація птахів на Галапагоських островах

Адаптивна радіація відбувається як під час видоутворення, так і при формуванні великих груп організмів. Наприклад, у процесі адаптивної радіації перших ссавців у різних груп сформувалися чисельні пристосування до різних умов. Так утворилися гризуни, непарнокопитні, китоподібні, рукокрилі, хижі, примати тощо.

Сукупність процесів, що приводять до появи великих угруповань видів (родів, ро-

дин, класів, типів), називають *макроеволюцією*.

У процесі еволюції може відбуватися дивергенція і конвергенція. Коли споріднені види потрапляють у різні умови, спостерігається *дивергенція*. Це процес, унаслідок якого подібні органи в різних видів змінюються зовні, але зберігають спільний план будови (гомологічні органи). У разі

дивергенції споріднені види стають дедалі більш відмінними (наприклад, кити, бегемоти й лосі).

Конвергенція — це процес, за якого в різних, не дуже близьких за походженням організмів виникають подібні ознаки через однакові умови життя. Такі органи називають аналогічними. Наприклад, обтічна форма тіла є у акул і дельфінів.

Мікроеволюція відбувається на рівні популяцій і завершується утворенням нових видів, тоді як макроеволюція пов'язана з формуванням таксонів вищого рівня. Часто в її основі лежать поліплоїдизація або гібридизація різних організмів. Саме таке походження, наприклад, має домен Еукаріоти, які виникли за рахунок ендосимбіогенезу. Але спеціальних окремих процесів для макроеволюції не існує. Бо поняття надвидових категорій було запропоновано для зручності класифікації.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

У видоутворенні важливу роль відіграє репродуктивна ізоляція популяцій. Розрізняють такі способи видоутворення: географічне, екологічне, шляхом гібридизації і поліплоїдизації. Макроеволюція — сукупність процесів, що призводять до появи великих угруповань видів (надвидових таксонів). Дивергенція — розходження ознак у споріднених груп організмів, внаслідок пристосування до різних умов. Конвергенція — незалежний розвиток схожих ознак у неспоріднених груп внаслідок пристосування до однакових умов.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Поясни роль ізоляції у видоутворенні.
2. Які є способи видоутворення? У чому полягає відмінність між географічним і екологічним видоутворенням?
3. Поясни, як відбувається адаптивна радіація.
4. Простеж, як відбувалася еволюція ведмедів. Виконай в -додатку завдання 53.3.
5. Наведи приклади конвергенції, дивергенції.
6. Виконай в -додатку завдання 53.4.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 54 Походження життя

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

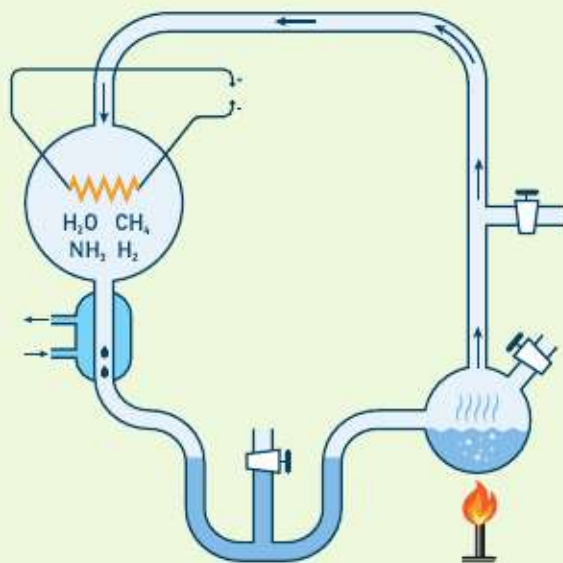


Сучасна наука вважає найбільш переконливою гіпотезу виникнення життя саме на нашій планеті. В той самий час, ще у XIX столітті, обґрунтовано довели, що самозародження життя неможливе. Як можна узгодити ці позиції?



ТРЕН УЙСЯ Д УМАТИ

- 1** У 1952 році Стенлі Міллер і Гарольд Юрі з Чиказького університету провели експеримент, у якому намагалися відтворити умови первісної Землі (мал. 54.1). Його метою було з'ясувати, чи можуть органічні сполуки виникати з неорганічних. Чи можна вважати підбір умов у цьому експерименті адекватним, а його результати вдалим?



Мал. 54.1. Схема експерименту Міллера-Юрі

- 2** Учені припускають, що життя виникло саме на Землі. Втім, оскільки наша планета дуже велика, умови на її території були і є різноманітними. У яких середовищах і де саме могло з'явитися життя?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Гіпотези, що пояснюють походження життя на Землі, поділяють на чотири основні групи: *креаціонізм*, *гіпотези стаціонарного стану*, *панспермії* та *абіогенезу* (хімічної еволюції).

Згідно з концепцією *креаціонізму*, поява живих організмів є наслідком надприродного божественного акту. Цей підхід не має наукового підґрунтя, адже спирається на віру.

Гіпотеза стаціонарного стану стверджує, що Земля існує вічно, а життя на ній ніколи не зникало повністю. Вона визнає можливість вимирання окремих видів, проте заперечує утворення нових.

В основі *гіпотези панспермії* лежить припущення, що життя виникло у Всесвіті один або кілька разів (або ж існувало споконвіку) і потрапило на нашу планету ззовні — наприклад, з метеоритами чи іншими космічними тілами.

Натомість *гіпотези абіогенезу* пояснюють зародження живого як результат хімічної еволюції неорганічних речовин.

Першу достатньо науково обґрунтовану гіпотезу абіогенезу було запропоновано на початку ХХ століття (теорія Холдейна-Опаріна). Основною її ідеєю була провідна роль у зародженні життя коацерватів (пухирців з ліпідів, які утворювалися у воді). На жаль, ця гіпотеза не пояснювала появу процесів відтворення і передачі спадкової інформації, бо на той час роль нуклеїнових кислот у спадковості ще не було з'ясовано.

Серйозним підтвердженням гіпотез абіогенезу став експеримент, який провели С. Міллер та Г. Юрі в 1952 році. Вони відтворили у герметичній ємності умови, які були на ранніх етапах існування Землі, ключова з яких — відновна, а не окисна атмосфера. Відтворені умови включали також наявність в атмосфері метану, амоніаку, водню та часте виникнення електричних розрядів. Через кілька днів вони отримали амінокислоти абіогенного походження, що і стало головним результатом експерименту.

Тривалий час в теоріях абіогенезу було складно пояснити шлях передавання і реалізації інформації, позаяк роль нуклеїнових кислот у синтезі білків ще не було встановлено. Незрозумілим залишалося й те, які речовини в процесі абіогенезу виникли раніше. Без спадкової інформації білки не могли синтезуватися, а спадкова інформація не могла реалізовуватися без участі білків-ферментів. Розв'язати цю проблему допомогло відкриття рибозимів — молекул РНК, які могли бути ферментами і каталізувати хімічні реакції. Те, що РНК може зберігати спадкову інформацію, на той момент було вже відомо.

Результатом стало формування концепції світу РНК. Згідно з нею, спочатку виникла система самовідтворення молекул РНК, які виконували роль носіїв спадкової інформації та каталізаторів. Згодом вона вступила в симбіоз із біохімічними циклами синтезу білків, що виникли незалежно, адже білки є ефективнішими каталізаторами, а нуклеїнові кислоти краще зберігають інформацію. Пізніше до цієї системи долучилася ДНК як більш надійний її носій. *Більше про гіпотезу РНК-світу дізнайся з відео в е-додатку (завдання 54.1).*

Коацервати відіграли важливу роль: за сучасними гіпотезами абіогенезу, саме вони стали основою формування клітинних мембран. Найімовірнішим періодом зародження життя вважають 4,3–3,9 млрд років тому. Щодо місця його виникнення дискусії тривають, але, ймовірно, воно зародилося в розчині — середовищі, придатному для циклів хімічних реакцій. Водночас розчин мав бути концентрованим, а його склад і умови — сприятливими для взаємодії молекул.

Основними претендентами на місце виникнення перших форм життя на даний момент вважаються: гідротермальні джерела на дні океану (мал. 54.2); гарячі прісні водойми (мал. 54.3); поверхня і порожнини кристалів піриту; глини.



Мал. 54.2. Глибоководне океанічне гаряче джерело



Мал. 54.3. Гаряче прісне джерело (The Morning Glory Pool at Yellowstone National Park)

Сьогодні гіпотези абіогенезу, які існують, дотримуються схожих поглядів щодо основних етапів виникнення життя. Відрізняються вони запропонованими механізмами, які забезпечують реалізацію цих етапів.

ОСНОВНІ ЕТАПИ ВИНИКНЕННЯ ЖИТТЯ

- Формування придатної для життя планети (з наявністю рідкої води і достатньої кількості потрібних для життя хімічних елементів).
- Абіотичний синтез органічних молекул.

- Виникнення процесів молекулярного самовідтворення, самозбірки і автокаталізу органічних молекул (саме на цьому етапі повинна була сформуватися гомохіральність – наявність в біологічних молекулах тільки одного з можливих оптичних ізомерів речовини).
- Поява клітинних мембран.
- Виникнення останнього спільного предка всіх клітинних організмів (LUCA).

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Основними гіпотезами, які пояснюють появу життя на Землі, є креаціонізм, гіпотези стаціонарного стану, гіпотези панспермії та абіогенезу (хімічної еволюції). Сучасна наука віддає перевагу гіпотезам абіогенезу. Найвірогіднішим періодом зародження життя є час від 4,3 до 3,9 млрд років тому. Можливими місцями виникнення життя могли бути гідротермальні джерела на дні океану, гарячі прісні водойми, поверхня і порожнини кристалів піриту або глини.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які є основні гіпотези походження життя на Землі? Яка з них, на твою думку, найбільш вірогідна?
2. В чому суть гіпотези панспермії? Чи пояснює ця гіпотеза походження життя загалом?
3. Які органічні молекули є претендентами на роль перших молекул життя? Якими властивостями повинні володіти такі молекули?
4. Виконай в **е-додатку** завдання 54.2. Порівняй хімічну і біологічну еволюцію, переглянувши відео.
5. Які ознаки властиві далеким спільним предкам усіх живих організмів, що отримали назву LUCA? Обґрунтуй свої міркування (скористайся підказкою в **е-додатку** (завдання 54.3)).
6. Поясни послідовність етапів формування життя згідно із сучасними гіпотезами абіогенезу.

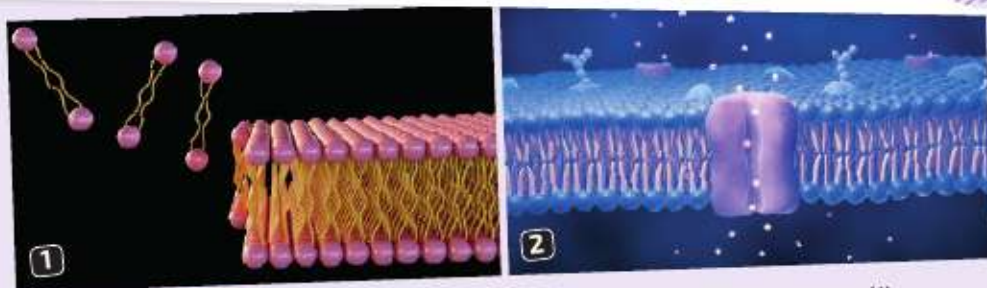
СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 55 Етапи еволюції життя

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

Розглянь зображення клітинних мембран архей і бактерій (мал. 55.1). У чому їх відмінність? Які переваги і недоліки є у мембранах архей?



Мал. 55.1. Клітинні мембрани: **1** — архей; **2** — бактерій

ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 На початку існування нашої планети її атмосфера була відновною. Але близько 2,4 млрд років тому вона змінилася на окислювальну. Чому це відбулося і які наслідки мало для організмів?
- 2 Тривалий час життя на Землі існувало в межах водойм і на суходолі проявлялося дуже слабо, переважно у вигляді мікроскопічних ґрунтових організмів. Але в першій половині палеозойської ери відбувся масовий вихід багатьох груп організмів на суходіл. Із чим це могло бути пов'язано?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Геологічні дослідження показують, що історію Землі можна поділити на кілька великих відрізків — еонів. Кожен із них складається з менших етапів — ер, які, у свою чергу, поділяються на періоди. У розвитку нашої планети виокремлюють чотири еони: гадей, архей, протерозой і фанерозой. Перші три еони зазвичай об'єднують під спільною назвою докембрій, оскільки за ними настає перший період фанерозою — кембрійський.

Докембрій ще називають *кріптозоєм* (ерою прихованого життя, бо слідів життя із цього часу збереглося мало) на противагу фанерозою (ери явного життя, бо слідів життя із цього часу збереглося багато).

Фанерозой поділяють на три ери — палеозойську, мезозойську і кайнозойську. У кожному з підрозділів геохронологічної шкали відбувалися важливі етапи еволюції життя.

Етапи розвитку життя на Землі (за еонами)			
Еон	Часові межі (млрд років тому)	Основні події	Особливості життя
Гадей	4,57–4,0	Формування Землі та Місяця; охолодження поверхні; поява океанів; процес абіогенезу	Завершення хімічної еволюції — поява перших живих форм (LUCA — останній спільний предок усіх клітинних організмів)
Архей	4,0–2,5	Формування кори та первинної атмосфери; виникнення прокаріотів	Поява перших бактерій і архей; безкисневий фотосинтез; близько 3 млрд років тому — поява ціанобактерій, що виділяють кисень
Протерозой	2,5–0,54	«Киснева катастрофа» — перехід атмосфери від відновної до кисневої; розвиток континентів	Виникнення аеробних прокаріотів, перших еукаріотів, а згодом — багатоклітинних організмів
Фанерозой	0,54 — наш час	Активна еволюція життя; поява і розвиток складних організмів	Біосфера Землі вже мала велику різноманітність організмів, а їхні рештки добре збереглися у викопному стані

Розглянь в **е-додатку** геохронологічну шкалу (завдання 55.1).

Появу як одноклітинних еукаріотів, так і багатоклітинних організмів пов'язують зі зростанням рівня кисню в атмосфері. Бо існування таких складних організмів потребує значно більших енергетичних витрат. А їх можна забезпечити тільки за рахунок кисневого окиснення органічних речовин. Поява кисневої атмосфери також стає причиною кількох глобальних зледенінь і масових вимирань, зокрема вимирання однієї з ранніх груп багатоклітинних організмів (франсвільська біота).

Багатоклітинність не є унікальною подією в історії життя — вона формувалася кілька разів у різних групах живих істот. Так, багатоклітинними стали тварини, гриби, окремі водорості та рослини суходолу.

Ознайомся в е-додатку з дописом про появу динозаврів (завдання 55.3).

Саме тоді з'являються перші активно літаючі хребетні — птерозаври, а пізніше і птахи. Переважають голонасінні рослини, у другій половині ери з'являються квіткові рослини. Домінують земноводні, головоногі молюски, плазуни. З'явилися костисті риби, яйцекладні й сумчасті ссавці та птахи. Материки розходяться. Наприкінці ери — друге за масштабами після пермсько-тріасового крейдяно-палеогенове вимирання. Вимирає багато груп організмів (зокрема, й непташинні динозаври).

Кайнозойська ера (67 млн років тому — наш час) є третьою ерою фанерозою. Протягом цієї ери материки розходяться на максимально можливу відстань один від одного. Поширюються квіткові рослини, ссавці, птахи і лускаті плазуни. Формується сучасна флора і фауна. Виникає рід Людина. Протягом цієї ери серед тварин чітко простежується тенденція переваги тварин з великим і складним мозком і складною поведінкою.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Життя виникає в кінці гадейського еону і протягом наступного часу проходить кілька важливих етапів еволюції. Основними з них є виникнення прокаріотичних і еукаріотичних клітин, виникнення окисного фотосинтезу, поява багатоклітинності, вихід організмів на суходіл, формування організмів зі складною нервовою системою і складною поведінкою.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. На які еони та ери поділяють геологічну історію Землі?
2. Які основні події відбувалися протягом архейської і протерозойської ери?
3. Що спричинило кисневу революцію і які наслідки вона мала?
4. Чому життя тривалий час було зосереджене лише у воді? Коли організми активно заселили суходіл?
5. Опиши флору і фауну кам'яновугільного періоду.
6. Які групи рослин і тварин панували у мезозої? Спираючись на додаткову інформацію, уклади характеристику однієї з груп.

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

§ 56 Еволюція людини

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

В період між 900 та 600 тисяч років тому залишки предків людини практично відсутні. Хоча до і після цього вони зустрічаються відносно часто. Що може бути причиною цього?



ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 У деяких вимерлих представників родини Гомініди (*Hominidae*) на черепі були добре розвинені гребені. Навіщо вони могли їм бути потрібними?
- 2 За якою ознакою представників підродини Люди (*Homininae*) можна відрізнити від усіх інших мавп?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Людина належить до родини Гомініди (*Hominidae*) ряду Примати класу Ссавці. Окрім неї до цієї родини з видів, що існують зараз, належать шимпанзе, горили та орангутани.

Найраніше еволюційна лінія предків людини відокремилася від спільних предків орангутанів. До цієї гілки належать кілька вимерлих форм, зокрема рамапітеки й гігантопітеки.

Серед сучасних приматів найближчими родичами людини є представники людиноподібних мавп — шимпанзе та горили. Їхній останній спільний предок, накаліпітек, жив в Африці близько 9,9–9,8 млн років тому. Трохи раніше від спільної гілки відокремилася лінія горил, розходження предків людини й шимпанзе відбулося пізніше — від 8 до 5 млн років тому. Певний час після розходження предки людей і шимпанзе ще були здатні схрещувалися, але потім ця можливість зникла.

В е-додатку ознайомся з дослідженнями подібності ДНК людини і шимпанзе (завдання 56.1).

Сучасна людина (*Homo sapiens* L.) належить до окремої підродини Люди (*Homininae*). Еволюція цієї групи вивчена досить ґрунтовно: до неї відносять сім родів і близько тридцяти видів, серед яких усі, крім сучасної людини, вимерли.

Найхарактернішою ознакою, що відрізняє представників цієї підродини від інших мавп, є пристосування до прямоходіння, а не розмір мозку, як часто помилково вважають. Об'єм мозку багатьох ранніх форм навіть був меншим, ніж у шимпанзе чи горил, тоді як пряма хода є винятково людською рисою.

Найдавнішими представниками підродини Люди вважають сахель-антропа (приблизно 6–7 млн років тому), а також орорина та ардіпитека, які жили 4–6 млн років тому. Ці ранні гомініни мешкали в Африці, переважно на межі лісу та саванни. Хоча значну частину часу вони проводили на деревах і добре лазили по гілках, у їхній будові вже спостерігалися ознаки пристосування до прямоходіння.

Нащадками ардіпитеків і важливим етапом у подальшій еволюції людини стали австралопітеки. Саме їх часто називають «проміжною ланкою» між людиною та класичними мавпами, адже ці істоти поєднували риси обох груп і мали приблизно половину характерних ознак людини.

Австралопітеки жили в Африці близько 4–2,5 млн років тому, добре пристосувалися до життя в саванні й володіли прямоходінням, хоча ще досить часто пересувалися по деревах.

Здатність ходити у вертикальному положенні надавала суттєві переваги: полегшувала огляд місцевості, давала змогу переносити дитинчат і їжу у вільних руках, а також захищатися від хижаків, використовуючи палиці чи каміння.

Під час переходу від ардіпитеків до австралопітеків, який тривав приблизно 300 тис. років, будова нижніх кінцівок зазнала істотних змін, що забезпечило ефективніше пересування по землі. Завдяки цьому австралопітеки змогли освоїти саванни й успішно існувати там не менше 1,5 млн років.

Австралопітеки стали предками двох різних еволюційних ліній. Представники першої з них спеціалізувалися на споживанні рослинної їжі, поступово збільшуючи її частку в раціоні. У результаті виникли парантропи, які жили в африканській саванні у проміжку 2,5–0,9 млн років тому. Адаптацією до такого способу харчування став розвиток на черепі великих гребенів, до яких кріпилися м'язи жуйної мускулатури (мал. 56.1, с. 246). Також значно збільшилися розміри зубів (вони стали найбільшими серед представників підродини). До того ж наявність гребенів на черепі обмежила потенційні можливості для зростання об'єму мозку, бо збільшений мозковий череп заважав би роботі жуйних м'язів.

Перехід парантропів на вегетаріанське харчування призвів до їхньої конкуренції з представниками копитних і гризунів. Витримати цю конкуренцію вони не змогли, через що й вимерли після погіршення кліматичних умов.

Представники другої еволюційної лінії залишилися всеїдними і збільшили споживання м'яса. Результатом стала редукція гребенів на черепі, зменшення розміру зубів і щелеп та гарні можливості для

збільшення розміру мозку. Ця лінія зумовила появу перших представників роду Людина (*Homo*).



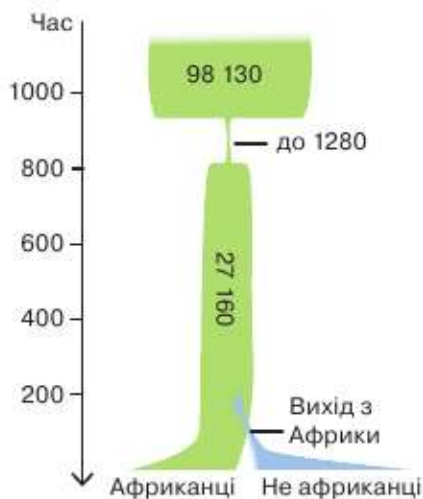
Мал. 56.1. Череп парантропа

Рід Людина сформувався приблизно 2,4 млн років тому в Африці. До його ранніх представників належать Людина вміла (*Homo habilis*) і Людина працююча (*Homo ergaster*). Спочатку вважали, що саме Людина вміла стала першим представником підроддини, який регулярно виготовляв і використовував кам'яні знаряддя. Але останні дослідження свідчать, що цей процес розпочався ще у пізніх австралопітеків. А от Людина працююча вважається першим видом, який почав використовувати вогонь. Хоча масове і регулярне використання його стало властивим для представників нашого роду значно пізніше.

Нащадок перших людей — Людина прямоходяча (*Homo erectus*) — уже жив не лише в Африці, але й в Азії та на півдні Європи. До азіатських представників цього виду раніше застосовували окремі назви — пітекантроп і синантроп.

Гейдельберзька людина (*Homo heidelbergensis*), яка змінила Людину прямоходячу, жила не лише в Африці, а й у Європі та Азії. Саме під час цього переходу сталася важлива еволюційна подія — у предків людини відбулася хромосомна перебудова, унаслідок якої дві менші хромосоми злилися в одну велику — хромосому 2.

Цей процес тривав доволі довго — між 900 і 600 тисячами років тому. У цей період чисельність популяції предків людини була дуже малою (мал. 56.2).



Мал. 56.2. Потенційна чисельність популяцій предків нашого виду в різні часи

У подальшому шляхи різних популяцій Людини гейдельберзької розійшлися. Європейські популяції стали предками неандертальців, азіатські — денісівців, а африканські еволюціонували до Людини розумної (*Homo sapiens*). Приблизно 70–80 тисяч років тому предки сучасної людини вийшли з Африки й поступово заселили всі континенти. Інші види роду *Номо* до того часу вимерли, однак між ними й нашими предками відбувалося схрещування, унаслідок чого частина їхніх генів збереглася в сучасних людях. В -додатку дізнайся більше про інших представників цього роду (завдання 56.2).

БІОСЛОВО

Антропогенез — це формування людини в процесі еволюції під впливом біологічних і соціальних чинників.



ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

Еволюція людини значною мірою відбувалася на території Африки. Основними її напрямками були розвиток і вдосконалення прямоходіння, опанування знарядь праці, розвиток мозку та соціальних взаємодій.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. До якої родини відносять рід Людина (*Номо*)? Які інші примати є представниками цієї родини?
2. На якому материкі відбувалася рання еволюція предків людини? Які умови цьому сприяли?
3. Уклади схему етапів еволюції людини. Підготуй коротку характеристику кожного етапу.
4. За допомогою інтерактивного дослідження в -додатку (завдання 56.3) поясни, як науковці здійснюють дослідження еволюції людини.
5. Яку роль в еволюції людини відіграли соціальні чинники? Поясни на конкретних прикладах.
6. Яку інформацію для розуміння еволюції людини надає дослідження скелетів? Які частини скелету надають найціннішу інформацію для такого пояснення?

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

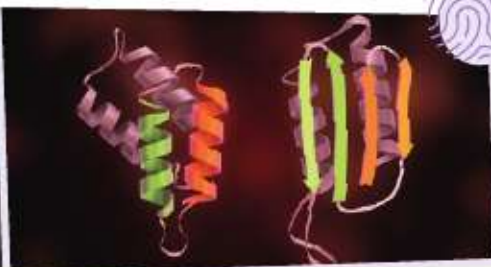
§ 57 Фундаментальні властивості біологічних систем

БІОЛОГІЧНИЙ ДЕТЕКТИВ

Віруси, віроїди і пріони розглядаються як неклітинні форми життя. Дискусія щодо того, чи є віруси живими, триває давно і поки остаточно не вирішена, бо є вагомі аргументи на користь обох точок зору. А от чи можна вважати живими віроїди (мал. 57.1) і пріони (мал. 57.2)?



Мал. 57.1. Віроїд



Мал. 57.2. Нормальний варіант молекули білка і її пріонна форма

ТРЕНУЙСЯ ДУМАТИ

- 1 У яких формах може передаватися інформація в живих системах? Запропонуй якомога більше прикладів.
- 2 Комп'ютерні віруси отримали таку назву завдяки певній схожості із вірусами звичайними. А чи можна у комп'ютерних вірусів знайти якісь ознаки живих об'єктів?

РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Живі системи є дуже різноманітними. Але всі їх об'єднує наявність спільних властивостей, які й відрізняють живе від неживого. До таких властивостей відносять єдність хімічного складу, наявність обміну речовин і енергії, здатність до сприйняття сигналів / подразників, їх обробку і відповідь на них, саморегуляцію, самовідтворення, ріст і розвиток, мінливість, здатність до еволюції, ієрархічність організації.

Слід відзначити, що кожна із цих властивостей можна зустріти в неживих об'єктах. Наприклад, загинула особина комахи за своїм хімічним складом не буде відрізнятися від живої. Але до живих об'єктів вона вже не належатиме. Однією з властивостей кристалів

є їхня здатність до росту (мал. 57.3). Прикладом саморегуляції можуть слугувати буферні розчини, які підтримують сталі значення рН в умовах додавання речовин, які цей показник порушують. А мінливість і здатність до розвитку неорганічних речовин стали основою для виникнення життя шляхом абіогенезу.



Мал. 57.3. Утворенні і ріст кристалів солі в природних умовах

Єдність хімічного складу живих систем проявляється у тому, що вони побудовані на основі органічних молекул. Основними хімічними елементами, які входять до складу цих молекул, є Карбон, Оксиген, Гідроген, Нітроген, Фосфор і Сульфур. Інші елементи в живих системах трапляються в меншій кількості. Серед цих елементів є як поширені на нашій планеті, так і достатньо рідкісні. Їх входження до складу живих систем визначається передусім їх хімічними властивостями, які необхідні для участі в метаболізмі.

Органічні речовини в них представлені такими основними групами, як нуклеїнові кислоти, білки, ліпіди і вуглеводи. Цілий ряд інших груп органічних речовин також може утворюватися і використовуватися організмами, але вони відіграють у живих системах допоміжну роль.

Живі системи є відкритими. Тобто вони можуть існувати тільки за умови постійного обміну речовиною, енергією й інформацією з навколишнім середовищем. Але й усередині живих систем відбувається інтенсивний обмін речовин, енергії та інформації між окремими частинами системи (органелами клітин, органами організму, організмами в екосистемі). Характерною особливістю живих систем є їхня хіральність, що суттєво впливає на перебіг обміну речовин. Хіральність проявляється в тому, що в процесах обміну може брати участь тільки один із двох варіантів оптичного ізомеру певної речовини. Наприклад, у живих системах використовуються тільки «праві» ізомери моносахаридів і тільки «ліві» ізомери амінокислот. Це пов'язано з величезним значенням просторової орієнтації окремих груп атомів у молекулах речовин живих систем (мал. 57.4). Саме ця властивість дозволяє білкам-ферментам бути настільки високоефективними каталізаторами.

В е-додатку зіграй у гру «Хіральність» (завдання 57.1).

Завдяки безперервному обміну речовин і енергії живі системи постійно перебувають у стані динамічної рівноваги. Процеси, які відбуваються в них, урівноважують один одного.

Завдяки безперервному обміну речовин і енергії живі системи підтримують стан динамічної рівноваги, у якому різні процеси урівноважують один одного.

Наявність обміну речовин також робить можливим ріст і розвиток живих систем. Використовуючи потік енергії, яка через них проходить, вони можуть рости і збільшувати свою складність (розвиватися).

Унікальною здатністю живих систем є можливість самовідтворення. Навіть неклітинні форми життя (віруси) здатні за допомогою клітин-хазяїв

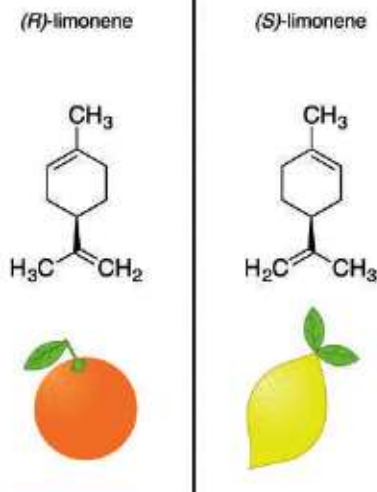
виробляти свої копії. А з процесами відтворення клітин і багатоклітинних організмів ти вже добре ознайомився / ознайомилася в процесі вивчення курсу біології. В усіх випадках в основі розмноження живого на Землі лежить здатність утворювати комплементарні ланцюги нуклеїнових кислот за участі ферментів (ензимів) або рибозимів.

Наявність здатності до самовідтворення без здатності до змін (мінливості) зробила б розвиток і еволюцію живих систем неможливими. Тому мінливість є ще однією важливою властивістю живих систем.

В е-додатку дізнайся, як мінливість призводить до утворення нових вірусів (завдання 57.2).

Зазвичай, коли жива система відтворюється, її копія не є абсолютно тотожною. Це пов'язано як зі зміною генетичного матеріалу (мутаціями або рекомбінаціями), так і зі зміною умов, що можуть впливати на експресію генів чи безпосередньо спричиняти зміни у будові і функціонуванні живих систем. Саме мутації і рекомбінації є матеріалом для еволюції.

Навчаючись і працюючи у цифровому світі, ми добре усвідомлюємо масштаби інформаційних потоків. Подібно до цього, молекулярно-біологічні дослідження створили величезні бази даних нуклеотидних послідовностей у геномах різних організмів. Аналіз цих даних дає змогу відтворювати можливі сценарії розвитку життя на Землі.



Мал. 57.4. Приклад оптичних ізомерів однієї органічної речовини

Еволюція — це безперервний процес змін живого на Землі, який відбувається на всіх рівнях організації життя. Вона веде до появи численних пристосувань до фізичних умов середовища та різних форм взаємодії між організмами й іншими компонентами біосфери.

Досконалість природи вражає, адже сучасне біорізноманіття — результат тривалої еволюції. Що багатшим є різноманіття живих форм, то стабільнішою залишається біосфера. Тому збереження біорізноманіття — одне з найважливіших і водночас найскладніших завдань людства.

Тривалі дискусії щодо того, чи є віруси живими, пов'язані саме з основними властивостями живого. Справа в тому, що віруси можуть не проявляти всіх властивостей живого. Наприклад, на стадії віріону у вірусів відсутній обмін речовин. Але під час розвитку в клітині-хазяїні віруси цілком успішно цей обмін речовин здійснюють. На стадії віріону також відсутня здатність до розмноження (вона здійснюється тільки на стадії знаходження в клітині-хазяїні). А от єдність хімічного складу на стадії віріону проявляється цілком успішно.

ЦЕ ГОЛОВНЕ В ПАРАГРАФІ

До основних загальних властивостей живих систем належать єдність хімічного складу, мінливість, наявність обміну речовин і енергії, здатність до саморегуляції, самовідтворення, росту й розвитку.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Назви основні ознаки, що відрізняють живе від неживого.
2. Яке значення має здатність органічних речовин утворювати чисельні ізомери?
3. У яких формах всередині живих систем може передаватися інформація? Запропонуй якомога більше прикладів.
4. Яка роль потоку енергії і колообігу речовин у функціонуванні життя?
5. Доведи, що еволюційний процес притаманний усім формам життя.
6. Як можна експериментально дослідити механізми еволюції протягом багатьох поколінь? Запропонуй власний план експерименту або скористайся відео в **е-ДОДАТКУ** (завдання 57.3).

СКЛАДАЄМО БІОЛОГІЧНІ ПАЗЛИ (РЕФЛЕКСІЯ)

Виконай завдання (див. с. 9).

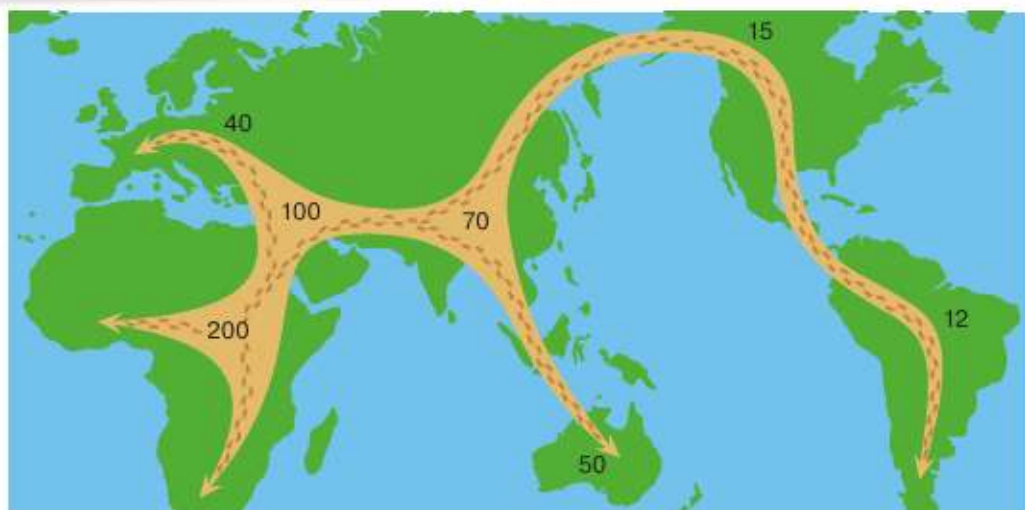
Узагальнювальні дослідницькі завдання

1. Розглянь зображення і дай відповіді на запитання.



- На якому з малюнків зображено вимерлого представника рептилій, а на якому — представника ссавців?
- Поясни, чому будова тіла цих представників різних груп хребетних настільки подібна.
- Як називають явище, завдяки якому ці тварини набули подібної будови і які ще приклади цього явища можна навести?

2. Розглянь карту, на якій позначено напрямки і час (тис. років тому) розселення Людини розумної по планеті та дай відповіді на запитання.



- На якому континенті сформувався вид Людина розумна?
- Чому представники виду потрапили до Австралії раніше, ніж до Європи?
- Відстань від півночі Північної Америки до півдня Південної Америки значна більша, ніж від Азії до Північної Америки. Але долали її представники виду Людина розумна значно довше. Запропонуй і обґрунтуй пояснення цього факту.

Предметний покажчик

- Абіогенез (хімічна еволюція) 237
Абіотичні фактори 211
Аденозинтрифосфат (АТФ) 47
Алелі 116
Амінокислоти 26
Антибіотики 53
Антропогенез 247
Антропогенні фактори 211
Білки 20
Біологічно активні речовини (БАР) 50
Біологія 6
Біополімери 20
Біорізноманіття 218
Біосфера 203
Біотехнологія 7, 196
Біотичні фактори 211
Біоценоз 204
Видоутворення 232
Вітаміни 32, 52
Вуглеводи 20
Ген 107
Генетичний код 110
Геном 107
Генотип 116
Генофонд 229
Гетерозиготні організми 116
Гібрид 57, 117
Гомозиготні організми 116
Гомологічні хромосоми 138, 164
Гормони 50
Дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК) 35
Денатурація 28
Детритний ланцюг живлення 208
Дивергенція 235
Дисахариди 23
Дрейф генів 229
Еволюційна теорія 224
Еволюційні фактори 226
Еволюція 224
Екзон 108
Екосистема 203
Ембріональний розвиток 166
Еон 240
Ера 242
Жирні кислоти 24
Життєвий цикл 175
Забруднення 211
Залежна змінна 8
Ізоляція 226, 232
Інтрон 108
Клонування організмів 187
Коацервати 238
Коменсалізм 211
Конвергенція 235
Конкуренція 211
Консументи 208
Кросинговер 123
Ланцюг живлення 207
Ліпіди 20
Локус 116, 129
Макроеволюція 235
Макроеlementи 15
Матрична РНК (мРНК) 45
Метаморфоз 171
Міграція 229
Мікроеволюція 235
Мікроеlementи 15
Мінливість 139
Моносахариди 23
Мутуалізм 211
Неалельні гени 129
Незалежна змінна 8
Нейрогормони 51
Нестатеве розмноження 159
Ноосфера 213
Нуклеїнові кислоти 20
Нуклеотиди 34
Онтогенез 166
Оперон 134
Паразитизм 211
Паралелізм 235
Піраміда енергії 208
Позаядерна спадковість 133
Полісахариди 23
Популяція 137
Порода 181
Постембріональний розвиток 166
Природний добір 226
Продуценти 206
Промотор 107
Редуценти 208
Ренатурація 29
Реплікація 40
Рибонуклеїнова кислота (РНК) 35
Рибосомальна РНК (рРНК) 245
Рівні організації живої матерії 10
Селекція 180
Сорт 181
Сплайсинг 112
Статеве розмноження 159
Стать 124
Стероїди 25
Термінатор 108
Транскрипція 110
Трансляція 110
Транспортна РНК (тРНК) 245
Трофічна мережа 207
Фенотип 216
Ферменти 30
Фітогормони 51
Фосфоліпіди 25
Хижацтво 211
Хромосома 86
Штам 181
Якість довкілля 215

Вступ

Тема 1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ

§ 1. Біологія як наука. Методи біології	6
§ 2. Рівні організації живої матерії	10
§ 3. Хімічні елементи в живих системах. Вода та інші неорганічні речовини	14
§ 4. Органічні речовини живих організмів	18
§ 5. Вуглеводи і ліпіди	22
§ 6. Амінокислоти. Білки	26
§ 7. Функції білків. Ферменти	30
§ 8. Нуклеїнові кислоти	34
§ 9. ДНК	38
§ 10. РНК. АТФ	44
§ 11. Біологічно активні речовини	50
Узагальнювальні дослідницькі завдання	54

Тема 2. КЛІТИНА — СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА ОДИНИЦЯ ОРГАНІЗМІВ

§ 12. Методи дослідження клітин	56
§ 13. Мембрани і мембранні комплекси клітин	60
§ 14. Органели клітин еукаріотів	64
§ 15. Прокаріотичні клітини	68
§ 16. Метаболізм та живлення клітин	72
§ 17. Синтез органічних речовин	76
§ 18. Розщеплення органічних речовин	80
§ 19. Ядра і хромосоми	84
§ 20. Клітинна теорія, різноманіття клітин, клітинний цикл	88
§ 21. Мітотичний поділ	92
§ 22. Неклітинні форми життя	96
§ 23. Взаємодія вірусів із клітинами	100
Узагальнювальні дослідницькі завдання	104

Тема 3. ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ ТА МІНЛИВОСТІ ОРГАНІЗМІВ

§ 24. Гени і геноми	106
§ 25. Генетичний код і його реалізація. Біосинтез білка	110
§ 26. Закони спадковості Менделя. Методи генетичних досліджень	115
§ 27. Взаємодія аельних генів. Явище зчепленого успадкування	120
§ 28. Генетика статі. Успадкування ознак, зчеплених зі статтю	124
§ 29. Взаємодія неаельних генів. Множинна дія гена	128
§ 30. Цитоплазматична спадковість. Регуляція активності генів	132
§ 31. Мінливість спадкова та неспадкова. Джерела комбінативної мінливості	136

§ 32. Види мутацій. Мутагени	140
§ 33. Модифікаційна мінливість	144
§ 34. Формування фенотипу організмів як результат взаємодії геному з умовами середовища	148
§ 35. Генетика людини. Медико-генетичне консультування	152
Узагальнювальні дослідницькі завдання	156

Тема 4. РОЗМНОЖЕННЯ ТА ІНДИВІДУАЛЬНИЙ РОЗВИТОК ОРГАНІЗМІВ

§ 36. Способи розмноження організмів. Нестатеве розмноження	158
§ 37. Статеве розмноження. Гаметогенез	162
§ 38. Онтогенез. Ембріональний розвиток	166
§ 39. Постембріональний розвиток	170
§ 40. Життєві цикли організмів	174
Узагальнювальні дослідницькі завдання	178

Тема 5. БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА СЕЛЕКЦІЇ, БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ

§ 41. Завдання і досягнення селекції	180
§ 42. Селекція рослин	184
§ 43. Селекція тварин	188
§ 44. Селекція мікроорганізмів	192
§ 45. Сучасні біотехнології	196
Узагальнювальні дослідницькі завдання	200

Тема 6. ЛЮДИНА І БІОСФЕРА

§ 46. Екосистеми	202
§ 47. Зв'язки організмів в екосистемах	206
§ 48. Стабільність екосистем та її порушення	210
§ 49. Людина та екосистеми	214
§ 50. Збереження екосистем	218
Узагальнювальні дослідницькі завдання	222

Тема 7. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

§ 51. Еволюція та еволюційні теорії	224
§ 52. Еволюційні процеси в популяціях	228
§ 53. Видоутворення. Макроеволюція	232
§ 54. Походження життя	236
§ 55. Етапи еволюції життя	240
§ 56. Еволюція людини	244
§ 57. Фундаментальні властивості біологічних систем	248
Узагальнювальні дослідницькі завдання	252
Предметний покажчик	253

Навчальне видання

ЗАДОРОВНИЙ Костянтин Миколайович
ЯГЕНСЬКА Галина Василівна
ДОДЬ Володимир Васильович

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»

Редактор *О. Г. Трофімова*
Комп'ютерна верстка *Д. Д. Карачов*
Коректор *В. Д. Уреньова*
Дизайн обкладинки *Ю. В. Миргородська*

Формат 70 × 100 ¹/₁₆.
Ум. друк. арк. 20,736 + 0,405 форзац.
Обл.-вид. арк. 17,41 + 0,69 форзац.
Наклад 43 803 пр.
Зам. .

ТОВ «ВИДАВНИЧИЙ ДІМ «ОСВІТА»

Свідоцтво «Про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції»

Серія ДК № 6109 від 27.03.2018 р.

Адреса видавництва: 03057, м. Київ, вул. О. Довженка, 3

www.osvita-dim.com.ua

Віддруковано в АТ «ХАРКІВСЬКА КНИЖКОВА ФАБРИКА «ГЛОБУС»
61011, м. Харків, вул. Різдвяна, 11.
Свідоцтво ДК № 7032 від 27.12.2019 р.
www.globus-book.com

ЕВОЛЮЦІЯ ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ

Поява
клітин



Поява
еукаріотів



Поява
багатоклітинності



Перші літаючі
організми (комахи)



Вихід тварин і рослин
на суходіл



Кембрійський
вибух



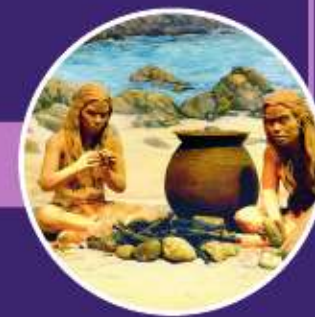
Поява динозаврів
і ссавців



Поява квіткових
рослин



Виникнення
людини



У підручнику використано світлини та малюнки таких авторів із сайтів:

©freepik.com: brgfx, freepik, prostock-studio, thannaree;

©shutterstock.com: AaronChenPS2, Agnieszka Bak-Graczyk, aiyoshi597, Aldona Griskeviciene, Alejo Miranda, Alex_Vinci, Alexander_P, Alila Medical Media, Amadeu Blasco, Anato Vol, Anwarul Kabir Photo, Art of Science, artemide, Artster Design, ART-ur, As Ashik17, AtlasStudio, AZ Septian, Barou abdennaser, Benny Marty, BigBearCamera, biovectors, BlueRingMedia, borzywoj, Charles Q Blair, ChipVector, Computer Earth, Corona Borealis Studio, D. Kucharski K. Kucharska, Danny Ye, Dee-sign, Designua, DEVA PRASKA DEWANTARA, Dilyana Design, Dotted Yeti, Edge Creative, Elif Bayraktar, Elime, Ergun_Pinar, Eric Isselee, Evannovostro, Frank Fichtmueller, Gallery FAM, Gallwis, Geeyom, Ghost of Design, GikaPhoto By waraphot, GraphicsRF.com, HenadziPechan, Holger Kirk, JavierLizarazo, Jsegalexplora, Kateryna Kon, Kazakova Maryia, Kooto, LABETAA Andre, Layne V. Naylor, Lehrer, Love Employee, Luis Echeverri Urrea, Macrovector, Maximillian cabinet, MDGRPHCS, Me dia, mentalmind, Miiraa, Minakryn Ruslan, mostrebekasultanam, Natata, Neil Bradfield, Nicolas Primola, NN Designs, Olha Pohrebnyak, Only _up, Oscar Collica, Parilov, Peter Hermes Furian, Ph-HY, PhotOleh, photoPOU, Pong Ch, RAMLAN BIN ABDUL JALIL, rob9000, S.Toey, samore25125100, simple anatomy, Sinhyu Photographer, sirius22, The1969 Studio, thecloudysunny, TimeLineArtist, Tom Tietz, Vac1, VectorMine, verOnicka, Viktoriia_P, Vilor, Vink Fan, WhirlVFX - Pamela Werrell, Yurchanka Siarhei, yyama, Zack Frank, zcw, zombiu26.